

## Aplicabilidade de dados Modis no monitoramento de lavouras cafeeiras no Estado de Minas Gerais, Brasil

Tiago Bernardes<sup>1,2</sup>  
Maurício Alves Moreira<sup>1</sup>  
Marcos Adami<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{bernati, mauricio, adami}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup>Bolsista CNPq – Brasil

**Abstract:** This study presents partial results of a procedure to select pixels from Modis images to be used in monitoring coffee plots. Time series of EVI and NDVI were assessed only for those Modis pixels selected according to the described procedure. A wavelet-based filter was used to smooth NDVI and EVI time profiles. Additionally to the single value analysis of vegetation indices we derived a range value of vegetation index in each year through the difference of maximum and minimum vegetation indices inside the growing season. Coffee plots present maxima and minima EVI/NDVI at the end of rainy and dry seasons in Brazil respectively. Yet minima values agree to post-harvesting period when plots lose leaves due to mechanic damage caused by harvesting. The range of vegetation indices in each year showed an alternate pattern, that is, a greater fall in vegetation indices followed by a smaller fall the next year and again a greater fall the following year. Such a behavior suggests great and small fall of leaves in alternated years and can be associated to trends in coffee yield. We will include yield data obtained from farmers to evaluate if the magnitude of defoliation, assumed to be reflected in vegetation indices, is related to coffee yield.

**Palavras-chave:** coffee yield, time series, vegetation indexes, produtividade do café, séries temporais, índices de vegetação.

### 1. Introdução

As aplicações do sensoriamento remoto à cultura cafeeira têm demonstrado a complexidade e dificuldade de extrair informações da cultura a partir de imagens de satélite. Em abrangente estudo avaliando a exatidão de classificações de áreas cafeeiras na Costa Rica, Cordero-sancho et al. (2007) consideraram os resultados obtidos apenas moderados. Os autores atribuíram os erros a efeitos topográficos e resolução espacial das imagens Landsat inadequada com relação ao tamanho médio das lavouras na região. Ao utilizar uma classificação orientada a objeto e imagens Landsat, Bernardes et al. (2009) alcançaram valores de exatidão global das classificações de até 83%, contudo os valores marginais de acerto foram baixos, indicando que houve confusão da classe café com outras classes de uso da terra. Adami et al. (2009) avaliaram a exatidão do mapeamento da área cafeeira de Minas Gerais realizado por Moreira et al. (2007), por meio de amostragem aleatória estratificada, e observaram que a exatidão global dos estratos variou de 81% a 97%, sendo que o café foi confundido principalmente com áreas de cerrado.

O comportamento espectral das lavouras cafeeiras em imagens Landsat, além das fontes de variação ligadas ao ambiente, tais como relevo, ângulo solar e outras, também é afetado pela diversidade de características das lavouras como densidade de plantio, idade, tipo de cultivar, tratos culturais, dentre outras (Moreira et al., 2004). Essa variabilidade de padrões espectrais das lavouras observados numa imagem de satélite, decorrentes de variados estádios de desenvolvimento e vigor vegetativo, espaçamento, culturas intercalares e tratos culturais, dificulta o mapeamento e monitoramento da cultura por meio de dados de satélite. O uso de imagens Landsat restringe-se a poucas cenas livres de nuvens durante o ano agrícola (Asner, 2001; Sano et al., 2007; Sugawara et al., 2008) o que impossibilita um monitoramento efetivo.

Dados do sensor Modis (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), embora apresentem resolução espacial insuficiente para uma correta identificação de lavouras de café, possuem resolução temporal apropriada para o monitoramento da cultura. Com uma frequência de imageamento quase diária, o sistema tem maior chance de fornecer produtos livres de nuvens em espaços regulares de tempo. Assim, uma seqüência temporal destes dados pode conter informações adicionais relativas a eventos sazonais da cultura, compensando as desvantagens da baixa resolução espacial dos dados. Brunsell et al., (2009) concluíram que a baixa resolução espacial dos dados Modis é compensada pela alta cobertura temporal permitindo o monitoramento da produtividade de áreas cafeeiras.

Considerando o tamanho dos cultivos na região sul de Minas Gerais, menor do que a área mínima representável em pixels Modis (6,25 ha), estes pixels podem conter mistura espectral de talhões de café com outros tipos de cobertura da terra, bem como mistura entre diferentes padrões de lavouras. Este trabalho consiste na seleção de pixels de imagens Modis representativos de talhões de café homogêneos para avaliar possíveis correlações com produtividade de lavouras cafeeiras por meio de séries temporais de índices de vegetação.

## 2. Metodologia

A área de estudo selecionada foi a região sul do Estado de Minas Gerais, onde a produção de café corresponde a mais da metade da produção total do Estado e cerca de 30% da produção nacional.

Foram utilizadas séries temporais de EVI e NDVI (a cada 16 dias) oriundas do produto MOD13 do sensor Modis entre os anos de 2006 e 2009 para verificar a possibilidade de detecção da bienalidade da produção da cultura do café. Imagens TM/Landsat foram usadas para mapear as lavouras de café (Moreira et al., 2007) e auxiliar na identificação de pixels do Modis que retratam lavouras homogêneas. As imagens Modis, obtidas originalmente no formato HDF (*Hierarchical Data Format*) e projeção sinusoidal, foram processadas no aplicativo MRTTool (*Modis Reprojection Tool*). Os dados foram reprojeto para coordenadas geográficas latitude e longitude, datum WGS84 e então convertidos para o formato GeoTIFF. As sete imagens Landsat, necessárias para cobertura total do sul de Minas, foram georreferenciadas de modo a estarem co-registradas com as imagens Modis conforme procedimento descrito por Roy et al. (2008).

Selecionaram-se para análise apenas os pixels nas imagens do Modis 100% ocupados por café, segundo o mapa resultante de interpretação visual das imagens Landsat. Uma vez que existem diferentes padrões de lavouras, mesmo pixels com 100% de áreas cafeeiras podem ainda estar representando lavouras bastante distintas, diferenças estas que são detectadas nas imagens Landsat (Figura 1).

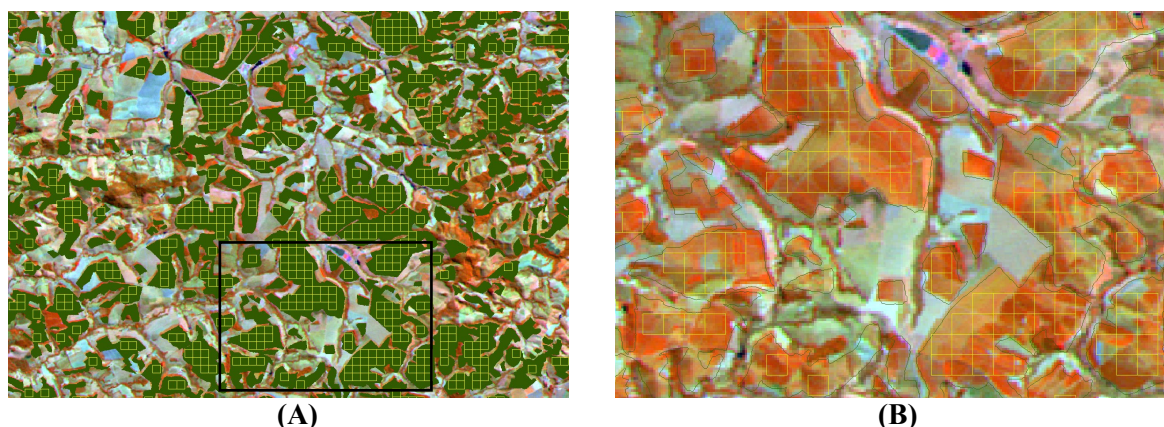


Figura 1. Sobreposição dos limites de pixels Modis em áreas cafeeiras; (A) Pixels totalmente ocupados por café; (B) Variabilidade de lavouras dentro de um pixel realçada nas imagens Landsat.

Assim, foram calculadas estatísticas (média e coeficiente de variação) de pixels do Landsat (Banda 3) circunscritos em pixels Modis. A média foi aplicada para distinção entre lavouras com alta e baixa biomassa verde. Lavouras com alta biomassa apresentam valores menores de reflectância na banda 3 do Landsat em função da maior absorção da radiação na faixa espectral do vermelho pelas moléculas de clorofila. Em oposição, lavouras com menor biomassa apresentam maior reflectância nesta faixa espectral. O coeficiente de variação foi usado para qualificar a variabilidade. Valores de coeficiente de variação menores indicam menor variação dos pixels das imagens Landsat dentro de pixels das imagens do Modis. Isto sugere a presença de grandes talhões homogêneos. A Figura 2 ilustra o diagrama esquemático dos processamentos realizados para seleção dos pixels e análise dos padrões temporais.

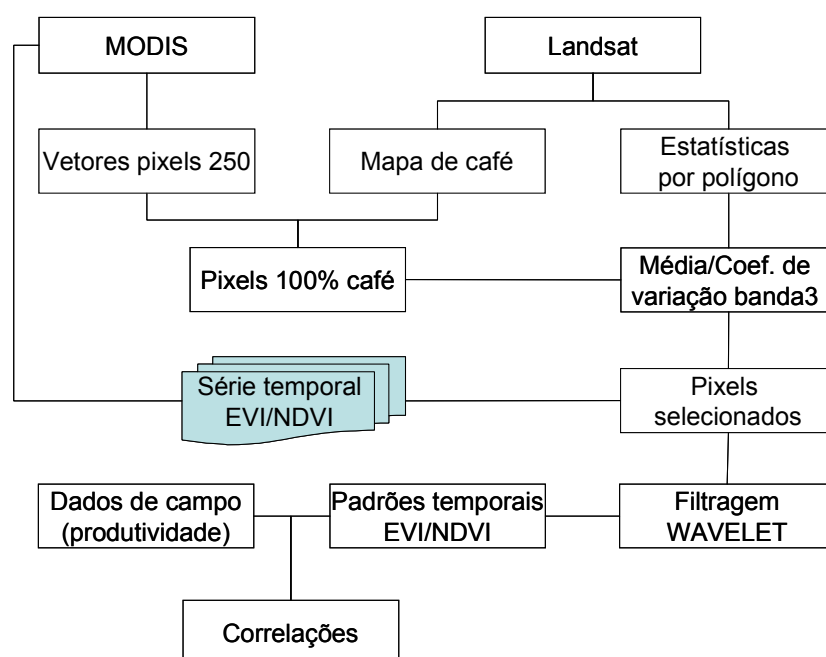


Figura 2. Processamento dos dados para seleção de pixels e análise de séries temporais de EVI e NDVI.

As estatísticas dos dados Landsat e seleção de pixels Modis totalmente ocupados por áreas cafeeiras foram realizadas pela ferramenta estatísticas de imagem por polígono, disponível no sistema SPRING (Câmara et al., 1996). Inicialmente foi gerado um vetor cadastral a partir das imagens Modis onde cada objeto corresponde exatamente a um pixel. Este vetor foi usado para o cálculo das estatísticas da banda 3 do Landsat. O vetor foi atualizado com os dados do mapa de áreas cafeeiras para obter a porcentagem de área de café em cada objeto. Foi feita então uma consulta ao banco de dados, por meio de operadores zonais para obter os objetos com 100% de áreas cafeeiras, níveis de cinza médios banda 3 (Landsat) menor que 50 (lavouras com alta biomassa), maior que 50 (lavouras com baixa biomassa) e coeficiente de variação menor que 40 (talhões homogêneos).

A série temporal correspondente aos pixels selecionados foi então filtrada utilizando uma função Wavelet em diferentes níveis de decomposição (N2 e N3) para eliminação de ruídos proporcionados pela presença de nuvens (Sakamoto et al., 2005) sem alterar o padrão sazonal de mudanças. Em cada ano da série foi calculada a amplitude de variação dos índices de vegetação pela diferença entre os valores máximos e mínimos no ano para cada pixel (Figura 3) visando quantificar a magnitude da perda de folhas das lavouras dentro de cada ano.

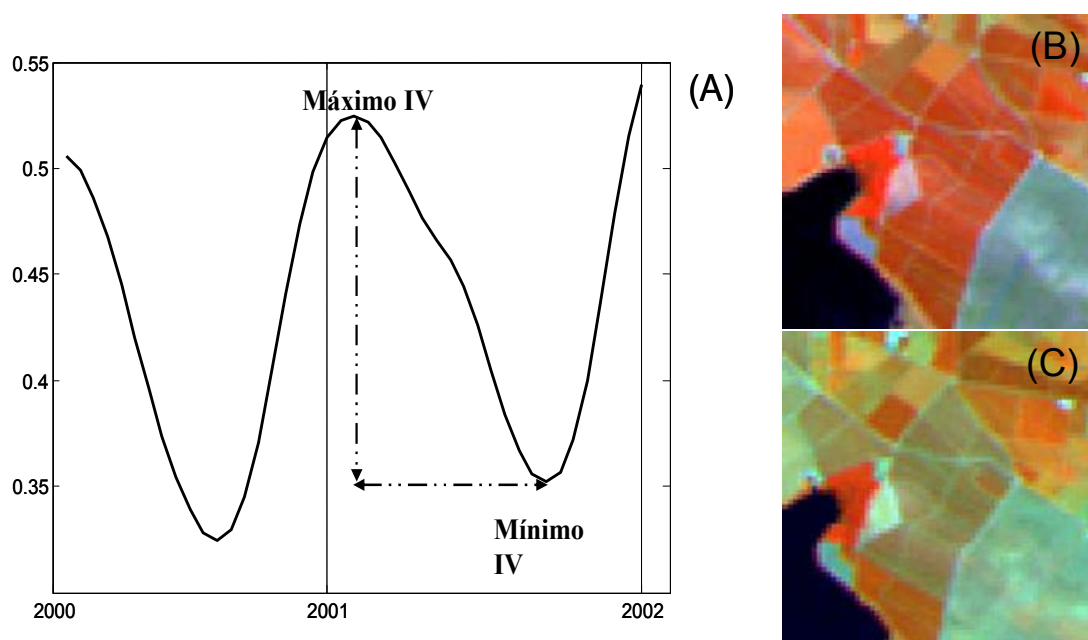


Figura 3. Amplitude de variação anual dos índices de vegetação para os pixels selecionados (A); Padrão de lavoura em seu máximo índice de vegetação no mês de março (B) e mínimo índice de vegetação no mês de agosto (C);

Em etapa posterior será realizado um levantamento de campo para coleta de informações sobre a produtividade das lavouras e avaliação das possíveis correlações com dos dados Modis.

### 3. Resultados parciais

A região de estudo apresenta cerca de 452 mil hectares de café mapeados no ano de 2008 por interpretação visual das imagens Landsat. Deste total cerca de 10 mil hectares correspondem a lavouras passíveis de serem identificadas na resolução espacial das imagens Modis sem mistura espectral com outros tipos de uso.

De maneira geral as lavouras cafeeiras apresentam um padrão temporal típico, com valores de NDVI e EVI máximos nos meses de março/abril e mínimos nos meses de agosto/setembro, os quais correspondem ao final das estações chuvosa e seca respectivamente (Figuras 4 e 5). Este padrão pode ser útil para diferenciar áreas cafeeiras de outras classes de uso do solo, uma vez que culturas anuais, por exemplo, apresentam valores máximos e mínimos de índice de vegetação em períodos diferentes e, no caso de vegetação nativa, a amplitude de variação destes valores é menor.

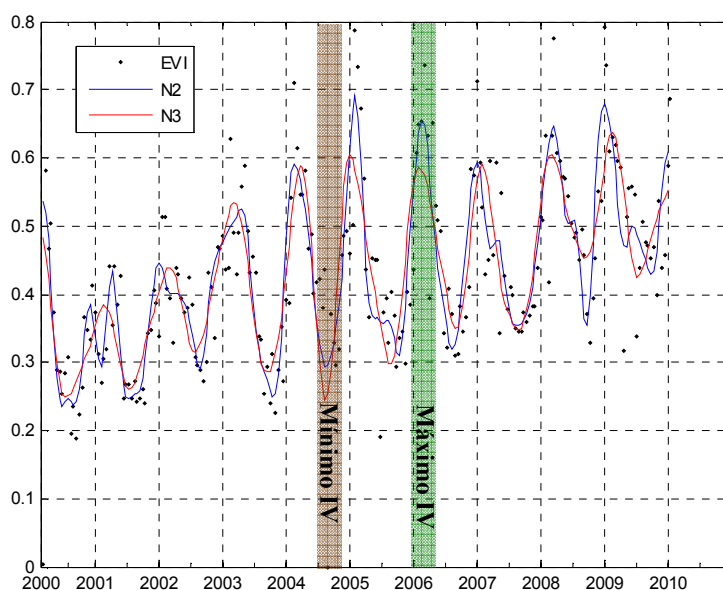


Figura 4. Série temporal de EVI típica das lavouras de café em dois níveis de decomposição dos dados originais.

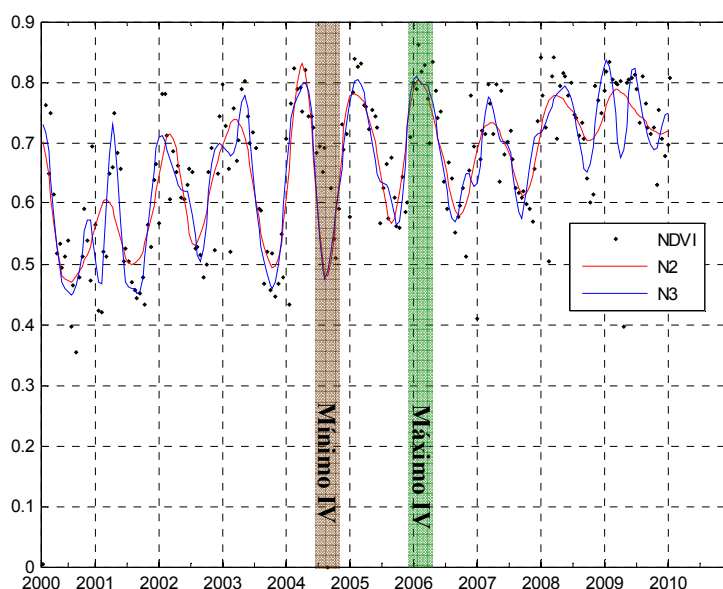


Figura 5. Série temporal de NDVI típica das lavouras de café em dois níveis de decomposição dos dados originais.

Os valores mínimos coincidem ainda com período posterior à colheita, quando as lavouras perdem parte da biomassa foliar em decorrência de danos mecânicos causados pela colheita. Assim, além do efeito sazonal do clima na redução da biomassa foliar do cafeeiro, os baixos valores de NDVI e EVI podem ainda estar sendo ocasionados também pelo efeito da colheita. Acredita-se que lavouras com maiores produtividades apresentam maior queda nos valores de índices de vegetação em função da maior perda de folhas, conforme relatado por diversos autores (Chaulfon et al., 1981; Eskes e Carvalho., 1983; Brown, et al., 1995; Silva, et al., 2010).

A amplitude de variação dos valores dos índices de vegetação na série temporal apresenta um padrão alternado, com grandes quedas seguidas de quedas menores no ano consecutivo e novamente uma queda maior no ano seguinte (Figura 6). Tal comportamento sugere a ocorrência de desfolhas mais intensas e menos intensas em anos alternados que podem estar relacionadas à bialidade da produção. Brunsell et al. (2009) encontraram padrão semelhante, o qual foi associado a tendências da produtividade da cultura. A inclusão de dados de produtividade na análise permitirá avaliar se a intensidade de desfolha, aqui quantificada pela variação anual dos índices de vegetação, está correlacionada aos níveis de produtividade das lavouras.

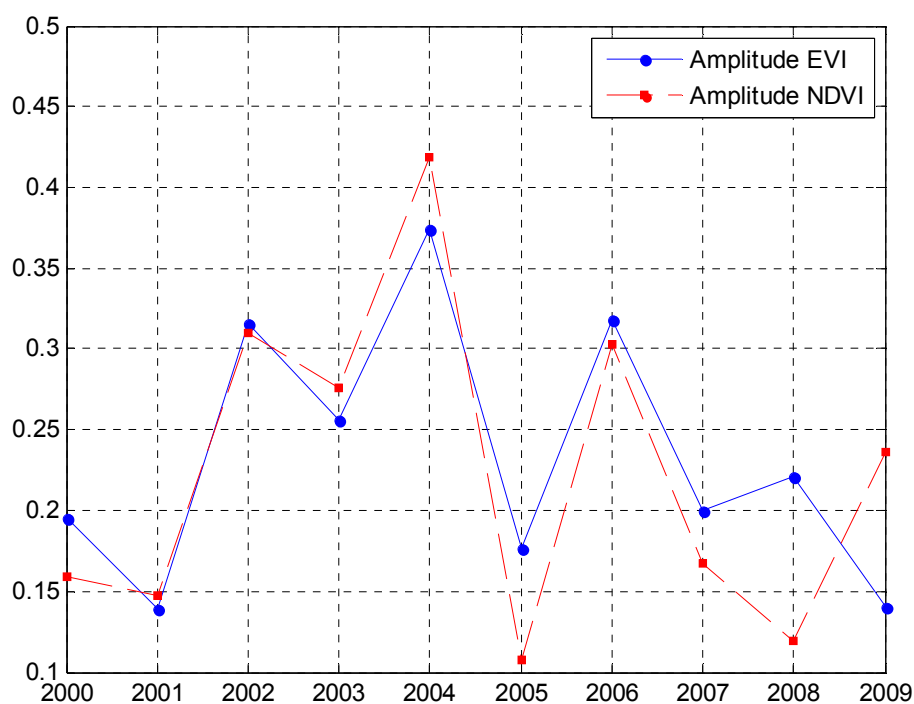


Figura 6. Amplitude de variação dos índices de vegetação dentro de cada ano da série observada.

#### 4. Considerações finais

Os perfis temporais de EVI e NDVI dos pixels selecionados nas imagens Modis exibem um padrão interanual típico para as lavouras de café. Este padrão reflete a fenologia da cultura decorrente de variações climáticas sazonais, em que a disponibilidade de chuvas e os dias longos promovem o desenvolvimento vegetativo da cultura resultando nos valores máximos de índices de vegetação ao final da estação chuvosa (março/abril). Os valores mínimos de índices de vegetação são encontrados ao final da estação seca (agosto/setembro), quando as plantas paralisam o crescimento e entram em estágio de repouso. Neste mesmo período as lavouras também perdem folhas em função de danos mecânicos causados pela colheita, a qual também contribui para os mínimos índices de vegetação encontrados.

As lavouras correspondentes aos pixels selecionados apresentam uma alternância na intensidade de desfolha entre 2 anos consecutivos semelhante ao típico padrão alternado de produtividade da cultura cafeeira conhecido como bialidade da produção.



## Referências Bibliográficas

Adami, M.; Moreira, M. A.; Barros, M. A.; Martins, V. A.; Rudorff, B. F. T. Avaliação da exatidão do mapeamento da cultura do café no Estado de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 1-8, CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-000-44-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/10.27.19.01/doc/1-8.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2010.

Asner, G.P. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v.22, n.18, p.3855-3862, 2001.

Bernardes, T.; Fonseca, L.M.G.; Moreira, M.A. e Camargo, F.F. Estruturação de redes semânticas na classificação orientada a objeto de imagens orbitais para mapeamento de áreas cafeeiras. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 6789-6796, CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-000-44-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.19.10/doc/6789-6796.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2010.

Brown, J.S.; Whan, J.H.; Kenny, M.K.; Merriman, P.R. The effect of coffee leaf rust on foliation and yield of coffee in Papua New Guinea. **Crop Protection**, v.14, n.7, p. 589-592, 1995.

Brunsell, N.A.; Pontes, P.P.B.; Lamparelli, R.A.C. Remotely Sensed Phenology of Coffee and Its Relationship to Yield, **GIScience & Remote Sensing**, v. 46, n.3, p. 289-304, 2009.

Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J.C.P. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling. **Computers and Graphics**, v.15, n.6, p.13-22, 1996.

Chalfoun, S.M. Relações de diferentes índices de infecção de ferrugem sobre a produção de cafeeiro em algumas localidades do estado de Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira**, v. 6, p. 137-142, 1981.

Cordero-Sancho, S.; Sader, S.A. Spectral Analyses and Classification Accuracy of Coffee Crops using Landsat and a Topographic-Environmental Model, **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n.7 p. 1577–1593, 2005.

Eskes, A.B.; Carvalho, A. Variation for incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in *Coffea arabica*. **Euphytica**, v. 32, n.2, p. 625-637, 1983.

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**, v. 28, n. 241, p. 27-37, 2007.

Moreira, M.A.; Adami, M.; Rudorff, B.F.T. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens Landsat, **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.39, n.3, p.223-231, 2004.

Roy, D.P.; Ju, J.; Lewis, P.; Schaaf, C.; Gao, F.; Hansen, M.; Lindquist, E. Multi-temporal Modis-Landsat data fusion for relative radiometric normalization, gap filling, and prediction of Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.3112-3120, 2008.

Sakamoto, T.; Yokozawa, M.; Toritani, H.; Shibayama, M.; Ishitsuka, N.; Ohno, H. A crop phenology detection method using time-series Modis data. **Remote Sensing of Environment**, v. 96, n.3-4, p. 366-374, 2005.

Sano, E.E.; Ferreira, L.G.; Asner, G.P.; Steinke, E.T. Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savanna. **International Journal of Remote Sensing**, v.28, n.12, p.2739-2752, 2007.

Silva, F.M.D.; Alves, M. de C.; Souza, J.C.S.; Oliveira, M.S. de. Efeitos da colheita manual na bienalidade do cafeeiro em Ijaci, Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.3, p.625-632, 2010.

Sugawara, L.M.; Rudorff, B.F.T.; Adami, M. Viabilidade de uso de imagens do Landsat em mapeamento de área cultivada com soja no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.43, n.12, p. 1777-1783, 2008.