

IMAGENS DO SENSOR MODIS PARA MONITORAMENTO AGROMETEOROLÓGICO DE ÁREAS CAFEIEIRAS

Margarete Marin Lordelo Volpato¹, Tatiana Grossi Chquilloff Vieira²,
Helena Maria Ramos Alves³, Walbert Júnior Reis dos Santos⁴

(Recebido: 28 de novembro de 2011; aceito: 22 de novembro de 2012)

RESUMO: O monitoramento agrometeorológico de áreas cafeeiras tem sido realizado convencionalmente em campo utilizando-se dados de estações meteorológicas terrestres e visitas à lavoura para se observar seu desenvolvimento. Estudos mais recentes utilizam imagens de satélite, que permitem avaliar grandes áreas a custos menores. O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) do satélite Terra oferece gratuitamente imagens com alta resolução temporal e produtos voltados especialmente para vegetação como o MOD13, que fornece o índice de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) previamente processado. Objetivou-se, no presente estudo, avaliar a relação entre o índice de vegetação espectral NDVI e as variáveis meteorológicas e do balanço hídrico, em áreas cafeeiras do sul de Minas Gerais, visando à obtenção de modelos estatísticos dessa relação. A área de estudo localiza-se no município de Três Pontas, estado de Minas Gerais, Brasil. Os modelos estatísticos desenvolvidos demonstram a correlação significativa negativa entre o NDVI e déficit hídrico. Valores de NDVI menores que 70% podem indicar a deficiência hídrica de cafeeiros. Os modelos desenvolvidos no presente estudo poderão ser usados no monitoramento agrometeorológico de lavouras cafeeiras na região sul de Minas Gerais.

Termos para indexação: Café, sensoriamento remoto, balanço hídrico, NDVI.

MODIS IMAGES FOR AGROMETEOROLOGICAL MONITORING OF COFFEE AREAS

ABSTRACT: *Agrometeorological monitoring of coffee lands has conventionally been performed in the field using data from land-based meteorological stations and field surveys to observe crop conditions. More recent studies use satellite images, which assess large areas at lower costs. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor of the Earth satellite provides free images with high temporal resolution and vegetation specific products, such as the MOD13, which provides the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) processed in advanced. The objective of this study was to evaluate the relation between the NDVI spectral vegetation index and the meteorological and water balance variables of coffee lands of the south of Minas Gerais in order to obtain statistical models of this relationship. The study area is located in the municipality of Três Pontas, Minas Gerais, Brazil. The statistical models obtained demonstrate a significant negative correlation between the NDVI and water deficit. NDVI values under 70% may represent a water deficit in the coffee plants. The models developed in this study could be used in the agrometeorological monitoring of coffee lands in the south of Minas Gerais.*

Index terms: *Coffee, remote sensing, water balance, NDVI.*

1 INTRODUÇÃO

O sucesso no cultivo do café depende do monitoramento das condições climáticas durante todo o desenvolvimento da planta. Convencionalmente, esse monitoramento tem sido realizado em campo utilizando-se dados de estações meteorológicas e visitas à lavoura para observar seu desenvolvimento. Contudo, estudos mais recentes utilizam imagens de satélite que permitem avaliar grandes áreas a custos menores. O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) do satélite Terra oferece gratuitamente imagens com alta resolução

temporal e produtos voltados especialmente para a vegetação como o MOD13, que fornece o índice de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), a cada 16 dias, previamente processado (DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER - DAAC, 2011). O índice de vegetação é uma técnica de realce da vegetação, por meio de operações matemáticas simples, usada no processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, com o propósito de analisar diferentes bandas espectrais de uma mesma cena, simultaneamente (HILL; DONALD, 2003). O NDVI é sensível à presença de clorofilas e outros pigmentos da vegetação responsáveis pela

¹Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG - Laboratório de Geoprocessamento - Unidade Regional Sul de Minas - Cx. P. 176 - 37.200-000 - Lavras-MG - margarete@epamig.ufla.br

²Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG - Laboratório de Geoprocessamento - Unidade Regional Sul de Minas - Cx.P. 176 - 37.200-000 - Lavras-MG - tatiana@epamig.ufla.br

³Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA CAFÉ - Parque Estação Biológica-PqEB,s/nº - Edifício Sede Embrapa - 70.7770-901 - Brasília-DF - helena@embrapa.br

⁴Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciência do Solo/DCS - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras-MG walbert.santos@codevasf.gov.br

absorção da radiação solar na banda do vermelho e tem sido utilizado basicamente para estimar biomassa e mudanças no desenvolvimento das comunidades vegetais (FENSHOLT; NIELSEN; STISEN, 2006; HUETE et al., 2002; MACHADO et al., 2010; TUCKER et al., 2005; ZHANG et al., 2003), sendo, segundo Hatfield et al. (2008), o índice de vegetação espectral mais utilizado em pesquisas agronômicas.

Liu, Massambani e Nobre (1994) afirmam que a variação anual do NDVI pode ser um bom indicador do estresse da vegetação causado pelas alterações climáticas regionais. Schultz e Halpert (1995) observaram a variabilidade espacial das relações entre NDVI, temperatura da superfície da terra e dados de precipitação, bem como o potencial para o uso combinado de NDVI e dados de temperatura para monitoramento bioclimático na América do Sul.

Objetivou-se, no presente estudo, avaliar a relação entre o índice de vegetação espectral NDVI e as variáveis meteorológicas e do balanço hídrico, em áreas cafeeiras do sul de Minas Gerais, visando à obtenção de modelos estatísticos dessa relação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área selecionada no município de Três Pontas, região sul de Minas Gerais. O município, que ocupa uma posição importante na produção cafeeira do Estado, é caracterizado por altitude média de 900 m, predominância de relevo plano a ondulado e Latossolos (VIEIRA et al., 2007).

Para o desenvolvimento do trabalho foram analisados dados meteorológicos coletados pela Cooperativa Agrícola de Três Pontas, coordenadas geográficas latitude 21° 22' 16" S, longitude 45° 29' 23" W e altitude 920 m, no período de janeiro 2008 a dezembro de 2010.

Posteriormente, foram realizadas análises de balanço hídrico climatológico (BH) com o auxílio do programa Balanço Hídrico Sequencial, Versão 1.0, desenvolvido por Souza (2008), que se baseia na metodologia adaptada de Thornthwaite e Mather (1955). O programa utilizou dados de precipitação, evapotranspiração de referência (ET_o), coeficiente de cultivo (kc), capacidade de água disponível (CAD) e fração de água disponível no solo para a cultura do café.

Os valores de kc utilizados para transformar a ET_o em evapotranspiração da cultura basearam-se nas publicações de Sato et al. (2007), referentes ao coeficiente de cultura do cafeeiro no período

de outono-inverno na região de Lavras, MG e de Villa Nova et al. (2002), que estimaram os valores de coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas para o período de janeiro a março e outubro a dezembro (Tabela 1).

TABELA 1 – Valores de coeficiente de cultivo (kc) utilizado nas análises.

Mês	kc	Mês	kc
Jan	0,89	Jul	0,62
Fev	0,87	Ago	0,62
Mar	0,91	Set	1,17
Abr	0,94	Out	1,03
Mai	0,88	Nov	0,9
Jun	0,62	Dez	0,95

Nas análises dos balanços hídricos realizadas para os anos de 2008, 2009 e 2010, considerou-se o valor de CAD 100 mm e o valor da fração de água disponível no solo 0,6, que representam a maioria dos solos encontrados nas áreas cafeeiras da região (MEIRELES et al., 2009; SOUZA; FRIZZONE, 2007). Realizadas as análises de balanços hídricos diários para os anos de 2008, 2009 e 2010, os valores diários dos componentes dos balanços hídricos foram agrupados em períodos de 16 dias.

Para o mapeamento das lavouras cafeeiras adultas (plantas com mais de 5 anos) foi criado um banco de dados geográfico no sistema para processamento de informações georreferenciadas Spring 5.0 (CÂMARA et al., 1996). As áreas selecionadas no mapeamento encontram-se, todas, a uma distância máxima de 10 km do local de coleta dos dados meteorológicos. O mapeamento das lavouras foi feito por interpretação visual de uma imagem do satélite Landsat 5/sensor TM, órbita/ponto 219/75, do dia 16/07/2008 com resolução espacial de 30 m, restaurada para 10 m. Nessa imagem foram selecionadas áreas cafeeiras maiores que 10 ha. Posteriormente, as áreas selecionadas foram conferidas em campo com auxílio de um GPS de navegação e revisitadas periodicamente para o acompanhamento das condições das lavouras e da fenologia dos cafeeiros.

Na análise do índice de vegetação espectral foram usadas imagens do produto NDVI/MODIS/Terra MOD13 com resolução espacial de 250 metros (DAAC, 2011). Esse produto é gerado a partir de imagens adquiridas em um

período de 16 dias e o processo de composição seleciona o melhor pixel da imagem para compor o produto MOD13Q1, minimizando eventuais distorções espaciais, ruídos radiométricos e efeitos atmosféricos (HUETE et al., 2002). Foram analisadas 72 imagens MOD13Q1 para o período estudado, entretanto 7 foram descartadas. Foram adquiridos valores de NDVI de dois pixels puros, para cada imagem, escolhidos aleatoriamente dentro do limite das lavouras selecionadas. Foram escolhidas 10 lavouras aleatoriamente, perfazendo o total de 20 pixels por imagem. As imagens NDVI foram convertidas para GeoTiff utilizando-se o software MRT (DAAC, 2011).

Na etapa seguinte foram analisadas as relações entre as variáveis meteorológicas coletadas e estimadas, os valores de NDVI e as fases fenológicas de cafeeiros descritas por Camargo e Camargo (2001) e que podem ser resumidas em: Fase I - vegetação e formação de gemas florais; Fase II – indução e maturação das gemas florais; Fase – III – floração e expansão dos frutos; Fase IV – granação dos frutos; Fase V – maturação dos frutos; Fase VI – repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários.

Para analisar como as variáveis espectrais e de campo se correlacionavam foram realizadas correlações de Pearson entre os valores de NDVI das áreas cafeeiras e as variáveis meteorológicas, com o intuito de estimar a intensidade da associação entre as variáveis. A partir das melhores correlações foram testados modelos de regressão para o ajuste dos dados. A relação entre as variáveis foi sumarizada por meio do diagrama de espalhamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo realizado no município de Três Pontas, região sul de Minas Gerais, foi constatado que as temperaturas médias do ar registradas nos anos de 2008, 2009 e 2010 foram 20,6 °C, 20,6 °C e 21,2 °C, respectivamente. No caso do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), as temperaturas médias anuais ótimas situam-se entre 18 °C e 22 °C (MEIRELES et al., 2009). Portanto, a temperatura média anual de Três Pontas, para os anos estudados, se enquadra nesse intervalo de ótima para a espécie. As precipitações totais registradas nos anos de 2008, 2009 e 2010 foram de 1616 mm/ano, 2089 mm/ano e 1113 mm/ano. Camargo e Camargo (2001) afirmam que a exigência de chuvas para cafeeiros

da espécie arábica é bastante variável, de acordo com a fase fenológica da planta. No período de vegetação e frutificação, que vai de outubro a maio, o cafeeiro precisa de água disponível no solo. No período de colheita e repouso, junho a setembro, a necessidade de água é pequena e a estiagem não prejudica a produção. O ciclo fenológico dos cafeeiros apresenta uma sucessão de fases vegetativas e reprodutivas que ocorrem em aproximadamente dois anos, diferentemente da maioria das plantas que emitem as inflorescências na primavera e frutificam no mesmo ano fenológico.

O cálculo do balanço hídrico mostrou que os valores de evapotranspiração real (ER) acumulados nos anos de 2008, 2009 e 2010 foram de 835, 912 e 794 mm, respectivamente. Os valores de excedente hídrico (EXC) acumulados nos anos de 2008, 2009 e 2010 foram de 781, 1179 e 342 mm, respectivamente, e os valores de deficiência hídrica (DH) acumulados nos mesmos anos foram de 63, 2 e 181 mm. Esse resultado evidencia um grande contraste de disponibilidade hídrica entre os três anos analisados. A Figura 1 apresenta a variação da temperatura média do ar, precipitação, evapotranspiração real, excedente e déficit hídrico acumulado para períodos de 16 dias.

Visando relacionar variáveis meteorológicas terrestres e o índice de vegetação espectral NDVI oriundo de imagens MOD13 do sensor MODIS/Terra, a Figura 2 apresenta a precipitação acumulada, o déficit hídrico, o NDVI médio e as fases fenológicas dos cafeeiros no período estudado.

O NDVI médio apresentou valor máximo de 83% (abril de 2008 – final do período chuvoso) e mínimo de 50% (setembro de 2010 – final do período seco). Observa-se ainda que, quando as precipitações acumuladas nos períodos de 16 dias são reduzidas a zero, os valores do NDVI decrescem lentamente, em consequência do índice de área foliar menor das lavouras de café na estação seca e da queda de folhas na colheita. Segundo Chapman e Thornes (2003), a evolução sazonal ou anual do grau de verde da vegetação inferido pelo NDVI responde, intimamente, à distribuição anual da precipitação. O NDVI também pode ser relacionado a uma redução do vigor fotossintético em plantas de café quando submetidas à deficiência de água, como foi relatado por Sims e Gamon (2002).

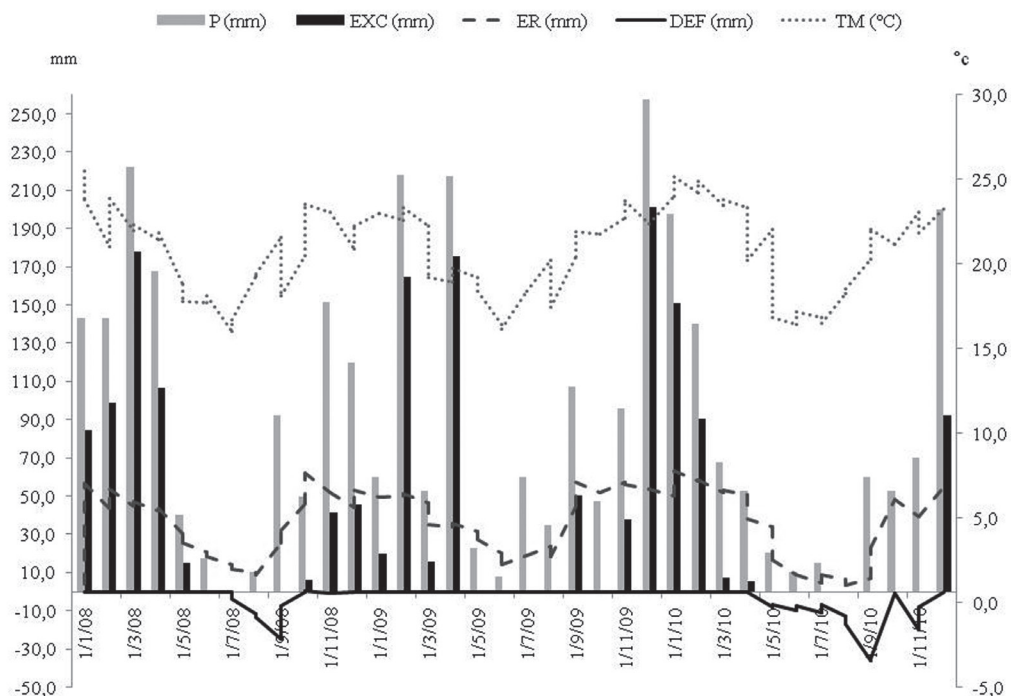


FIGURA 1 – Variação da temperatura média do ar (TM), precipitação (P), evapotranspiração real (ER), excedente (EXC) e déficit hídrico (DEF) para períodos de 16 dias, anos 2008 a 2010, em Três Pontas, MG.

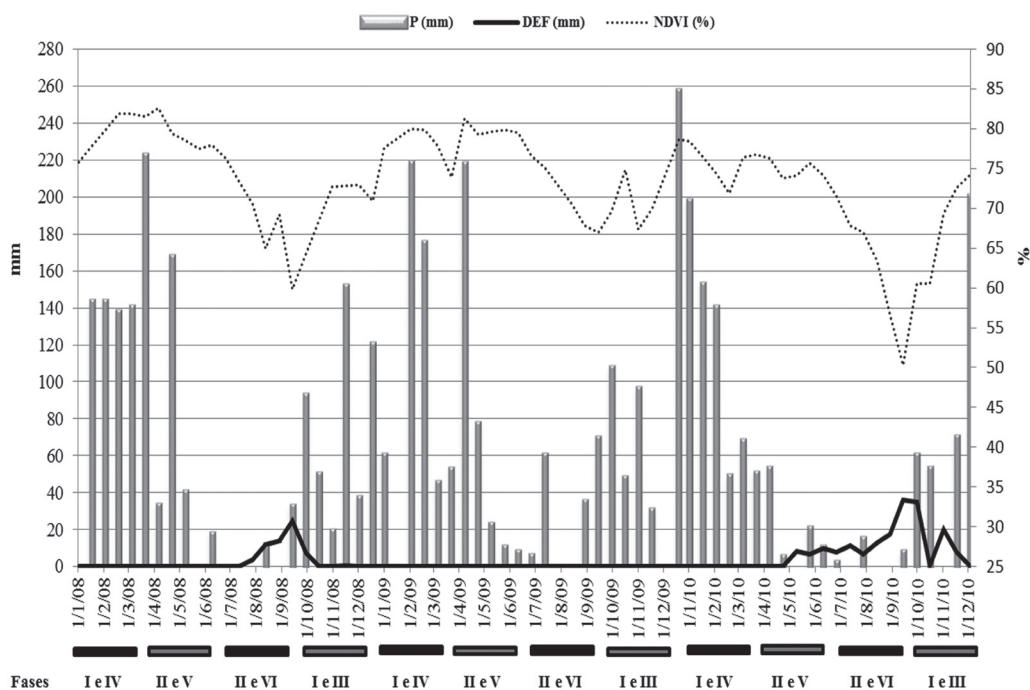


FIGURA 2 – Variação da precipitação (P), déficit hídrico (DEF) e do NDVI médio para períodos de 16 dias e das fases fenológicas dos cafeeiros, nos anos de 2008, 2009 e 2010, em Três Pontas, MG.

No ano de 2008 observou-se o maior valor de déficit hídrico em setembro, 25 mm, e valor do NDVI mínimo no ano de 60%. Os cafeeiros

monitorados encontravam-se nas fases maturação das gemas florais (II) e repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários (VI) e o

déficit hídrico não prejudicou a produção. No ano de 2009 não houve déficit hídrico e o NDVI mínimo, de 67%, ocorreu em setembro. No ano 2010 o déficit hídrico foi acentuado com maior valor em setembro, 36 mm, relacionado ao valor do NDVI mínimo de 50% no ano. Os cafeeiros monitorados encontravam-se nas fases maturação das gemas florais (II) e repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários (VI) e o déficit hídrico estendeu-se até o início das fases I e III, sem prejuízo para a florada. Analisando a variabilidade do NDVI do sensor AVHRR/NOAA sobre o Brasil, Gurgel, Ferreira e Luiz (2003) observaram, para região Sudeste, um ciclo anual definido, com valores máximos de NDVI entre março e maio e mínimos em setembro, final do período seco.

Apos análise da dinâmica temporal das variáveis climáticas e espectrais foram realizadas correlações de Pearson entre os valores de NDVI médio das áreas cafeeiras e as variáveis meteorológicas, temperatura média (TM) e precipitação acumulada (P), e as resultantes do balanço hídrico climático (BH), evapotranspiração real (ER), excedente hídrico (EXC) e déficit hídrico (DEF), para o período de 2008 a 2010 (Tabela 2), a fim de estimar a intensidade da associação entre as variáveis. Para esses anos, os resultados indicaram fraca correlação entre o NDVI e a precipitação, a temperatura do ar, a evapotranspiração real e o excedente hídrico. O oposto foi verificado entre o NDVI e o déficit hídrico.

TABELA 2 – Valores dos coeficientes de correlação de Pearson para análise da relação entre NDVI e variáveis meteorológicas no período 2008 - 2010.

Variáveis Correlacionadas	Coefficiente de Correlação (r)
TM X NDVI	0,1616
P X NDVI	0,3989
ER X NDVI	0,3669
DEF X NDVI	-0,7224*
EXC X NDVI	0,4609*

n= 65; *valores significativos a 5% de probabilidade; TM = temperatura média; P = precipitação acumulada; ER = evapotranspiração real; DEF = déficit hídrico; EXC = excedente hídrico.

Na Tabela 3 são apresentados os modelos de regressão linear entre o NDVI e o déficit hídrico e seus respectivos coeficientes de determinação, uma vez que esses tiveram melhor ajuste.

TABELA 3 – Modelos de regressão e seus respectivos coeficientes de determinação, no período de 2008 a 2010.

Modelos	Coef. de Determinação (r ²)
$DEF_1 = -0,865 \text{ NDVI} + 67,13$	0,524*
$DEF_2 = 0,040 (\text{NDVI})^2 - 6,449 \text{ NDVI} + 259,2$	0,623*

(n= 65, *valores significativos a 5% de probabilidade).

Liu e Ferreira (1991) correlacionaram o NDVI com a precipitação, evapotranspiração potencial e déficit hídrico gerados em três regiões do estado de São Paulo e também observaram melhor correlação entre o NDVI e o déficit hídrico. Chen, Huang e Jackson (2005) estimaram o teor de água de lavouras de milho e soja em função do NDVI derivado de imagens MODIS e encontraram coeficientes de determinação superiores a 0,70.

A Figura 3A apresenta o comportamento dos valores de déficit hídrico obtidos do balanço hídrico climatológico e os estimados em função do NDVI médio. Observa-se que valores de NDVI menores que 70% estimam ocorrência de déficit hídrico. No período de agosto a dezembro de 2009 os modelos estimaram a ocorrência de déficit hídrico em alguns períodos, sem que fossem observados em campo. Essa estimativa está relacionada diretamente com o decréscimo dos valores de NDVI devido à redução da área foliar ocorrida durante o período de colheita e da fase fenológica VI do cafeeiro (repouso e senescência dos ramos).

A Figura 3B apresenta o diagrama de dispersão, que sintetiza a relação entre as variáveis, déficit hídrico observado e os estimados a partir do NDVI. Observa-se a relação positiva entre os déficits hídricos calculados e os estimados a partir do NDVI (DEF est 1 e DEF est 2). Ocorreram períodos em que os valores de déficit hídrico foram subestimados em relação aos observados.

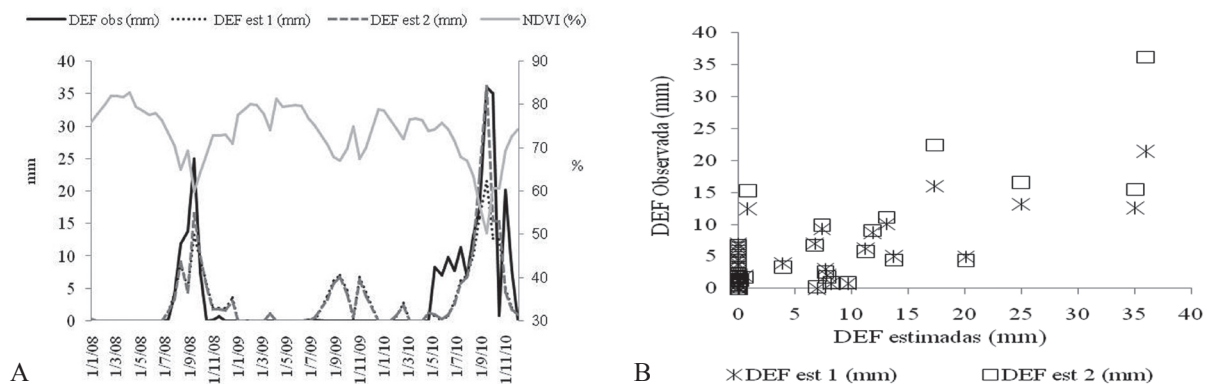


FIGURA 3 – A – Comportamento dos valores de déficit hídrico observado e os estimados (DEF est 1 e DEF est 2) em função do NDVI médio. B – Dispersão dos valores de déficit hídrico observado e os estimados (DEF est 1 e DEF est 2) em função do NDVI.

4 CONCLUSÕES

O produto MOD13 de imagens do sensor MODIS/Terra apresentou potencial para auxiliar no monitoramento do déficit hídrico em áreas cafeeiras. Os modelos estatísticos desenvolvidos demonstram a correlação significativa negativa entre o NDVI e déficit hídrico. Valores de NDVI menores que 70% podem indicar a deficiência hídrica de cafeeiros.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro para execução do trabalho e à Fundação de Amparo e Pesquisa do estado de Minas Gerais (Fapemig) pela concessão de bolsas de estudo.

6 REFERÊNCIAS

- CÂMARA, G. et al. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers and Graphics**, New York, v. 20, p. 395-403, 1996.
- CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.
- CHAPMAN, L.; THORNES, J. E. The use of geographical information systems in climatology and meteorology. **Progress in Physical Geography**, London, v. 27, n. 3, p. 313-330, 2003.
- CHEN, D.; HUANG, J.; JACKSON, T. J. Vegetation water content estimation for corn and

soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 98, p. 225-236, 2005.

DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER. **MODIS**. Disponível em: <<https://lpdaac.usgs.gov/>>. Acesso em: 24 mar. 2011.

FENSHOLT, R.; NIELSEN, T. T.; STISEN, S. Evaluation of AVHRR PAL and GIMMS 10-day composite NDVI time series products using SPOT-4 vegetation data for the African continent. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 27, p. 2719-2733, 2006.

GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se da análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 85-90, 2003.

HATFIELD, J. L. et al. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 3, p. S117-S131, 2008. Supplement.

HILL, M. J.; DONALD, G. E. Estimating spatio-temporal patterns of agricultural productivity in fragmented landscapes using AVHRR NDVI time series. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 84, p. 367-384, 2003.

HUETE, A. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 83, p. 195-213, 2002.

- LIU, W. T. H.; FERREIRA, A. Monitoring crop production regions in São Paulo State of Brazil using NDVI. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF REMOTE SENSING FOR ENVIRONMENT, 24., 1991, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Ann Arbor: ERIM, 1991. v. 2, p. 447-455.
- LIU, W. T. H.; MASSAMBANI, O.; NOBRE, C. Satellite recorded vegetation response to drought in Brazil. **International Journal of Climatology**, London, v. 14, p. 343-354, 1994.
- MACHADO, M. L. et al. Mapeamento de áreas cafeeiras (*Coffea arabica* L.) da Zona da Mata Mineira usando sensoriamento remoto. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 113-122, 2010.
- MEIRELES, E. J. L. et al. Café. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p. 351-372.
- SATO, F. A. et al. Coeficiente de cultura (kc) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no período de outono-inverno na região de Lavras, MG. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 383-391, 2007.
- SCHULTZ, P. A.; HALPERT, M. S. Global analysis of the relationships among a vegetation index, precipitation and land surface temperature. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 16, p. 2755-2778, 1995.
- SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 81, n. 2/3, p. 337-354, 2002.
- SOUZA, J. L. M. **Programa MORETTI: módulo balanço hídrico sequencial: periodicidade: 1, 5, 7, 10, 15 e 30 dias. Versão 1.0**. Curitiba: UFPR, 2008.
- SOUZA, J. L. M.; FRIZZONE, J. A. Simulação do balanço hídrico para a cultura do cafeeiro nas regiões de Lavras e Uberlândia. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 291-301, 2007.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Centerton, 1955. 104 p.
- TUCKER, C. J. et al. An extended AVHRR 8-km NDVI Data Set Compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI Data. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 26, p. 4485-4498, 2005.
- VIEIRA, T. G. C. et al. Geotechnologies in the assessment of land use changes in coffee regions of the state of Minas Gerais in Brazil. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 97-191, 2007.
- VILLA NOVA, N. A. et al. Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 1, p. 81-88, 2002.
- ZHANG, X. et al. Monitoring vegetation phenology using modis. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 84, p. 471-475, 2003.