

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA CONDIÇÃO DA VEGETAÇÃO NA AGRICULTURA IRRIGADA POR MEIO DE IMAGENS SENTINEL-2^a

Rayssa Balieiro Ribeiro¹, Roberto Filgueiras², Maria Camila Alves Ramos³, Laura Thebit de Almeida⁴, Tarcila Neves Generoso⁵, Luane Inês Brito Monteiro⁶

RESUMO

Diante da importância da irrigação em um cenário marcado pela crescente demanda por alimentos, é cada vez mais necessária a adoção de técnicas que possibilitem o devido monitoramento das áreas irrigadas a fim de se observar a dinâmica das condições dos cultivos. Isso se faz possível, de uma maneira rápida e de baixo custo, por meio de técnicas de sensoriamento remoto. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar, com auxílio do sensoriamento remoto, a variabilidade espaço-temporal das condições da vegetação em uma área irrigada por pivô central como subsídio ao manejo da agricultura irrigada. Para tanto, foi utilizada uma série de imagens Sentinel 2A, referente ao período de março a julho de 2016. As imagens foram submetidas ao pré-processamento, para, posteriormente, ser realizada a análise da vegetação através dos índices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e do VCI (Vegetation Condition Index). A utilização do sensoriamento remoto no presente estudo possibilitou o acompanhamento da variabilidade da condição de vegetação, tendo os índices de vegetação se mostrado sensíveis às variações do vigor da mesma, e constituindo, portanto, uma importante fonte de informação na tomada de decisão para o manejo de irrigação.

Palavras-chave: manejo da irrigação, sensoriamento remoto, índices de vegetação.

SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY OF VEGETATION CONDITION IN IRRIGATED AGRICULTURE THROUGH SENTINEL-2A IMAGES

ABSTRACT

Given the importance of irrigation in a scenario which is highlighted by the increasing demand for food, it is increasingly necessary to adopt techniques that allow proper monitoring of irrigated areas in order to observe the dynamics of crop conditions. This is possible, in a fast way and with low cost, using remote sensing techniques. In this context, this study aimed to

¹ Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG, Brazil, rayssabalieiro@gmail.com

² Doutorando em Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG, Brazil, roberto.f.filgueiras@ufv.br

³ Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG, Brazil, mcamilaaramos@yahoo.com.br

⁴ Doutoranda em Meteorologia Aplicada, UFV, Viçosa - MG, Brazil, l.thebit@gmail.com

⁵ Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG, Brazil, tarcila_neves@yahoo.com.br

⁶ Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG, Brazil, luane.luane@gmail.com

evaluate, with the help of remote sensing, spatial and temporal variability of vegetation conditions for an area irrigated by center pivot to support the management of irrigated agriculture. It was used a series of Sentinel 2A images, from March to July 2016. The images were subjected to pre-processing to be subsequently performed the analysis of vegetation through of the indexes NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and VCI (Vegetation Condition Index). The use of remote sensing in this study allowed the monitoring of the variability of vegetation condition, and the vegetation indexes were sensitive to variations of force, and, therefore, constituting an important source of information in decision-making for irrigation management.

Keywords: irrigation management, remote sensing, vegetation indexes.

INTRODUÇÃO

Entre os anos 1950 a 2015 a população mundial cresceu de 2,5 para 7,3 bilhões de habitantes e estima-se que em 2050 atingirá os 9,7 bilhões (UNITED NATIONS, 2015). Em consequência desse crescimento populacional acelerado, é esperado um aumento da demanda de alimentos em cerca de 70% (BRUINSMA, 2009). Diante desse contexto, mostra-se relevante a adoção de práticas que possibilitem a maximização da produtividade agrícola, dentre as quais tem grande destaque a adoção de sistemas irrigados.

Estima-se que globalmente, a irrigação tem potencial para aumentar a produtividade em cerca de 2,7 vezes, quando comparado com cultivos de sequeiro (WWAP, 2012). Para tanto, o monitoramento eficiente das superfícies irrigadas, com o acompanhamento da dinâmica dos cultivos e a avaliação da eficiência da irrigação, é de grande importância. Isso se faz possível, de uma maneira rápida e de baixo custo, por meio de técnicas de sensoriamento remoto, as quais permitem a obtenção detalhada de informações de extensas áreas, tornando viável técnicas diferenciadas de manejo, como as voltadas a irrigação de precisão (LI et al. 2013; TEIXEIRA et al., 2009).

O monitoramento das áreas irrigadas por meio do sensoriamento remoto permite a criação de um banco de dados referente à cobertura do solo agrícola de forma rápida e com grande facilidade operacional (TEIXEIRA et al., 2009). Índices como *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Vegetation Condition Index* (VCI) são usados para acompanhamento do desenvolvimento vegetativo, principalmente

estresse vegetativo e avaliação da produção da cultura, e podem estar relacionados ao estresse hídrico a nível regional, continental e até mundial (JIAO et al. 2016). Por meio do NDVI há como comparar e analisar os diferentes perfis da atividade da vegetação, em um cenário espacial e temporal (PONZONI; SHIMABUKURO 2009). O VCI, por sua vez, possibilita a ampliação da variabilidade do vigor da vegetação, facilitando a definição de áreas para se atuar ao longo do ciclo das lavouras.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar, por meio do sensoriamento remoto, a variabilidade espaço-temporal das condições da vegetação em uma área irrigada por pivô central, fornecendo informações complementares para o manejo das práticas agrícolas.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área utilizada no estudo corresponde a 50 ha de cultivo de milho irrigado por pivôs centrais, delimitados pelos pares de coordenadas geográficas sexagesimais: 19°23'38.72"S, 44°41'15.46"W e 19°24'15.16"S, 44°40'40.90"W, DATUM – SIRGAS 2000, em uma propriedade agrícola pertencente ao município de Papagaios, região Centro-Oeste de Minas Gerais (Figura 1). A classificação climática segundo Köppen é Aw, isto é, clima tropical com estação seca de inverno (MATOS et al, 2006). O comportamento sazonal da

precipitação torna necessária a adoção de práticas de irrigação tendo em vista o

atendimento dos déficits hídricos em determinados períodos do ano.

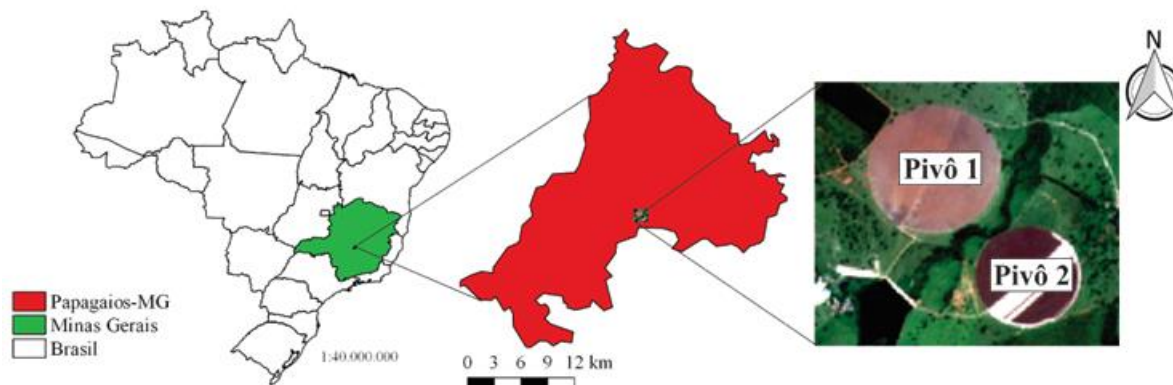


Figura 1. Localização da área de estudo em relação ao país e ao município que a área se insere.

Aquisição e processamento digital das imagens

Para a análise da variabilidade espaço-temporal da área de estudo, foram utilizadas seis imagens do satélite Sentinel 2A, com localização correspondente ao código 23KNU do período de março a julho de 2016. As imagens foram adquiridas no banco de dados da ESA (European Space Agency), as quais já se encontravam processadas ao nível 1C, que indica que as mesmas passaram por conversão radiométrica e correção geométrica (DRUSCH et al., 2012). As imagens foram submetidas ao processo de correção atmosférica, e após esse processamento, foi realizado o cálculo do NDVI, conforme a Equação 1.

$$NDVI_{min} = \min(NDVI_1, NDVI_2 \dots NDVI_n) \quad (02)$$

$$NDVI_{max} = \max(NDVI_1, NDVI_2 \dots NDVI_n) \quad (03)$$

Por meio dessas lógicas, gerou-se as imagens NDVI, com os valores mínimos e máximos para cada pixel dos pivôs centrais analisados ao longo da série de imagens. Através das imagens obtidas de NDVI, $NDVI_{min}$ e $NDVI_{max}$, foi realizado o cômputo do VCI por meio da Equação 4.

$$NDVI = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v} \quad (01)$$

em que,

ρ_{iv} - reflectância da banda do infravermelho próximo; e

ρ_v - reflectância na banda do vermelho.

De acordo com Ponzoni et al. (2012), este índice possui uma amplitude de -1,0 a 1,0, apresentando valores menores que zero, na maioria das vezes, apenas para água e nuvens.

O $NDVI_{min}$ e $NDVI_{max}$ da série temporal foi estimado utilizando as expressões lógicas, mínimo e máximo, apresentadas nas Equações 2 e 3.

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (04)$$

O VCI permite a detecção das alterações espaço-temporais na vegetação, por meio da análise do aumento ou diminuição do vigor vegetativo (KOGAN, 1995; SOUZA JR.; LACRUZ, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a discriminação dos estádios fenológicos em que a cultura do milho

encontrava-se no momento da passagem do satélite. Esse detalhamento foi realizado visando maximizar o entendimento das respostas dos índices de vegetação no campo.

Tabela 1. Fases da cultura do milho nas diferentes datas das imagens utilizadas, para cada pivô central

Fases Fenológicas		
Pivô 1		
Data da imagem	Descrição	Estádios
08/03/2016	Início da senescência	R5
07/04/2016	Solo exposto	-
07/05/2016	30 dias após a semeadura	V5/V7
27/05/2016	50 dias após a semeadura	V11/V15
16/06/2016	70 dias após a semeadura	VT/R1
26/07/2016	110 dias após a semeadura	R4/R5
Pivô 2		
Data da imagem	Descrição	Estádios
08/03/2016	Início da senescência	R5
07/04/2016	Senescência/parte colhida	R6/colheita
07/05/2016	Solo exposto	-
27/05/2016	20 dias após a semeadura	V2
16/06/2016	40 dias após a semeadura	V11/V15
26/07/2016	80 dias após a semeadura	R2

A Tabela 2 apresenta os resultados da estatística descritiva realizada para os valores de NDVI extraídos das imagens referentes aos dois pivôs centrais para as diferentes datas analisadas.

Tabela 2. Resultados da estatística descritiva dos valores de NDVI, referentes aos pivôs centrais 1 e 2, para as diferentes datas analisadas

Pivô 1					
	n	NDVI _{Min}	NDVI _{Max}	$\overline{\text{NDVI}}$	σ
08/03/2016	2985	0,27	0,73	0,66	0,04
07/04/2016	2985	0,15	0,37	0,21	0,02
07/05/2016	2985	0,34	0,77	0,63	0,06
27/05/2016	2985	0,43	0,88	0,85	0,03
16/06/2016	2985	0,54	0,90	0,88	0,02
26/07/2016	2985	0,47	0,88	0,86	0,02
Pivô 2					
	n	NDVI _{Min}	NDVI _{Max}	$\overline{\text{NDVI}}$	σ
08/03/2016	1937	0,44	0,66	0,61	0,03
07/04/2016	1937	0,20	0,46	0,26	0,03
07/05/2016	1937	0,17	0,28	0,20	0,01
27/05/2016	1937	0,30	0,70	0,39	0,04
16/06/2016	1937	0,38	0,84	0,77	0,05
26/07/2016	1937	0,43	0,90	0,87	0,04

em que: n = número de pontos amostrados, NDVI_{Min} = valor mínimo, NDVI_{Max} = valor máximo, $\overline{\text{NDVI}}$ = valor médio e σ = desvio padrão.

Observou-se que ao longo do ciclo da cultura do milho implantado na área, o NDVI variou de 0,15 a 0,90 para o pivô 1 e de 0,20 a

0,90 para o pivô 2. Segundo Ponzoni et al. (2012), a cultura em máximo vigor vegetativo caracteriza-se por uma atividade fotossintética

máxima, com o alto conteúdo de clorofila nas folhas, que, por sua vez, respondem absorvendo e refletindo grandes quantidades de energia nas regiões do vermelho e infravermelho próximo, respectivamente. Esse comportamento espectral justifica os valores crescentes do NDVI com o crescimento da cultura, uma vez que este é dependente da relação entre as faixas refletidas nos comprimentos de onda correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo.

No dia 08/03/2016 o pivô 1 apresentou valor médio de NDVI igual 0,66, e na sequência, no dia 07/04/2016, 0,21. Esse resultado evidencia que na primeira data o cultivo do milho encontrava-se em menor vigor vegetativo, e visto que na data posterior a colheita já havia ocorrido, comprova-se que o mesmo já havia iniciado o processo de senescência na primeira data analisada. Ribeiro et al. (2013) constataram que os valores de NDVI diminuem no sentido das fases de desenvolvimento vegetativo e maturação, o que corrobora com resultado encontrado no presente trabalho. Para as datas posteriores é observado um crescimento dos valores médios do índice de vegetação, indicando o início de um novo ciclo.

A Figura 2 apresenta a espacialização dos

valores de NDVI para os dois pivôs e para as datas analisadas no estudo. Na Figura 2B observa-se que a dinâmica espacial desse índice foi homogênea ao longo de toda a extensão do pivô 1, indicando que toda a colheita já havia sido finalizada, sendo portanto, o valor do NDVI referente a solo exposto. O valor de NDVI para solo exposto está de acordo com valores citados na literatura, Huete e Tucker (1991) constataram que o NDVI para solo exposto varia entre 0,05 e 0,30 e Lopes et al. (2010) obtiveram um valor igual a 0,20.

Observou-se um comportamento inicial do pivô 2 similar ao do pivô 1, visto que os valores de NDVI diminuíram de 0,61 em 08/03/2016 para 0,26 em 07/04/2016. Porém, diferentemente do que ocorreu no pivô 1, a colheita ainda não havia sido totalmente finalizada na data de 07/04/2016. Esse fato pode ser percebido por meio de uma análise qualitativa da distribuição espacial desses valores na Figura 2B, na qual nota-se a existência de uma faixa de menores valores de NDVI associados ao solo exposto correspondente a área colhida, fato este observado em apenas uma porção do pivô 2.

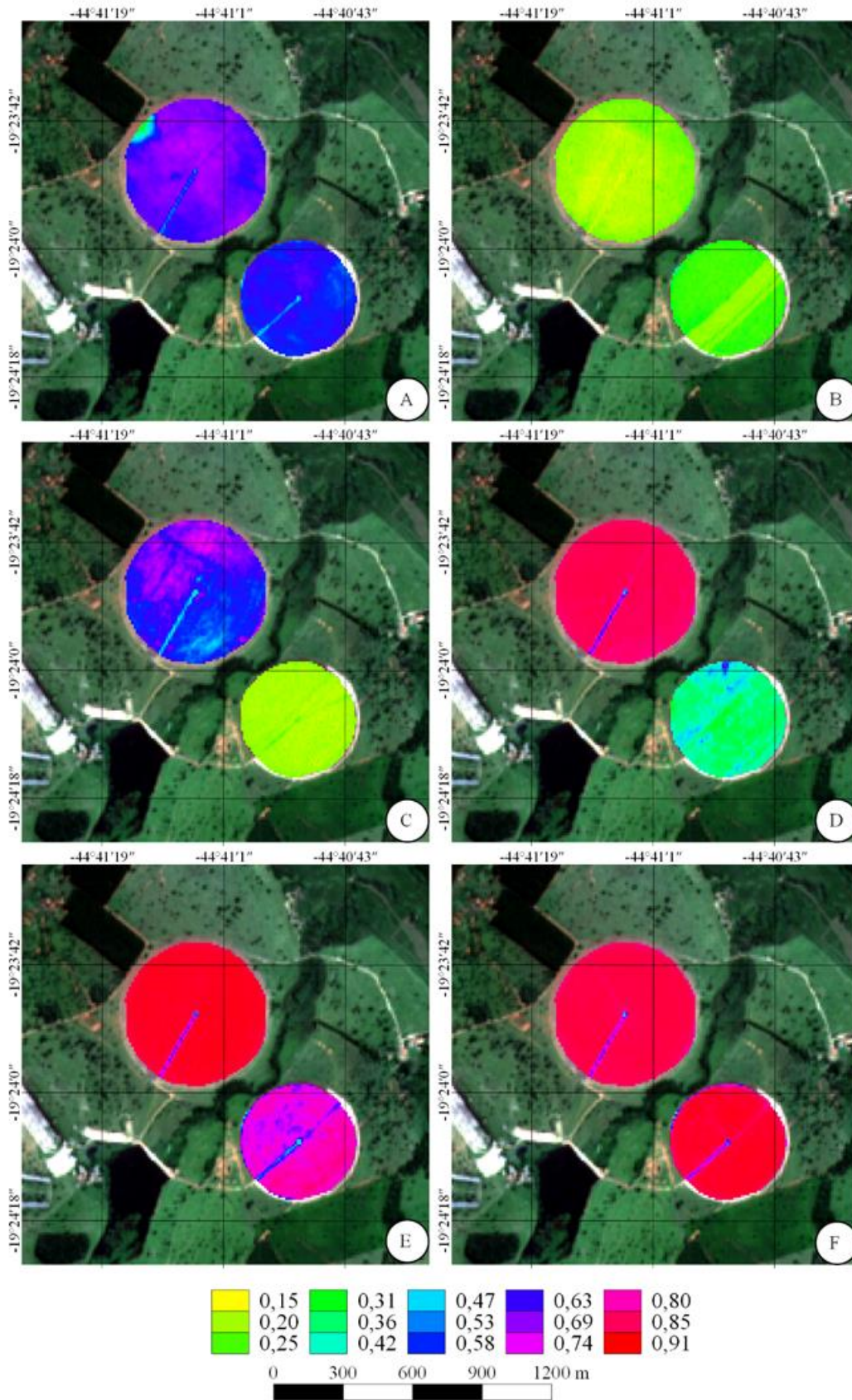


Figura 2. NDVI dos pivôs de estudo para as datas: 08/03/2016 (A); 07/04/2016 (B); 07/05/2016 (C); 27/05/2016 (D); 16/06/2016 (E); e 26/07/2016 (F).

Na imagem subsequente (07/05/2016), o pivô 2 se apresenta com uma condição de colheita completa, caracterizada por baixos valores de NDVI devido à presença de solo exposto. O pivô 1, por sua vez, é caracterizado pela existência de um novo ciclo, visto que os valores de NDVI retomaram um comportamento crescente, indicando uma cultura em desenvolvimento.

Na imagem correspondente a 27/05/2016 (Figura 2D), o NDVI retomou um comportamento crescente no pivô 2, indicando o estabelecimento de um novo ciclo, como ocorreu previamente no pivô 1.

Os elevados valores de NDVI para o pivô 1, nas imagens do dia 27/05/2016 a 26/07/2016, e para o pivô 2, na imagem de 26/07/2016, indicam o crescimento sadio da vegetação. Para o pivô 1, a estabilização dos valores de NDVI indica que o mesmo atingiu o estágio de máximo desenvolvimento. Leivas et al. (2013) afirmam que nas fases de desenvolvimento da planta, floração e enchimento de grãos, as lavouras

apresentam índice de vegetação crescente, atingindo o pico mais alto de valores um pouco antes da fase de maturação, sendo que os valores mais altos indicam maior potencial de produtividade da cultura.

Com o intuito de destacar a variabilidade da condição da vegetação, é apresentada na Figura 3 a distribuição espacial dos valores de VCI representado em termos de classe de desvio padrão para os pivôs nas diferentes datas de estudo.

A distribuição dos valores de VCI ao longo dos pivôs permitiu a análise da variabilidade espacial do vigor da vegetação nas datas das imagens, sendo os valores mais altos de VCI indicativos de regiões com maior vigor vegetativo. De posse dessas informações, foi possível identificar áreas de plantio com maior necessidade de manejo, uma vez que o baixo vigor vegetativo da cultura pode estar relacionado a problemas como ocorrência de pragas, deficiência hídrica e carência de nutrientes.

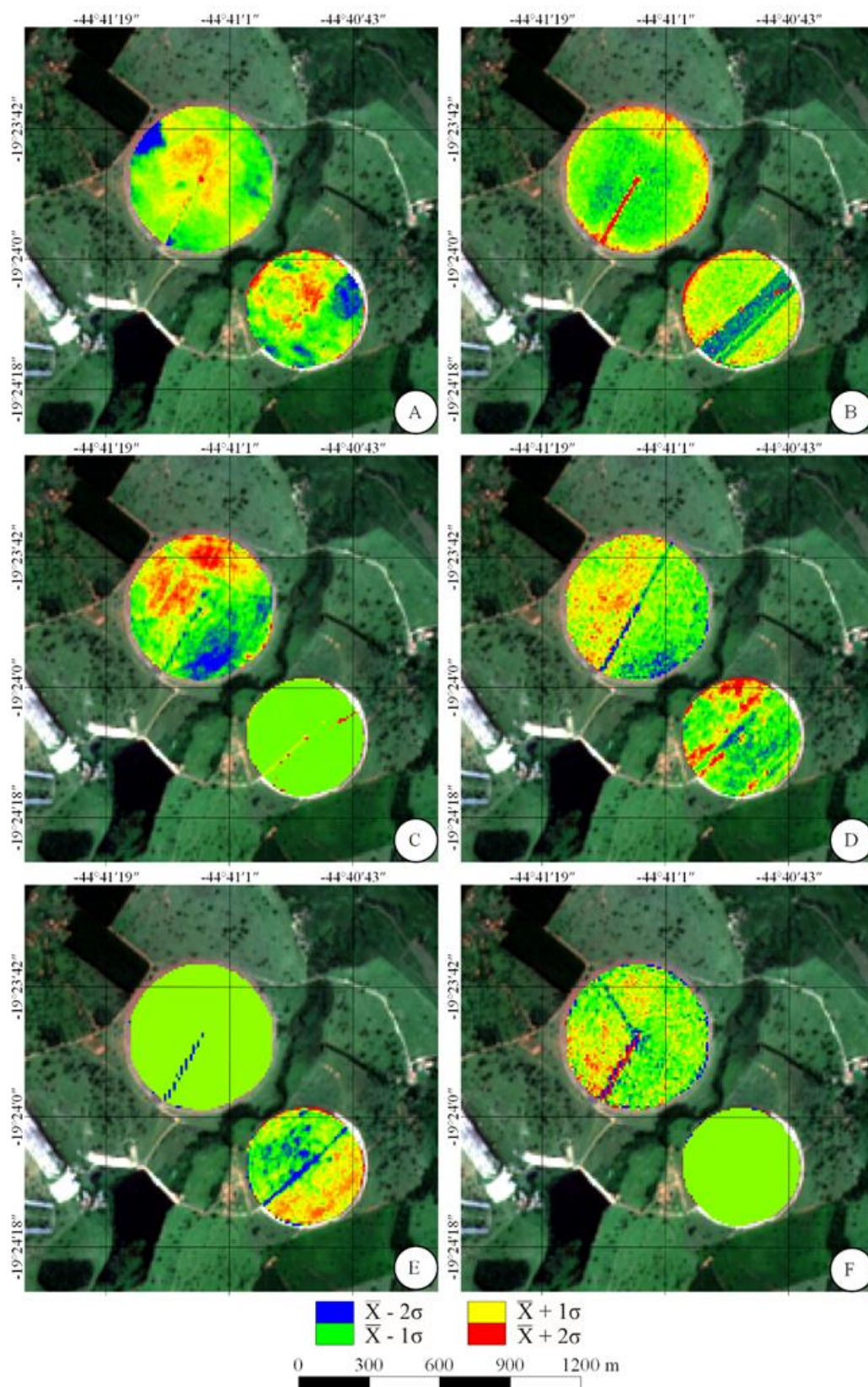


Figura 3. Desvio padrão, por data, dos valores de VCI dos pivôs de estudo para as datas: 08/03/2016 (A); 07/04/2016 (B); 07/05/2016 (C); 27/05/2016 (D); 16/06/2016 (E); e 26/07/2016 (F).

Observa-se na Figura 3C, por exemplo, que o pivô 1 apresenta regiões bem definidas de

altos e baixos valores de VCI, evidenciando alta heterogeneidade das condições de cultivo para

esta data. Dessa forma, torna-se importante nessa situação a adoção de medidas de monitoramento em campo para verificar se essa ocorrência está relacionada às condições normais de desenvolvimento da cultura ou a alguma deficiência no manejo.

CONCLUSÕES

O NDVI foi eficiente na diferenciação das distintas épocas de cultivo do milho, sendo os maiores valores obtidos nas datas de máximo desenvolvimento vegetativo e os menores valores nos estádios iniciais da planta e no período de senescência da cultura.

O VCI se mostrou uma ferramenta útil no monitoramento da vegetação, auxiliando a tomada de decisões com relação ao manejo agrícola e tornando viável a aplicação de técnicas voltadas à agricultura de precisão, podendo auxiliar também em questões relacionadas à eficiência de irrigação. Esse índice tem a capacidade de amplificar as variabilidades existentes na vegetação, possibilitando a segregação dos comportamentos ao longo dos plantios e, conseqüentemente, a definição de zonas de manejo, potencializando assim a produção agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRUINSMA, J. **The Resource Outlook to 2050: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050**. Prepared for the FAO Expert Meeting on 'How to feed the World in 2050', Rome, p. 24-26, 2009.
- DRUSCH, M.; BELLO, U. D.; CARLIER, S.; COLIN, O.; FERNANDEZ, V.; GASCON, F.; HOERSCH, B.; ISOLA, C.; LABERINTI, C.; MARTIMORT, P.; MEYGRET, A.; SPOTO, F.; SY, O.; MARCHESE, F.; BARGELLINI, E. P. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. **Remote Sensing of Environment**, v.120, s.n., p.25-36, 2012.
- HUETE, A. R.; TUCKER, C. J. Investigation of soil influences in AVHRR red and near – infrared vegetation index imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, n.6, p.1223-1242, 1991.
- JIAO, W.; ZHANG, L.; CHANG, Q.; FU, D.; CEN, Y.; TONG, Q. Evaluating an enhanced Vegetation Condition Index (VCI) based on VIUPD for drought monitoring in the continental United States. **Remote Sensing**, v.8, n.3, p.1-21, 2016.
- LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; TEIXEIRA, A. H. C. VICTORIA, D. C.; TORRESAN, F. E.; BOLFE, E. L. Dinâmica espaço-temporal do NDVI em mesorregiões produtoras de milho segunda safra. **Embrapa Monitoramento por Satélite**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013, 20 p.
- LI, Z. L. X.; MA, T.; KEJIA, D.; ZHOU, Q.; YAO, B.; NIU, T. Retrieval of the surface evapotranspiration patterns in the alpine grassland-wetland ecosystem applying SEBAL model in the source region of the Yellow River, China. **Ecological Modelling**, v.270, s.n., p.64-75, 2013.
- LOPES, H. L.; ACCIOLY, L. J. O.; CANDEIAS, A. L. B.; SOBRAL, M. C. (2010). Análise de índices de vegetação na bacia do rio Brígida, sertão do estado de Pernambuco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2008, Recife. **Anais...** Recife: UFPE. p. 01-08.
- MATOS, M. A. S. **Estudo de Impacto Ambiental: LAVRAR MINERAÇÃO LTDA**, 2006. 128p. 2016.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y, E; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação** 2. ed. São Jose dos Campos: Oficina de Texto, 2012, 160p.
- RIBEIRO, R. B.; FILGUEIRAS, R.; RAMOS, M. C. A.; NASCIMENTO, C. R. Análise temporal das variações de parâmetros biofísicos

da cana-de-açúcar em Jaíba – MG. **Nativa**, v.3, n.3, p.150-155. 2015.

SOUSA JÚNIOR, M. de A.; LACRUZ, M. S. P. Sensoriamento remoto para seca/estiagem. In: SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Sensoriamento Remoto para Desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. cap. 6, p. 149-174.

TEIXEIRA, A. H. DE C.; BASTIAANSSEN, W.G.M., AHMAD, M.D.; BOS, M.G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco

River basin, Brasil Part A: Calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, n.3-4, p.462- 476, 2009.

United Nations. **World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables**. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2015.

WWAP (World Water Assessment Programme). **The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk**. UNESCO. 2012.