

## MODELAGEM ESPECTRO-TEMPORAL DO NDVI OBTIDO DE IMAGENS LANDSAT 7 E 8 APLICADO NA CAFEICULTURA

Marcus André Braido Pinheiro<sup>1\*</sup>, Marcelo de Carvalho Alves<sup>2\*</sup>, Jonathan da Rocha Miranda<sup>3\*</sup>, Michel Eustáquio Dantas Chaves<sup>4\*</sup>, Pedro Arthur de Azevedo Silva<sup>5\*</sup>, Jade Gonçalves Alacoque<sup>6\*</sup>, Filipe Silveira Trindade<sup>7\*</sup>

<sup>1</sup>Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras - UFLA, marcus-andre.b.p@hotmail.com; <sup>2</sup>Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras - UFLA, marcelocarvalhoalves@gmail.com; <sup>3</sup>Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras - UFLA, jonathanrocha7@yahoo.com.br, <sup>4</sup>Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras - UFLA, medchaves@posgrad.ufla.br, <sup>5</sup>Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras - UFLA, pedroarthursilva@hotmail.com, <sup>6</sup>Graduanda em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras - UFLA, jade.alacoque@gmail.com, <sup>7</sup>Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras - UFLA, filipestrindade@gmail.com

\* Campus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras/MG

### RESUMO

Objetivou-se com este trabalho realizar previsões dos valores de NDVI para determinação do perfil fenológico de uma lavoura de café utilizando imagens Landsat 7 e 8. O estudo foi conduzido em uma lavoura cafeeira no sul do estado de Minas Gerais. Utilizou-se a biblioteca virtual Climate Engine para a coleta de dados de NDVI no período de 2012 a 2016. De posse da série temporal foi aplicado o filtro Savitzky-Golay e avaliados os dados com e sem a aplicação deste filtro. Foram realizadas regressões polinomiais para previsão dos valores de NDVI. Para avaliação dos métodos, foram aplicadas as estatísticas de Erro Absoluto Médio (EAM), Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), Índice de Concordância de Willmott (d), eficiência do modelo por Nesh e Sutcliff (EF) e o Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ). A aplicação da filtragem demonstrou os resultados com maior acurácia e precisão, promovendo melhoras em todas as estatísticas aplicadas.

**Palavras-chave** — Savitzky-Golay, Série temporal, Landsat, *Coffea Arabica* L.

### ABSTRACT

*The objective of this work was to perform predictions of the NDVI values to determine the phenological profile of a coffee crop using Landsat 7 and 8 images. The study was conducted in a coffee plantation in the southern state of Minas Gerais. We used the Climate Engine virtual library to collect NDVI data, generating a temporal profile with and without the application of Savitzky-Golay filtering. Polynomial*

*regressions were performed to predict NDVI values. For the evaluation of the methods, the mean Absolute Error (EAM), Mean Quadratic Error Root (REQM), Willmott's Concordance Index (d), Nesh and Sutcliff (EF) efficiency of the model and the Determination Coefficient ( $R^2$ ). The application of the filtering demonstrated the results with greater accuracy and precision, promoting improvements in all applied statistics.*

**Key words** — Savitzky-Golay, Time Series, Landsat, *Coffea Arabica* L.

### 1. INTRODUÇÃO

O café no Brasil destaca-se por estar entre umas das principais *commodities*, possuindo alta notabilidade principalmente por ser um produto presente no consumo diário [1]. No ano de 2018, o país deverá colher, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, cerca de 58 milhões de sacas de café beneficiado, sendo o Estado de Minas Gerais o maior produtor, com cerca de 31 milhões de sacas [2].

Para o manejo da cafeicultura, o índice de vegetação NDVI [3], é uma importante ferramenta na tomada de decisão, já que, na prática, se relaciona com diversos parâmetros da vegetação (IAF, produtividade, biomassa, radiação fotossinteticamente ativa e diversos outros) [4,5].

Porém, um dos principais desafios na análise de dados de sensoriamento remoto por séries temporais é lidar com os ruídos presentes nas imagens [6], que podem causar perda de informação devido a falhas no sensor ou interferência de componentes atmosféricos. Neste caso os valores radiométricos da imagem tendem a serem atenuados

principalmente pela presença de nuvens e sombras bem como a concentração de ozônio, vapor d'água e aerossol na atmosfera [7].

As falhas nas datas disponíveis podem inviabilizar pesquisa de cunho agrônomo que necessitam de uma periodicidade de informações que se correlacionam com o desenvolvimento da cultura. O uso do filtro Savitzky-Golay pode promover o ajuste na curva da série temporal, tornando-a sensível às mudanças sazonais da vegetação, sem perder as características temporais inerentes.

Partindo do pressuposto de que a filtragem remove ruídos de imagem de satélite gerando um perfil sazonal característico para a cultura, objetivou-se com este trabalho, realizar previsões de valores de NDVI com a falta de dados dos satélites Landsat 7 e 8 para determinar o perfil fenológico da cultura do café, visando o preenchimento de descontinuidades nas séries temporais.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo utilizada no trabalho está localizada no Sul de Minas Gerais, no município de Carmo do Rio Claro. A lavoura cafeeira é delimitada pelas coordenadas latitude 21°00'28" Sul e longitude de 46°01'30" Oeste. O cafeeiro (*Coffea arabica* L.) é da cultivar Acaia 474/19 irrigado por gotejamento, com a lavoura implantada em novembro de 2010 (Figura 1).

Foram coletados os valores de reflectância provenientes das imagens Landsat 7 e 8, por meio da biblioteca virtual Climate Engine. Coletou-se valores do índice NDVI [3] para o ponto amostral (21° 0' 32,9" S, 46° 01' 27,8 O) no período de outubro de 2012 a outubro de 2016.

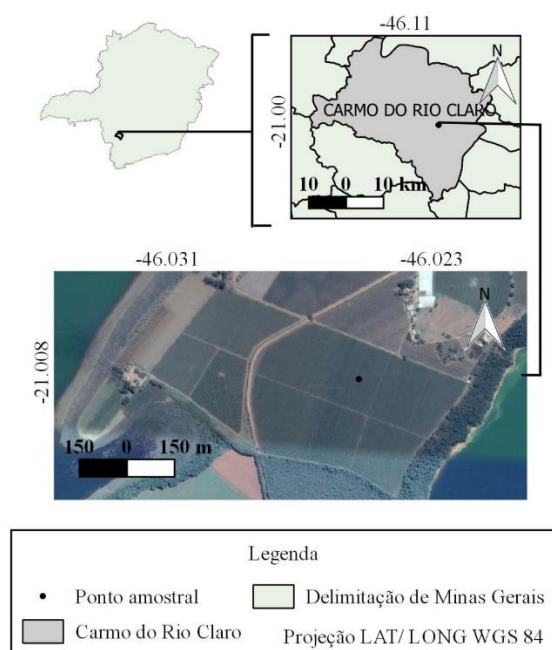


Figura 1. Caracterização da área de estudo.

Para promover o ajuste na curva da série temporal foi aplicado o filtro Savitzky-Golay, que pode ser empregado para a suavização de ruídos em séries temporais de imagens de satélite [9]. Este processo foi efetuado por meio do software TIMESAT.

Após a filtragem, foram geradas regressões polinomiais para verificar a associação entre o tempo de análise e o NDVI para os dados com e sem a aplicação do filtro, gerando os resultados para cada ano de análise.

Com a geração das regressões, foram calculados os valores de NDVI por meio da equação de regressão gerada para cada ano e, a partir dos resultados, foram utilizadas as medidas estatísticas de Erro Absoluto Médio (EAM), Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), Índice de Concordância de Willmott (d), eficiência do modelo por Nesh e Sutcliff (EF), além dos valores máximos (Max), Mínimos (Mín), Desvio Padrão (sd), Coeficiente de Variação (cv) e o Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) [10,11] para verificar a acurácia do modelo obtido.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A série temporal do NDVI com e sem a filtragem Savitzky-Golay está apresentada na Figura 2.

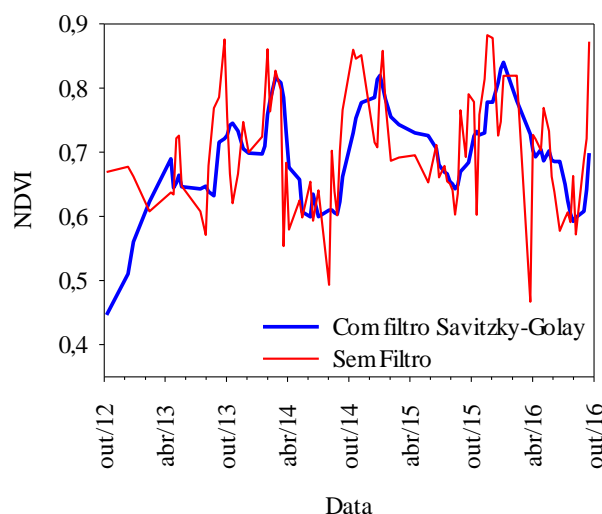


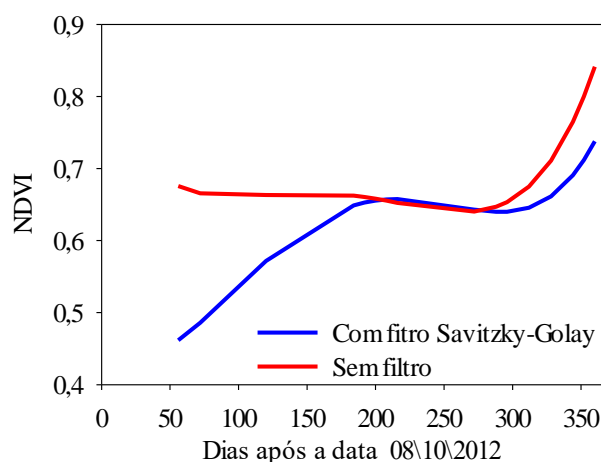
Figura 2. Série temporal do NDVI com e sem a aplicação da filtragem por Savitzky-Golay.

A aplicação da série temporal permitiu a visualização da sazonalidade na cultura do café. Verificou-se que nos meses que ocorrem a colheita, de abril até setembro, o valor do índice NDVI apresenta uma queda, fato verificado para todos os anos estudados. No mês de outubro de cada ano ocorreu o ponto de inflexão da série, e a partir dessa observação, definiu-se o período em que seriam realizadas as regressões para posterior previsão de valores.

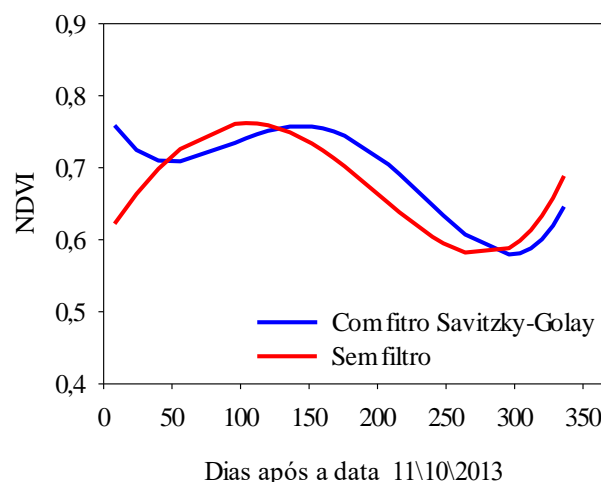
A redução do NDVI pode estar relacionada à época em que as plantas se encontram em período de colheita, momento

em que a planta perde biomassa em função do manejo aplicado [12].

As Figuras 3 a 6 expõem a análise de previsão dos valores de NDVI, separados, anualmente, entre 2012 a 2016.



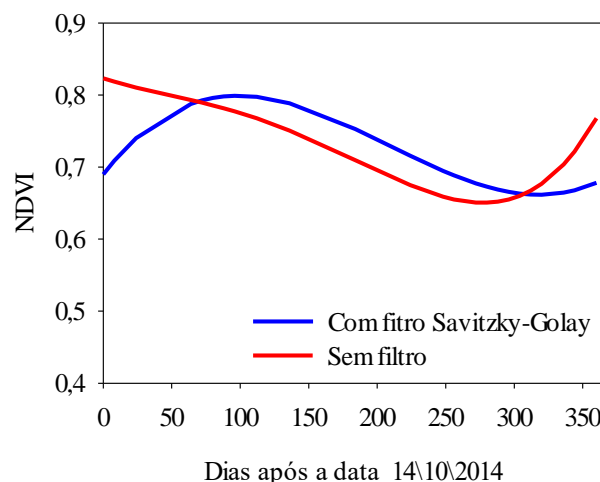
**Figura 3. Previsão dos valores de NDVI com e sem a aplicação da filtragem por Savitzky-Golay para o período 2012-2013.**



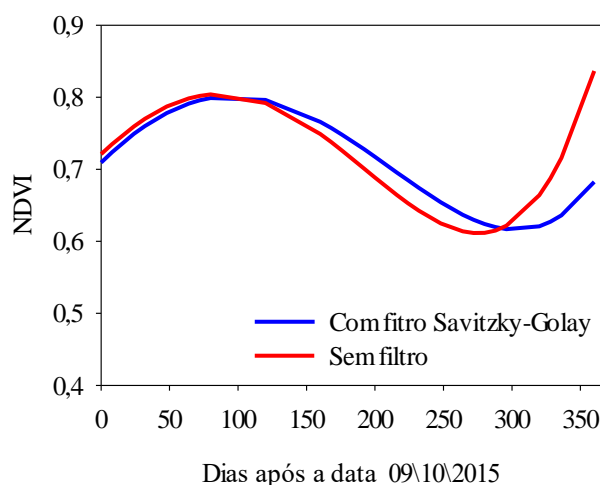
**Figura 4. Previsão dos valores de NDVI com e sem a aplicação da filtragem por Savitzky-Golay para o período 2013-2014.**

Observou-se na Figura 3 a diferença entre os valores de NDVI na parte inicial de avaliação. Essa discrepância é também visualizada na Figura 1, na qual a série temporal torna-se diferente no princípio da avaliação. Verificou-se que, com a filtragem, todos os parâmetros estatísticos mostram melhoras e comprovam a previsão mais precisa dos valores do índice avaliado (Tabelas 1 e 2).

Com relação ao período 2012-2013, a Figura 4 mostra a filtragem com maiores valores nos primeiros quarenta dias e, com o passar do tempo, os valores ficam mais ajustados aos dados sem filtro. Após a análise estatística, verificou-se que, com a aplicação do filtro, o  $R^2$  é de 0,82, enquanto sem o filtro o valor cai para 0,49.



**Figura 5. Previsão dos valores de NDVI com e sem a aplicação da filtragem por Savitzky-Golay para o período 2014-2015.**



**Figura 6. Previsão dos valores de NDVI com e sem a aplicação da filtragem por Savitzky-Golay para o período 2015-2016.**

Na Figura 5, verifica-se uma maior proximidade das séries (com e sem filtro) no gráfico, com discrepâncias apenas nas extremidades do ano de avaliação. Ao verificar o EAM, tem-se que com a filtragem o valor é menor (0,01) e sem a filtragem, ocorre um acréscimo nesse erro (0,04). O  $R^2$  para a regressão com filtro é de 0,92 e de 0,65 sem o filtro Savitzky-Golay.

Para o último ano de avaliação (2015-2016), observou-se proximidade maior entre as duas curvas de regressão, no final do período de avaliação, ou seja, a partir do dia 300, as linhas começaram a se distanciar, demonstrando diferentes comportamentos dos valores preditos. O  $R^2$  das regressões com e sem a filtragem foram de 0,87 e 0,45, respectivamente.

**Tabela 1. Estatísticas de avaliação dos modelos com a filtragem por Savitzky-Golay.**

	Com filtro			
	12-13	13-14	14-15	15-16
EAM	0,01	0,03	0,01	0,02
r	0,97	0,90	0,96	0,93
REQM	0,02	0,03	0,02	0,02
d	0,98	0,95	0,98	0,96
EF	0,94	0,82	0,92	0,87
Max	0,73	0,82	0,82	0,84
Min	0,45	0,60	0,64	0,59
sd	0,07	0,07	0,06	0,07
cv	11,76	10,55	8,02	9,74
R <sup>2</sup>	0,94	0,82	0,92	0,87

**Tabela 2. Estatísticas de avaliação dos modelos sem filtragem.**

	Sem filtro			
	12-13	13-14	14-15	15-16
EAM	0,04	0,05	0,04	0,05
r	0,76	0,70	0,81	0,67
REQM	0,05	0,06	0,05	0,08
d	0,85	0,80	0,89	0,78
EF	0,58	0,49	0,65	0,45
Max	0,88	0,86	0,86	0,88
Min	0,57	0,49	0,60	0,47
sd	0,08	0,09	0,08	0,11
cv	11,44	13,30	10,80	14,82
R <sup>2</sup>	0,58	0,49	0,65	0,45

Foi verificado em todas as regressões (Figura 3 a 6) que existe uma discrepância entre as linhas de dados filtrados e sem filtro. Essa diferença ocorre pelo pequeno número de dados disponíveis para as datas. Contudo, quando as linhas se aproximaram, o número de dados disponíveis para as datas foi maior. Essa falta de dados ocorre pela presença de nuvens, ruídos, ou falhas nos sensores, tornando os dados impróprios para uso em certas datas.

As estatísticas propostas, presentes nas Tabelas 1 e 2, demonstram que a filtragem pelo método Savitzky-Golay proporcionou melhora na previsão dos valores de NDVI para todos os anos estudados. Todas as estatísticas aplicadas apontaram melhora na previsão dos dados, aumentando a precisão e a acurácia dos valores.

#### 4. CONCLUSÕES

A aplicação do filtro Savitzky-Golay para a eliminação de ruídos nas séries temporais melhorou a acurácia e a precisão da previsão de valores de NDVI originados a partir de imagens Landsat 7 e 8. Tal procedimento pode ser útil para a correta identificação das fases fenológicas do cafeeiro, preenchendo as possíveis descontinuidades temporais que prejudicam o monitoramento na lavoura cafeeira.

#### 5. REFERÊNCIAS

[1] Ferreira Júnior, L.G.; da Silva, F.M.; Ferreira, D.D.; Simão, S.D.; de Souza, G.C. e Ferreira, L.K., Characterization of the coffee fruit detachment force in crop subjected to mechanized harvesting, *Coffee Science*, v.13, n.1, pp.71-79, jan./mar. 2018.

[2] COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: café, *Segundo Levantamento, Maio 2018*, v.5, n.2, pp.1-66, maio 2018.

[3] Rouse, J.W.; Haas, R.H.; SCHELL, J. A.; Deering, D.W., Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, In: *Earth resources technology satellite-1 symposium*, 3., Washington, D.C., Proceedings... Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, v.1, pp.309-317, 1973.

[4] Simões, M. dos S.; Rocha, J.V.; Lamparelli, R.A.C.; Orbital spectral variables, growth analysis and sugarcane yield, *Scientia Agricola*, v.66, n.4, pp.451-461, 2009.

[5] Pellegrino, G.Q.; Pinto, H.S.; Zullo Júnior, J.; Almeida, C.A.S. de.; Estimativa do índice de área foliar e da massa seca de colmos da cana de açúcar a partir de dados espectrais de campo, *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.15, n.1, pp.49-58, 2007.

[6] Lunetta, R.S.; Knight, J.F.; Ediriwickrema, J.; Lyon, J.G. e Worthy, L.D.; Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data, *Remote Sensing of Environment*, v.105, n.2, pp.142-154, 2006.

[7] Vermote, E.; Justice, C.; Claverie, M. e Franch, B. Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product, *Remote Sensing of Environment*, v. 185, pp. 46-56, 2016.

[8] Cerqueira, E.O.; Poppi, R.J.; Kubota, L.T.; Mello, C.; Utilização de filtro de transformada de Fourier para a minimização de ruídos em sinais analíticos, *Química Nova*, v.23, n.5, pp.690-698, 2000.

[9] Savitzky, A.; Golay, M.J.E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures, *Analytical Chemistry*, v.36, n.8, pp.1.627-1.639, 1964.

[10] Willmott, C.J.; Robeson, S.M.; Matsuura, K.; A refined index of model performance, *International Journal of Climatology*, v.32, n.13, pp.2088-2094, 2012.

[11] Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V.; River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, v.10, n.3, pp.282-290, 1970.

[12] Rosa, V.G.C. da.; Modelo agrometeorológico-espectral para monitoramento e estimativa da produtividade do café na região sul/sudoeste do estado de Minas Gerais, *Dissertação de Mestrado*, INPE, São José dos Campos. (142 p.), 2007.