

Correlação entre estimativas de proporção de café em imagens-fração de diferentes resoluções espaciais

Rafael Carlos Bispo¹
Maria Angélica Petrini¹
Rubens Augusto Camargo Lamparelli^{1,2}
Jansle Vieira Rocha¹

¹ Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/FEAGRI
Caixa Postal 6011 - 13083-875 - Campinas - SP, Brasil
{rafael.bispo, maria.petrini, jansle.rocha}@feagri.unicamp.br

² Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – NIPE/UNICAMP
Caixa Postal 6166 - 13083-896 - Campinas - SP, Brasil
rubens.lamparelli@gmail.com

Abstract. Coffee is an important product of national agriculture. Minas Gerais State responds currently to 52% of the Brazilian coffee area and the South and Midwest region of the State are the greatest producers. Given the importance of the coffee crops for the Brazilian economy, we must develop and improve methodologies for their monitoring. Remote sensing is a powerful tool which can be used for many agricultural purposes. In this context, the objective of this study was to verify the correlation between the proportion values of coffee obtained by Linear Spectral Mixture Model applied to low and medium spatial resolution images. The study area was Monte Santo de Minas municipality, located in the South part of Minas Gerais State. Images from LISS III, TM and MODIS sensors of rainy and dry seasons were used. Fraction-images of soil, coffee and shadow/water were obtained through the Linear Spectral Mixture Model. The proportion values of coffee were extracted to 414 Modis pixels selected. We also extracted the mean proportion values of coffee of pixels from LISS III and TM in order to correlate them with the values of each corresponding Modis pixels. The results showed that the correlation coefficient was higher in the dry season than in the rainy season. Thus, we conclude that, despite the low spatial resolution, Modis data can be used to estimate the proportion of coffee contained in a pixel, considering the strong correlation with data from others sensors with better spatial resolution.

Palavras-chave: linear spectral mixture model, MODIS, LISS III, Landsat 5/TM, modelo linear de mistura espectral, MODIS, LISS III, Landsat 5/TM.

1. Introdução

O desenvolvimento econômico do Brasil esteve intimamente ligado com a produção de café, sobretudo a região Sudeste (São Paulo e Minas Gerais). Historicamente, o processo de industrialização do país foi relacionado ao capital acumulado das exportações de café. É certo que a participação dessas exportações há tempos deixou de ser o carro-chefe da economia brasileira, no entanto constitui-se ainda como um importante produto do setor do agronegócio.

As estimativas de safra de café feitas pela Conab - Companhia Nacional de Abastecimento mostram que a cafeicultura vem apresentando crescimento. Para a safra do biênio 2012/2013, a área plantada com as espécies arábica e conilon no país totalizam 2.339,6 mil hectares. O resultado mostra um crescimento de 2,7% sobre a área de 2.278,1 mil hectares existentes na safra 2011, ou seja, foram acrescentados 61.527 hectares. Em Minas Gerais está concentrada a maior área com 1.217,4 mil hectares, predominando a espécie arábica com 99,4%. A área total estadual representa 52,0% da área cultivada com café no país, e conseqüentemente a primeira no âmbito nacional (Conab, 2012).

As regiões Sul e Centro-Oeste de Minas Gerais se destacam por representarem cerca de 50% da área destinada à cafeicultura. De acordo com Pádua (1998) e Silva (1998), a região Sul do Estado apresenta condições que lhe favorece: fácil acesso aos grandes centros consumidores, infra-estrutura adequada e condições climáticas excelentes para o cultivo do café, além da presença de importantes cooperativas, como a Cooxupé, Cocatrel, Cooparaíso e

Minas Sul e de expressivas instituições de pesquisa e ensino que garantem uma cafeicultura de referência.

Dada a importância da atividade cafeeira para a economia do país, há que se melhorar o monitoramento agrícola da cafeicultura para planejar a comercialização com vistas a proteger o setor da especulação interna e externa.

Nesse sentido, dados de sensoriamento remoto orbital têm contribuído para o acompanhamento e estimativas de safras agrícolas, identificação e medição de áreas cultivadas, entre outras aplicações. Porém, segundo Ponzoni e Shimabukuro (2009), um dos problemas de se trabalhar com imagens de satélite refere-se à chamada mistura espectral, devido ao tamanho do pixel incluir diferentes objetos ou elementos. A essa resposta espectral de um pixel resultante da combinação dos componentes dá-se o nome de mistura espectral.

Partindo do princípio de que um pixel é uma combinação linear da refletância de diferentes alvos, contendo informação sobre a proporção e a resposta espectral de cada componente dentro do elemento de resolução espacial do sensor, é possível, então, estimar a proporção de cada componente na mistura, utilizando a técnica do Modelo Linear de Mistura Espectral – MLME.

Dessa forma, o objetivo geral deste estudo foi verificar a correlação entre os valores de proporções de café obtidos pelo Modelo Linear de Mistura Espectral aplicado em imagens de baixa e média resolução espacial.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo foi o município de Monte Santo de Minas, localizado na região Sul do Estado de Minas Gerais (Figura 1), onde a maior parte dos recursos financeiros do município provém do setor cafeeiro.

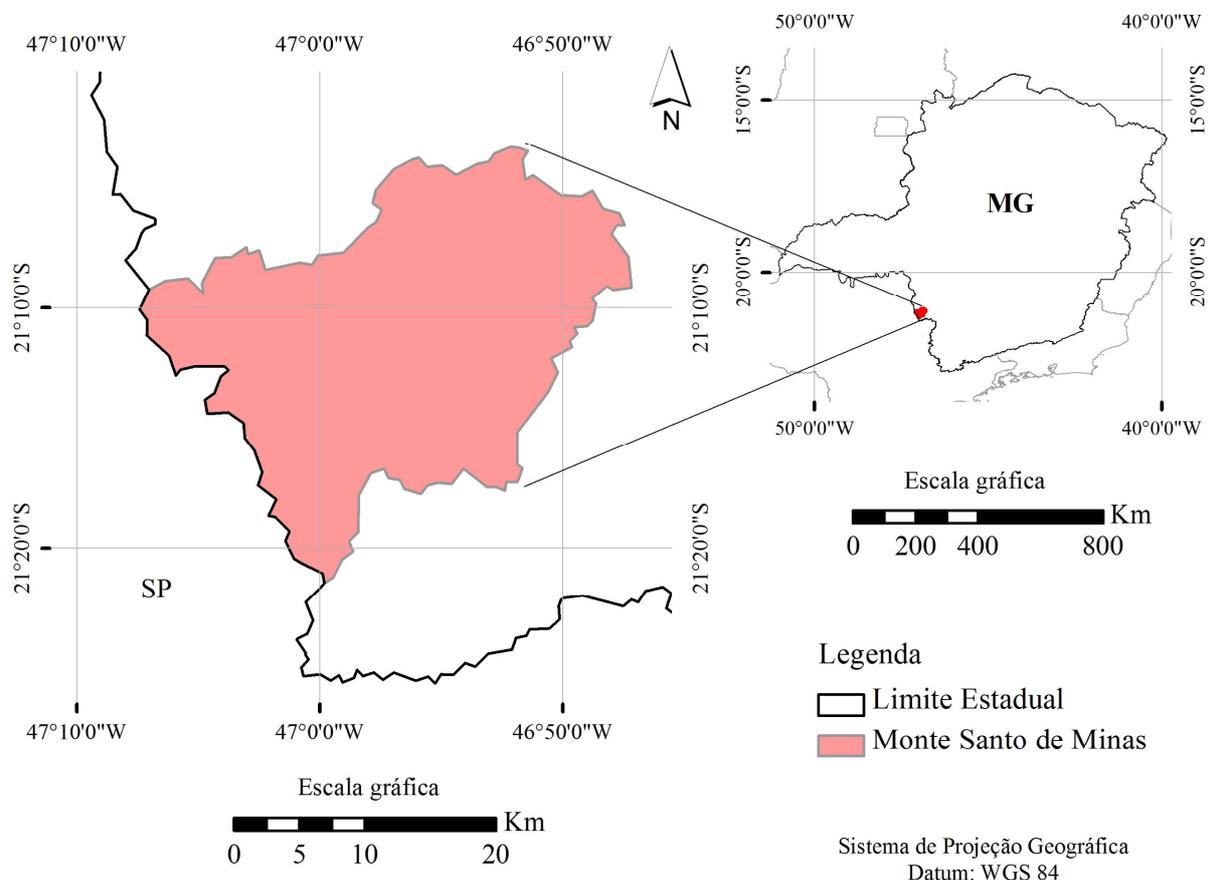


Figura 1. Localização da área de estudo.

Os materiais utilizados neste trabalho foram:

- Imagens do sensor MODIS, satélite Terra, *tile* h13v11, produto MOD13Q1, bandas vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio. Foram obtidas gratuitamente no endereço eletrônico <<http://reverb.echo.nasa.gov/reverb>>. Este produto possui resolução espacial de 250 metros e resolução temporal de 16 dias. Através do aplicativo MRT, as imagens foram convertidas para o formato .tif e reprojatadas para o Sistema de Projeção Geográfica, *datum* WGS 84.

- Imagens do sensor LISS III, satélite ResourceSat-1, bandas 3 (vermelho), 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio), com resolução espacial de 23,5 metros e resolução temporal de 24 dias.

- Imagens do sensor TM, satélite Landsat 5, bandas 3 (vermelho), 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio), com resolução espacial de 30 metros e resolução temporal de 16 dias.

Essas imagens foram obtidas gratuitamente pelo catálogo de imagens do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, disponível no endereço eletrônico <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>>. O registro dessas imagens foi feito com base em uma cena do satélite SPOT 5, sensor HRS.

Foram selecionadas imagens do período de chuva e de estiagem das datas referidas na Tabela 1. Devido à ausência de imagem do sensor LISS III para o ano de 2011, recorreu-se ao produto TM/Landsat 5, sendo que para o período chuvoso foi necessário escolher uma imagem de 2010 por conta da presença de nuvens sobre a área de estudo.

Tabela 1. Datas das imagens utilizadas no trabalho.

Sensores	Período	
	Chuvoso	Estiagem
MODIS	03 a 18/12/2010	14 a 29/09/2011
	01 a 16/01/2012	28/08 a 12/09/2012
TM	05/12/2010	19/09/2011
LISS III	05/01/2012	01/09/2012

- Máscara de café feita com imagem do satélite SPOT 5, sensor HRS, de agosto de 2005, como apoio na identificação das áreas de plantio de café. Esta máscara foi disponibilizada pela Cooxupé.

- *Softwares* para processamento dos dados: ENVI 4.5, ArcGis 10 e Excel 2003.

Para as imagens MODIS, fez-se a composição R (MIR) G (NIR) B (R) e para as imagens dos sensores TM e LISS III, fez-se R (5) G (4) B (3). A partir dessas composições, foram obtidas as imagens-fração de solo, café e sombra/água para cada período, com o objetivo de realçar os alvos através da contribuição de cada alvo contido num único *pixel*, por meio do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME).

O MLME pode ser escrito conforme a Equação 1:

$$r_i = \sum (a_{ij} x_j) + e_i \quad (1)$$

onde: r_i = reflectância espectral média para i -ésima banda espectral;

a_{ij} = reflectância espectral da j -ésima componente no *pixel* para a i -ésima banda espectral;

x_j = valor de proporção da j -ésima componente no *pixel*;

e_i = erro para a i -ésima banda espectral;

$j = 1, 2, \dots, n$ (n = número de componentes assumidos para o problema);

$i = 1, 2, \dots, m$ (m = número de bandas espectrais para o sistema sensor).

Para que o MLME possa gerar as imagens-fração é necessário selecionar “*pixels* puros” de cada alvo, também chamados de *endmembers*. Segundo Roberts et al. (1998), o MLME funciona, portanto, como um modelador de espectros misturados através de uma combinação linear dos *endmembers*, tendo por escala de análise o sub-*pixel*, isolando a contribuição espectral de cada alvo presente no *pixel*. Nota-se que o MLME não gera classes de elementos, e sim *pixels* com maiores ou menores proporções dos alvos terrestres.

A etapa seguinte consistiu em selecionar os *pixels* de café do MODIS, obedecendo ao critério de que mais de 80% da área de cada *pixel* deve conter café, de acordo com a máscara. No total, foram contabilizados 414 *pixels*, dos quais se extraiu o valor da proporção de café presente em cada um.

A área de cada *pixel* do MODIS contém entre 90 e 110 *pixels* do LISS III e entre 63 e 72 *pixels* do TM. Desse modo, foi extraído o valor médio da proporção de café dos *pixels* destes dois sensores, a fim de correlacioná-los com os valores de cada *pixel* correspondente do MODIS. A Figura 2 mostra um exemplo dessa metodologia.

Os valores de proporção de café em cada *pixel* foram montados em uma tabela e calculou-se o coeficiente de correlação estatística (r) entre eles. Este coeficiente mede o grau de associação entre duas características a partir de uma série de observações. Sua variação é de +1 a -1. Quando $r = 1$, há correlação positiva perfeita entre as variáveis. Já quando $r = -1$, há correlação negativa perfeita entre as variáveis. Se $r = 0$, significa que as duas variáveis não são dependentes (Shimakura, 2006). De acordo com a mesma autora, os valores de r podem ser interpretados conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Interpretação dos valores do coeficiente de correlação.

Valor de r (+ ou -)	Correlação
0,00 a 0,19	Muito fraca
0,20 a 0,39	Fraca
0,40 a 0,69	Moderada
0,70 a 0,89	Forte
0,90 a 1,00	Muito forte

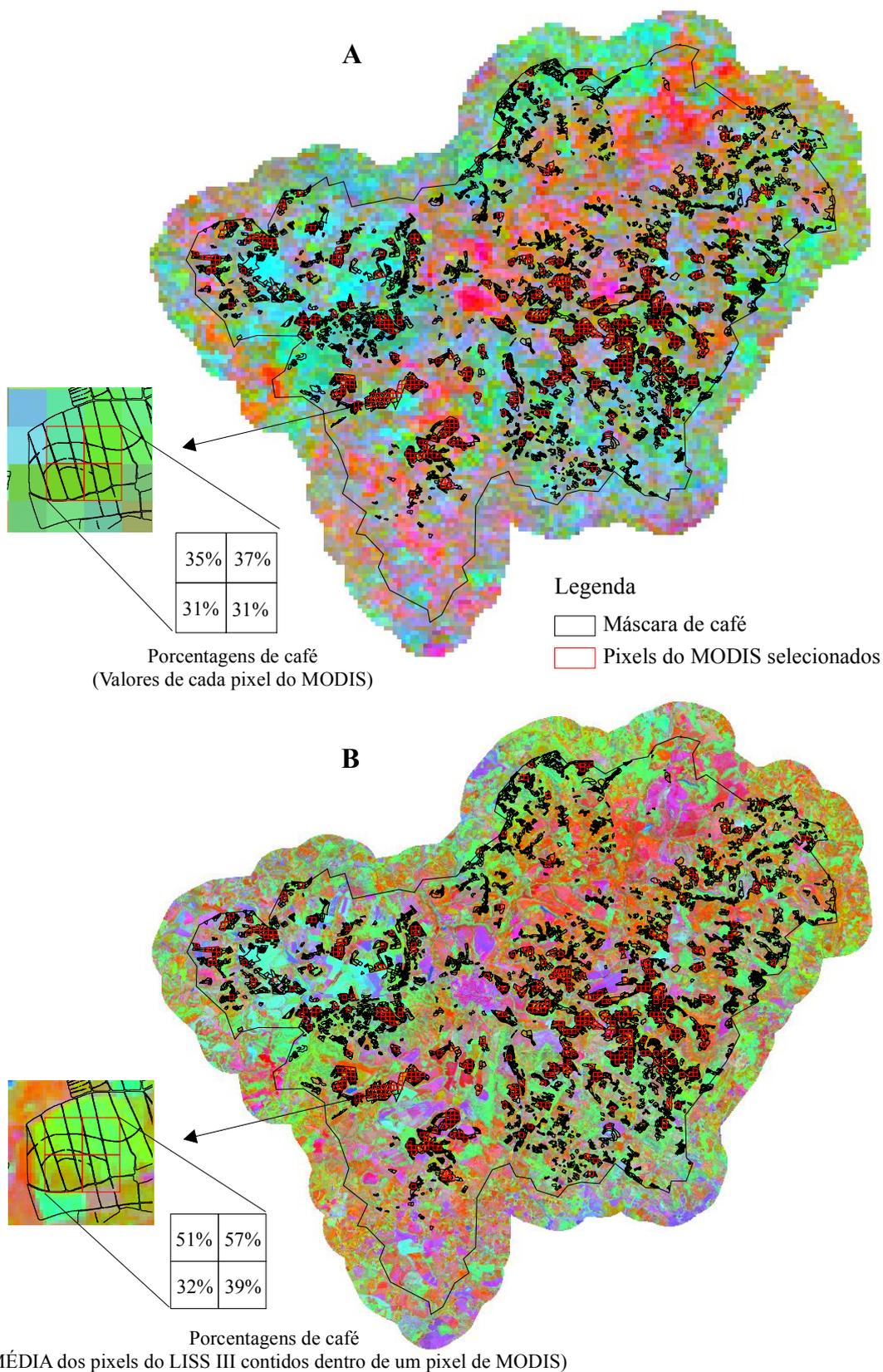


Figura 2. Exemplo da correspondência entre os valores de proporção de café nos pixels do MODIS e os valores médios de proporção de café nos pixels do LISS III. (A) Sensor MODIS: Imagens-fração R (solo) G (café) B (sombra), data 28/08 a 12/09/2012. (B) Sensor LISS III: Imagens-fração R (solo) G (café) B (sombra), data 01/09/2012.

3. Resultados e Discussão

As Figuras 3 e 4 mostram os gráficos de dispersão dos valores de proporção de café do período chuvoso, enquanto que as Figuras 5 e 6 apresentam os gráficos de dispersão dos valores de proporção de café do período de estiagem.

Observa-se que durante os períodos chuvosos, houve uma correlação fraca, sendo $r = 0.27$ para ambas as datas. Nos períodos de estiagem, por sua vez, a correlação foi forte para o ano de 2011, com $r = 0.71$, e moderada para o ano de 2012, sendo $r = 0.66$.

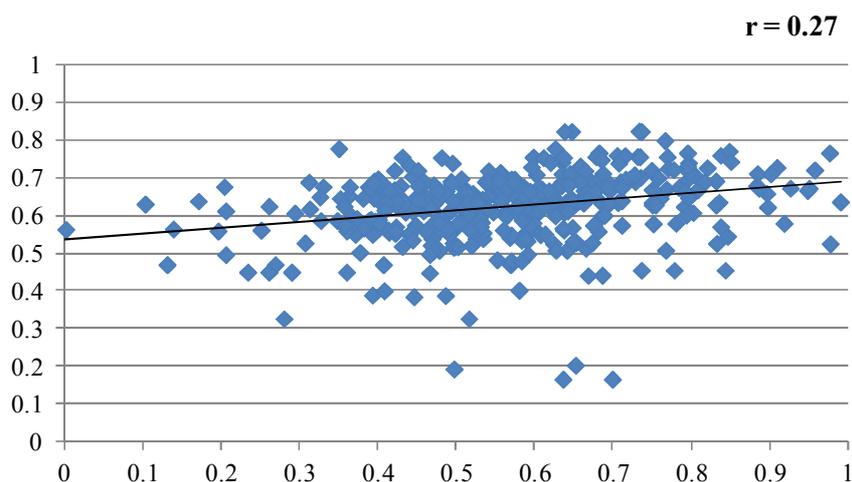


Figura 3. Gráfico de dispersão do período chuvoso (dezembro de 2010). Sensores MODIS e TM.

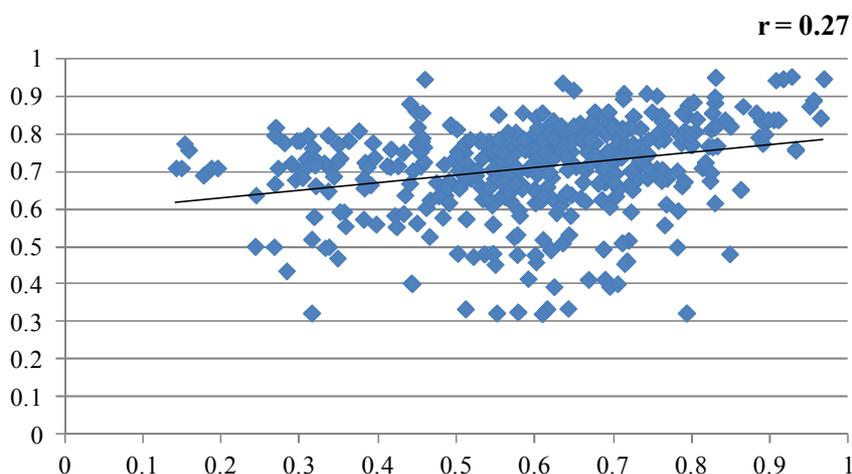


Figura 4. Gráfico de dispersão do período chuvoso (janeiro de 2012). Sensores MODIS e LISS III.

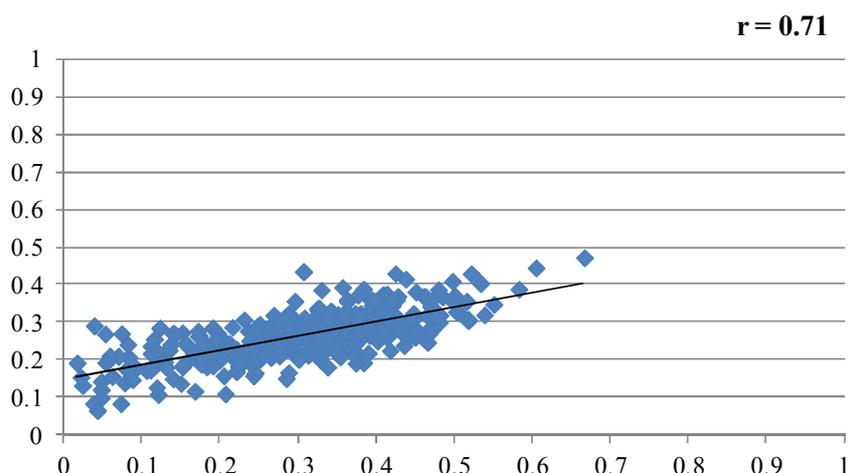


Figura 5. Gráfico de dispersão do período de estiagem (setembro de 2011). Sensores MODIS e TM.

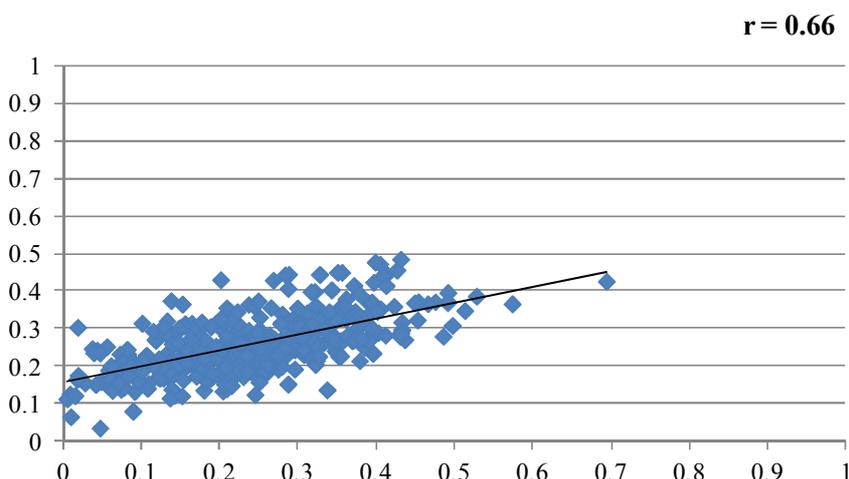


Figura 6. Gráfico de dispersão do período de estiagem (setembro de 2012). Sensores MODIS e LISS III.

No período de chuvas, a baixa correlação pode ser explicada devido a recuperação do café acontecer de maneira bastante heterogênea por conta dos diversos manejos aplicados durante a colheita. Fatores como a poda, idades e tamanhos distintos dos pés de café e até mesmo o uso de irrigação, podem proporcionar diferentes ritmos de crescimento vegetativo.

A melhor correlação obtida nos períodos de estiagem pode ser interpretada pelo fato do café apresentar maior homogeneidade devido ao seu desfolhamento durante a colheita, sobretudo no final desse processo.

4. Conclusões

Os resultados deste trabalho mostraram que, apesar da baixa resolução espacial do sensor MODIS, é possível a sua utilização, em períodos de estiagem, para estimar a proporção de café contida no *pixel*, dada a boa correlação com outros sensores de melhor resolução espacial.

Esta metodologia está sendo aplicada a uma maior série temporal a fim de confirmar tal padrão de correlação entre os sensores de diferentes resoluções espaciais.

Agradecimentos

A Éder Ribeiro dos Santos, pela disponibilização da imagem SPOT 5 e da máscara de café, bem como por toda ajuda prestada.

Ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas/SP.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelas bolsas de mestrado e doutorado concedidas.

Referências Bibliográficas

Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira Café. Safra 2012, terceira estimativa, setembro/2012**. Brasília: Conab, 2012. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_06_10_10_21_boletim_cafe_-_setembro_2012.pdf> Acesso em: 31 out. 2012.

Pádua, T. S. **Espaçamento econômico na cultura do cafeeiro (Coffea arábica L.): um estudo no Sul de Minas Gerais**. 1998. 62 p. Dissertação (Mestrado em Administração Rural), Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 1998.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos/SP: Parêntese, 2009.

Roberts, D. A.; Gardner, M.; Church, R.; Ustin, S.; Scheer, G.; Green, R. O. Mapping Chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 65, p. 267-279, 1998.

Shimakura, S.E. **Interpretação do coeficiente de correlação**. Disponível em:

<<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html>> Acesso em: 02 nov. 2012.

Silva, S. de M. **Competitividade do agronegócio do café na Região Sul de Minas Gerais**. 1998. 125 p. Dissertação (Mestrado em Administração Rural), Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 1998.