

USO DE IMAGENS DO SENSOR ORBITAL MODIS NA ESTIMAÇÃO DE DATAS DO CICLO DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DA SOJA PARA O ESTADO DO PARANÁ – BRASIL

Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p126-142/2016>

JERRY A. JOHANN¹, WILLYAN R. BECKER², MIGUEL A. URIBE-OPAZO³, ERIVELTO MERCANTE⁴

RESUMO: O Estado do Paraná caracteriza-se por uma grande variabilidade de épocas de semeadura (DS) e, conseqüentemente, pelo desenvolvimento máximo vegetativo (DMDV), colheita (DC) e ciclo (CI) para a cultura da soja. O objetivo deste trabalho foi estimar essas datas para o período de primavera-verão do ano-safra de 2011/2012, por meio de séries temporais de imagens do Índice de Vegetação Realçado (do inglês *Enhanced Vegetation Index* - EVI) do sensor Modis (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Gerou-se um perfil espectrotemporal médio de EVI, considerando todos os pixels mapeados como soja dentro de cada município. Estes dados serviram de entrada no *software* Timesat para estimar os decêndios do ciclo da cultura (DS, DMDV, DC e CI) por municípios. Os resultados mostraram que existe grande variabilidade de datas de plantio em diferentes mesorregiões do Estado. Verificaram-se também divergências entre os resultados encontrados e os dados oficiais de DS e DC. A maior parte da semeadura (65,16%) esteve entre o terceiro decêndio de outubro e o primeiro decêndio de novembro. A maior parte da área de soja do Estado do Paraná (65,46%) teve seu DMDV em janeiro e colheita em março (53,92%).

PALAVRAS-CHAVE: ciclo fenológico, Índice de vegetação, EVI, Timesat.

ESTIMATING SOYBEAN DEVELOPMENT STAGES IN PARANÁ STATE – BRAZIL THROUGH ORBITAL MODIS IMAGES

ABSTRACT: Soybean sowing can be performed at a various dates (DS) in Paraná state, with subsequent maximum vegetative development (DMDV), harvest (DC) and cycle (CI). The purpose of this study was to estimate these dates within spring-summer season from the 2011/ 2012 crop harvest, by means of temporal series of the Enhanced Vegetation Index (EVI) from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Modis) sensor. We generated an average EVI spectro-temporal profile considering all pixels mapped as soybean within each municipality. These data were used as input to the Timesat software for estimates of 10-day crop cycle periods (DS, DMDV, DC and CI). The results demonstrated great variability of dates at different areas of the Paraná state. We could also observe differences between our results and official estimates for DS and DC. Sowing was majorly (65.16%) performed in the third 10-day period of October and in the first 10-day period of November. Most of the Southern Paraná soybean area (65.46%) had their maximum vegetative development (MDV) in January and harvest in March (53.92%).

KEYWORDS: phenological cycle, vegetation index, EVI, Timesat.

¹ Engº Agrícola, Dr. em Engenharia Agrícola, Prof. Adjunto do Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola - PGEAGRI, UNIOESTE, Cascavel-PR, Fone: (45) 3220-7320, Pesquisador de Produtividade da Fundação Araucária, jerry.johann@hotmail.com

² Engº Agrícola, Mestrando do PGEAGRI, UNIOESTE, Cascavel-PR, Fone: (45) 3220-7320, willyanbecker@hotmail.com

³ Estatístico, Dr. em Estatística, Prof. Associado do PGEAGRI, UNIOESTE, Cascavel-PR, Fone: (45) 3220-3228, Pesquisador de Produtividade do CNPq, miguel.opazo@unioeste.br

⁴ Engº Agrícola, Dr. em Engenharia Agrícola, Prof. Adjunto D do PGEAGRI, UNIOESTE, Cascavel-PR, Fone: (45) 3220-7366, Pesquisador de Produtividade do CNPq, eriveltomercante@yahoo.com.br

Recebido pelo Conselho Editorial em: 11-11-2014

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 28-8-2015

INTRODUÇÃO

A produção das culturas agrícolas baseia-se na área colhida e na produtividade obtida. Por ser o Brasil um país de grande extensão agrícola, há a necessidade de planejamento estratégico de toda a cadeia produtiva (produtores rurais, indústria de alimentos, cooperativas, fornecedores de insumos, investidores e órgãos governamentais), permitindo o estabelecimento de políticas de preços mínimos e de minimização do efeito negativo das especulações nos preços dos produtos agrícolas pagos aos produtores (JUNGES & FONTANA, 2009; ADAMI, 2010; JOHANN et al., 2012).

A importância econômica da cultura da soja nas exportações torna-a uma das principais *commodities* da agricultura brasileira. Após a região Centro-Oeste, a região Sul é a segunda maior produtora de soja do País. Apenas o Estado do Paraná foi responsável por 20,2% da produção de soja no Brasil (CONAB, 2013; SEAB/Deral, 2013; IBGE, 2014), sendo objeto de diversos estudos (ADAMI, 2010; JOHANN et al., 2012; DALPOSSO et al., 2013; SOUZA et al., 2015; GRZEGOZEWSKI et al., 2016), evidenciando a importância econômica da cultura para o Estado.

A divulgação das informações sobre as safras brasileiras é de responsabilidade da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2013), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014) e da Secretaria da Agricultura e Abastecimento (SEAB/Deral, 2013). Tais órgãos realizam suas estimativas anuais de previsão de safras, adotando metodologias indiretas que levam em conta alguns aspectos subjetivos, na medida em que utilizam informações extraídas de questionários que são enviados às cooperativas, às revendedoras de máquinas e insumos, e a outros agentes ligados a cada cadeia produtiva (IBGE, 2002). Isto não permite uma análise quantitativa dos erros envolvidos, nem o conhecimento da distribuição espacial da produção das culturas, o que, por consequência, impede a análise do impacto dos problemas agrometeorológicos, como estiagem, sobre a produtividade das culturas (JOHANN, 2012).

É, portanto, importante a proposição de métodos objetivos nas estimativas de safras agrícolas. O uso de técnicas de sensoriamento remoto orbital tem-se mostrado uma ferramenta valiosa, pois possibilita o monitoramento agrícola do vigor e do tipo de cobertura vegetal em escala regional (REES, 1990; LABUS et al., 2002), resultados com maior antecedência e precisão, e menor custo operacional, em relação às técnicas tradicionais (FAO, 1998). A possibilidade de identificação e de quantificação das áreas agrícolas, de forma objetiva e rápida, é apresentada por SOUZA et al. (2015) como um aspecto relevante no contexto agrícola brasileiro, dada a extensão territorial das áreas cultivadas.

Embora pesquisas (AGUIAR et al., 2009; MERCANTE et al., 2009; JOHANN et al., 2012; RISSO et al., 2012; MERCANTE et al., 2012; JUNGES et al., 2013) tenham obtido relativo êxito na utilização de sensores remotos orbital para o monitoramento da atividade agrícola, o principal desafio está em desenvolver uma metodologia sistemática sincronizada com as necessidades do mercado.

No monitoramento de culturas agrícolas, dada sua alta dinâmica temporal, faz-se necessário um acompanhamento periódico (JOHANNSEN et al., 2003). Desta forma, é imprescindível uma análise multitemporal (HOLBEN, 1986; BERNARDES et al., 2011), ou seja, uma análise em múltiplas datas, para ter informações do padrão espectrotemporal ao longo de todos os estádios fenológicos da cultura (JENSEN et al., 2002). Estudos têm mostrado que a utilização de séries temporais de índices de vegetação (IV) de imagens de satélite de elevada resolução temporal (imagens diárias), aliada a uma moderada resolução espacial (250 m), como o sensor Modis (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), tem permitido o monitoramento em escalas regionais e estaduais de culturas agrícolas (JOHANN et al., 2012; RISSO et al., 2012; SOUZA et al., 2015). Um dos IV, conhecido como índice de vegetação realçado (do inglês *Enhanced Vegetation Index* - EVI), foi desenvolvido para aprimorar a sensibilidade da detecção de vegetação em condições de alta densidade de biomassa e para reduzir a influência do solo e da atmosfera nas vegetações (HUETE et al., 2002). Diversos estudos têm utilizado este IV para analisar a dinâmica da vegetação em intervalos de tempo (RISSO et al., 2012; JOHANN et al., 2012; BOLTON &

FRIEDL, 2013; SOUZA et al., 2015; GRZEGOZEWSKI et al., 2016), pois servem como indicadores do crescimento e também do vigor vegetativo das culturas (KUPLICH et al., 2013).

Pesquisas desenvolvidas por TUCKER et al. (1979), VINA et al. (2004), SAKAMOTO et al. (2005, 2010) e ADAMI (2010) estimaram estádios fenológicos de várias culturas agrícolas a partir da análise do padrão espectrotemporal de IV e verificaram que os pontos de inflexão das curvas (ascendente e descendente) são importantes para estimar o desenvolvimento das culturas. Portanto, é possível estimar dados da duração do ciclo da cultura, datas de semeadura (DS), de máximo desenvolvimento vegetativo (pico vegetativo) (DMDV) e de colheita (DC). Esses dados podem ser usados como informações para, no futuro, gerar modelos de estimativa de produtividade (JUNGES & FONTANA, 2009) da cultura da soja em larga escala, no Paraná, melhorando as estimativas de produtividade (ARAÚJO et al., 2013), pois é possível a definição do período correto (datas) em que a soja está mais sensível à ocorrência de estresse agrometeorológico. Além disso, a DC, quando conhecida com antecedência, é uma informação valiosa e requerida pelas empresas cerealistas em função dos planejamentos estratégico e logístico nas unidades armazenadoras, bem como na previsão das necessidades futuras de capacidade estática de armazenamento de grãos (PATINO et al., 2013).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho consistiu em estimar, para a safra primavera-verão, as principais datas do ciclo da cultura da soja, por meio de séries temporais de imagens de EVI do sensor Modis, para o Estado do Paraná, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreendeu o Estado do Paraná (Figura 1), localizado na região Sul do Brasil (22°29' a 26°43'S; 48°02' a 54° 38'W), contando com um total de 399 municípios. O clima é do tipo Cfa e Cfb (KÖPPEN, 1948), com precipitação pluvial anual acumulada acima de 1.200 mm e temperatura média anual entre 15 e 24 °C (IAPAR, 2000). Há predomínio dos solos do tipo Latossolo, Argissolo, Neossolo e Nitossolo (EMBRAPA SOLOS, 2004).

Devido à ausência de produção de soja (IBGE, 2014), 29 municípios foram excluídos da análise (municípios em cinza, Figura 1). Outros 19 municípios foram excluídos (municípios em azul, Figura 1) da análise (totalizaram apenas 0,26% da produção de soja do Estado), pois apresentavam perfis espectrotemporais de índice de vegetação incoerentes com a cultura da soja, motivada, provavelmente, pela mistura espectral de áreas vizinhas, em função da baixa resolução espacial sensor Modis, o que pode ter diminuído a acurácia espacial do mapeamento de soja nestes municípios. Assim, restaram 351 municípios para análise. O mapeamento da cultura da soja (máscara) do ano-safra de 2011/2012 (Figura 1) foi obtido de SOUZA et al. (2015), que utilizaram imagens do índice de vegetação EVI do sensor Modis/Terra. A área total de soja estimada para o Paraná foi de 4.068.879 ha.

Nesta pesquisa, usaram-se também dados de EVI (HUETE et al., 2002), provenientes do produto MOD13Q1 do *tile* h13v11, com 250 metros de resolução espacial (NASA, 2014), da série temporal, entre os dias 225 (ano de 2011) e 113 (ano de 2012) do calendário juliano, ou seja, de 13-08-2011 a 22-04-2012 do calendário gregoriano, contabilizando 17 imagens para contemplar todo o ciclo de desenvolvimento da cultura da soja (da pré-semeadura até à colheita) no Estado.

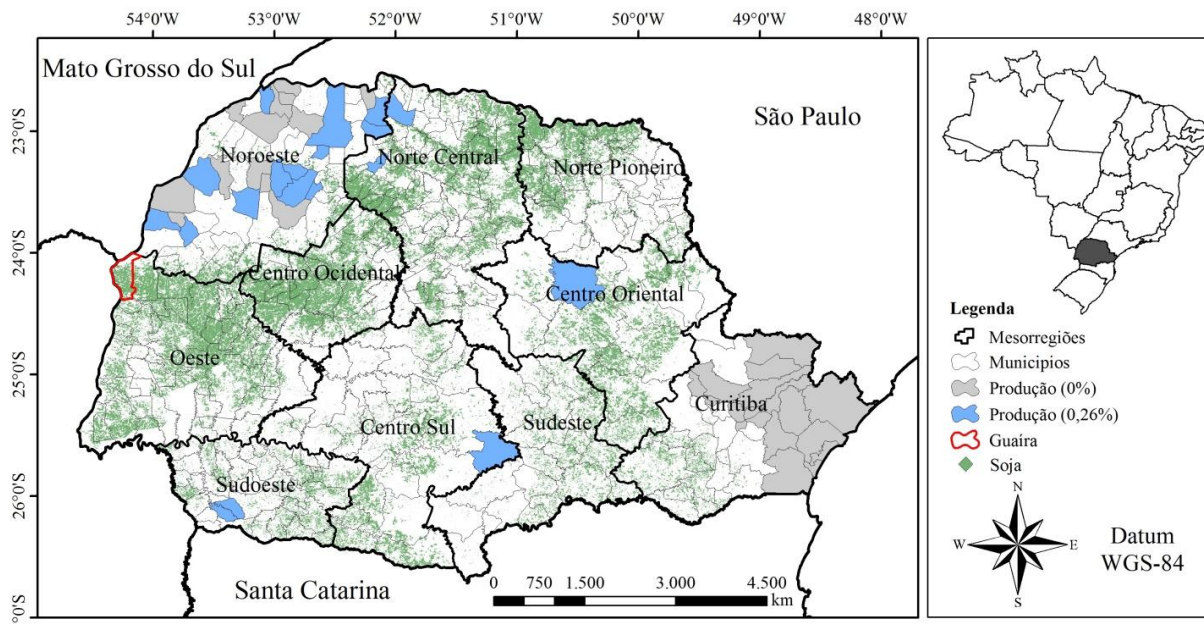


FIGURA 1. Mapa de localização dos 399 municípios e das 10 mesorregiões do Estado do Paraná e o mapeamento da cultura da soja, ano safra de 2011/2012. **Location map of 399 municipalities and 10 mesoregions of the Paraná State and soybean mapping of the 2011/2012 crop year.**

Foram gerados os perfis espectrotemporais médios de EVI para os 351 municípios, como exemplifica a Figura 2 para o município de Guaíra (Figura 1), considerando apenas os pixels do mapeamento da soja dentro do perímetro de cada município (Figura 1), seguindo a metodologia adotada por JOHANN et al. (2013). Este procedimento foi operacionalizado com um sistema de extração de dados de imagens em linguagem de programação “*interactive data language*” (IDL), desenvolvido por ESQUERDO et al. (2011).

Cada perfil espectrotemporal do índice de vegetação EVI foi então importado pelo módulo TSM_GUI (Figura 3) do software Timesat (JÖNSSON & EKLUNDH, 2002; EKLUNDH & JÖNSSON, 2012), para análise e extração das métricas dos perfis espectrotemporais dos índices de vegetação médios municipais. Neste trabalho, foram utilizadas as métricas: data de semeadura (DS) da cultura; data de máximo desenvolvimento vegetativo (DMDV) ou pico vegetativo da cultura (fases fenológicas do final de desenvolvimento, florescimento e formação de colheita); data de colheita (DC) da cultura; duração do ciclo de desenvolvimento total da cultura (CI), isto é, número de dias entre a semeadura e a colheita (FIGURA 2).

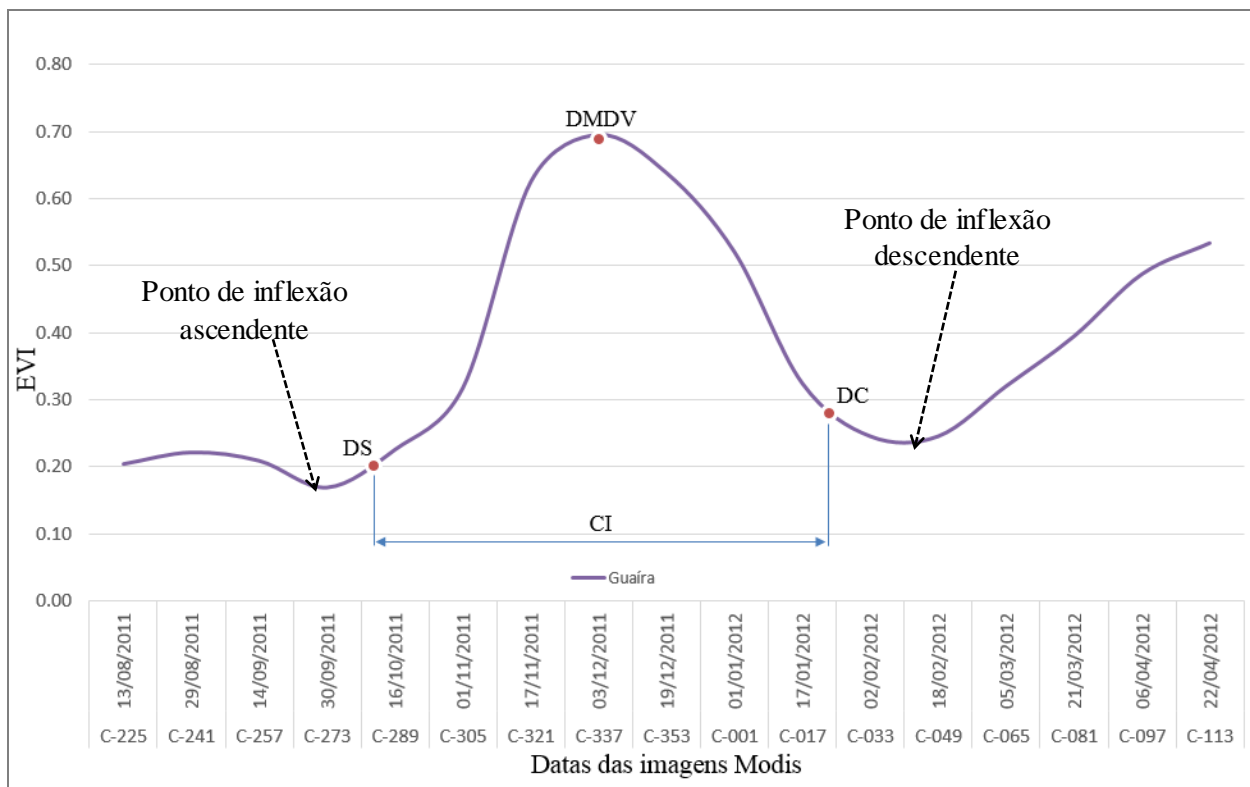


FIGURA 2. Perfil espectrotemporal médio de EVI do sensor Modis do município de Guaíra, no Estado do Paraná, ano-safra de 2011/2012. **EVI spectro-temporal profile of Modis sensor from Guaíra city, Paraná State (2011/ 2012).**

A parametrização no software Timesat foi realizada individualmente de acordo com o perfil espectrotemporal médio de EVI de cada município.

Como normalmente as séries temporais de índices de vegetação apresentam restrições ocasionadas por interferências atmosféricas, gerando ruídos, faz-se necessária a aplicação de filtros. O Timesat permite que o usuário escolha dentre três filtros: *Savitzky–Golay* (SAVITZKY & GOLAY, 1964), *Gaussian Asymmetric* (JÖNSSON & EKLUNDH, 2002), *Double Logistic* (BECK et al., 2006).

O intervalo de dados variou do mínimo (0) ao máximo valor de EVI (10.000). Por se tratar de uma cultura com ciclo anual, ajustou-se a função “*seasonal parameter*” para zero (0). As funções “*adaptation strength*” e “*number of envelope iterations*” foram ajustadas para adequar melhor o filtro selecionado ao perfil espectrotemporal de EVI. Finalmente, ajustaram-se as funções “*season start*”, que definem a data de semeadura (DS) a partir do ponto de inflexão ascendente (Figura 2) do perfil espectrotemporal de EVI de cada município, e “*season end*”, que define a data de colheita (DC) a partir do ponto de inflexão descendente (Figura 2) do perfil espectrotemporal de EVI da soja de cada município, seguindo o procedimento utilizado em outras pesquisas (TUCKER et al., 1979; VINA et al., 2004; SAKAMOTO et al., 2005). Os demais campos foram mantidos na configuração-padrão.

As etapas realizadas para a execução deste trabalho são ilustradas no fluxograma (Figura 3). Os dados de saída do *software* Timesat foram armazenados em um arquivo tipo texto (.txt), que foi importado em uma planilha eletrônica (Excel) para se obter os dados de DS, DMDV, DC e CI.

Como a saída de dados do software Timesat é em número de imagens a partir da primeira imagem de EVI utilizada na série temporal (13-08-2011), faz-se necessária a transformação destes resultados para datas do calendário gregoriano (Equação 1). Para facilitar a visualização e o entendimento da distribuição espacial, que foi mostrado em mapas, estas datas foram posteriormente agrupadas em decêndios (10 dias), com exceção do CI, em que se preservou a escala diária.

$$Data\ estimada = Data\ primeira\ imagem + [(número\ imagens - 1) * 16] \tag{1}$$

Os resultados dos decêndios (contabilizando as áreas que continham soja, de acordo com o mapeamento de soja de SOUZA et al., 2015) de semeadura, de máximo desenvolvimento vegetativo e colheita (DS, DMDV, DC), foram tabulados pelas 10 mesorregiões (Figura 1) do Estado, o que permitiu uma análise comparativa por decêndio e mesorregião. Além disso, também se comparou com os dados mensais oficiais de percentual de semeadura e de colheita publicados pela SEAB/Deral (2013). Já o ciclo (CI) da cultura da soja foi tabulado por mesorregião segmentada em intervalos de duração de ciclo de 10 dias. Também foi tabulada a proporção de municípios (dentro os 351 estudados) para cada um dos decêndios de DS, DMDV e DC.

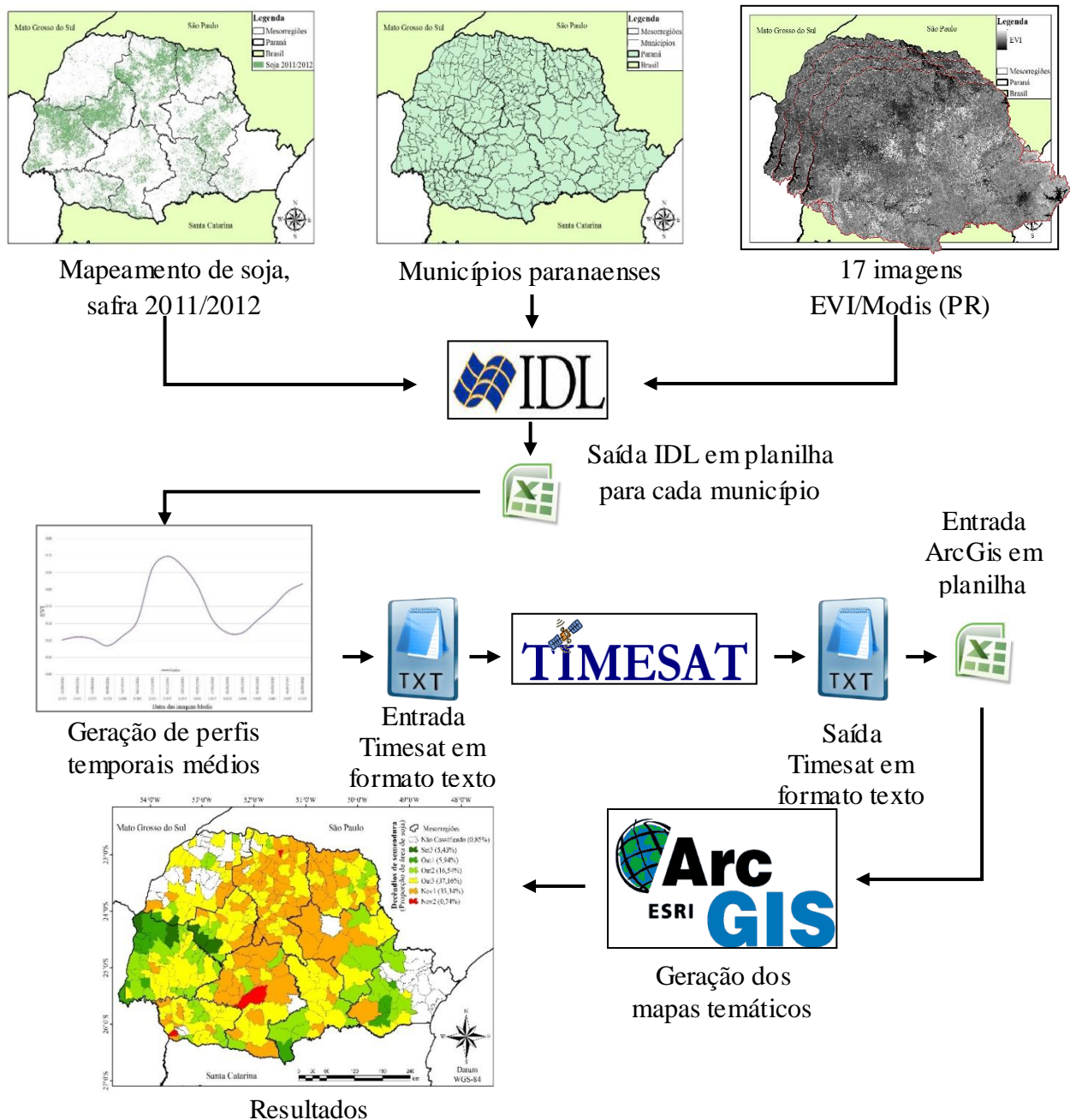


FIGURA 3. Fluxograma do procedimento para a determinação das datas de semeadura, de máximo desenvolvimento vegetativo, de colheita e de ciclo da cultura da soja para o Estado do Paraná. **Proceeding flowchart for determination of sowing, maximum vegetative growth, harvest and soybean crop cycle periods for the Paraná State, Brazil.**

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Séries temporais de imagens de satélite podem estar sujeitas a interferências de diversos ruídos. Os ruídos são valores anômalos que podem ocorrer devido a falhas de processamento, presença de nuvens, falhas do detector, geometria de visada, dentre outros (KOBAYASHI & DYE, 2005; HIRD & MCDERMID, 2009). A aplicação de filtros é um procedimento que permite eliminar ou minimizar a interferência destes ruídos, para que a influência seja minimizada nos estudos de fenologia de culturas agrícolas (JÖNSSON & EKLUNDH, 2002; SAKAMOTO et al., 2005). Entretanto, para ADAMI (2010), existem diversos filtros, e o melhor filtro será aquele que minimize estes valores anômalos sem descaracterizar o perfil temporal do índice de vegetação.

Assim, durante o processo de parametrização do *software* Timesat, o filtro *Savitzky-Golay* foi o que apresentou o melhor desempenho, segundo os critérios propostos por ADAMI (2010), ajustando-se melhor aos perfis espectrotemporais médios de EVI dos municípios, uma vez que foi empregado em 93,7% dos casos. Os demais filtros disponíveis *Gaussian Asymmetric* e *Double Logistic*, foram utilizados em apenas 6,3% dos municípios. ADAMI (2010), testando vários filtros (4253H twice; Savitzky-Golay; duplo-logística; gaussiano assimétrico; Hants e Wavelets), em séries temporais de índices de vegetação EVI, concluiu que o filtro Savitzky-Golay apresentou bom desempenho para minimizar ou eliminar ruídos sem modificar o padrão do perfil espectrotemporal do índice de vegetação. Isto corrobora os resultados aqui encontrados em que a maior parte dos perfis espectrotemporais de EVI foram ajustados por este filtro.

A outra parametrização importante no Timesat foi definir para cada perfil espectrotemporal médio de EVI dos municípios a data de semeadura (*season start*) - DS e a data de colheita (*season end*) - DC. Para os 351 municípios estudados, obteve-se para DS a média de 0,08 e a mediana 0,05 com coeficiente de variação de 76,34%. Já para DC, o ajuste médio foi de 0,14 com mediana 0,10 e coeficiente de variação de 115,17%. Os altos coeficientes de variação encontrados podem ser explicados pela existência de *outliers* (Figura 4) nas parametrizações de DS e DC no Timesat. Na prática, os valores ajustados de DS e DC mostram que, em média, 8% a partir do ponto de inflexão ascendente até a DMDV do perfil espectrotemporal de EVI (Figura 2) ocorre a semeadura da cultura da soja. Já a colheita ocorre, em média, 14% antes do ponto de inflexão descendente do perfil espectrotemporal de EVI (Figura 2), a partir da DMDV.

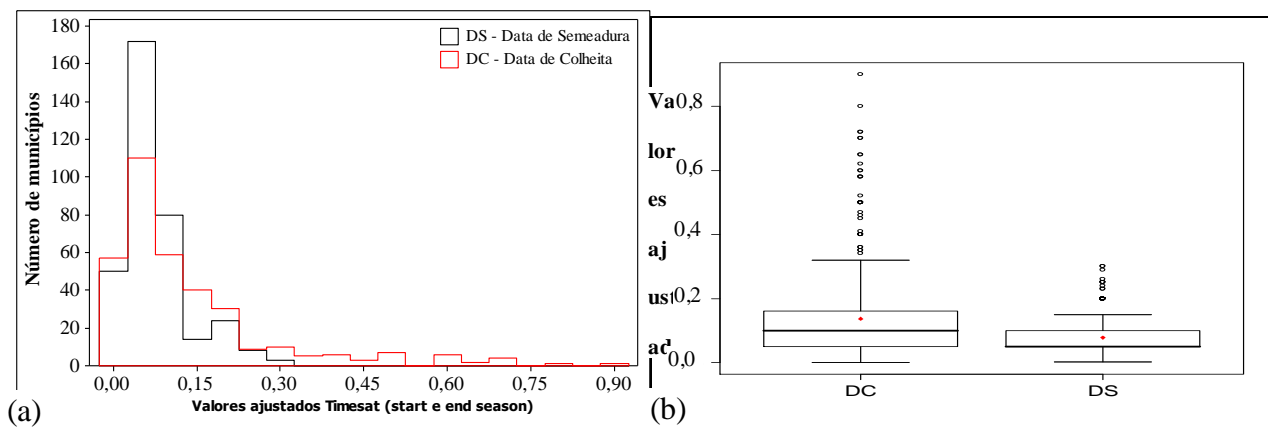


FIGURA 4. Histograma (a) e boxplot (b) dos valores ajustados no Timesat para datas de semeadura - DS (*start season*) e datas de colheita - DC (*end season*). **Histogram (a) and boxplot (b) of values set in Timesat for sowing dates - DS (season start) and harvest dates - DC (season end).**

Segundo ALBRECHT et al. (2008), no Estado do Paraná, o período preferencial para a semeadura da soja é o mês de novembro; no entanto, esta data pode entender-se de 15 de outubro a 15 de dezembro (EMBRAPA SOJA, 2011). Para o ano-safra de 2011/2012, o período de semeadura (DS) (Figura 5) ocorreu do 3º decêndio de setembro (3º Dec/Set) ao 2º decêndio de novembro (2º Dec/Nov), embora 70,5% tenham sido entre dois decêndios (3º Dec/Out e 1º Dec/Nov). Isto mostra

uma antecipação em relação ao período preferencial descrito por ALBRECHT et al. (2008) e ao intervalo descrito pela EMBRAPA SOJA (2011). Esta tendência de semeadura antecipada e a preferência por cultivares de ciclo precoce devem-se ao aproveitamento das áreas para cultivo do milho safrinha no período outono-inverno, em sucessão à cultura da soja no período primavera-verão (MELO et al., 2012).

ADAMI (2010), utilizando séries temporais de índices de vegetação de EVI, no Paraná, verificou que o período de semeadura da soja variou entre o 2º decêndio de outubro (2º Dec/Out) e o 2º decêndio de novembro (2º Dec/Nov), o que correspondeu a 87,78% da área de soja dos municípios estudados no presente trabalho. Este autor comparou também as datas de semeadura de soja, observadas a campo, em 376 talhões (entre os anos-safra de 2000/2001 e 2007/2008), nas mesorregiões centro-oriental e sudeste do Paraná, com a estimadas pelos perfis espectrotemporais e encontrou um erro médio quadrático (EMQ) em torno de 9 dias. Já SAKAMOTO et al. (2010) encontraram um EMQ de 6 dias ao estimar o estágio fenológico V1 (início da emergência) com séries temporais de imagens de satélite. Estes trabalhos comprovam a potencialidade de uso de séries espectrotemporais de imagens de satélite para estimar a DS e ainda tem como vantagem a objetividade, uma vez que é possível, já nos primeiros decêndios após a semeadura, conhecer os locais onde ela ocorreu.

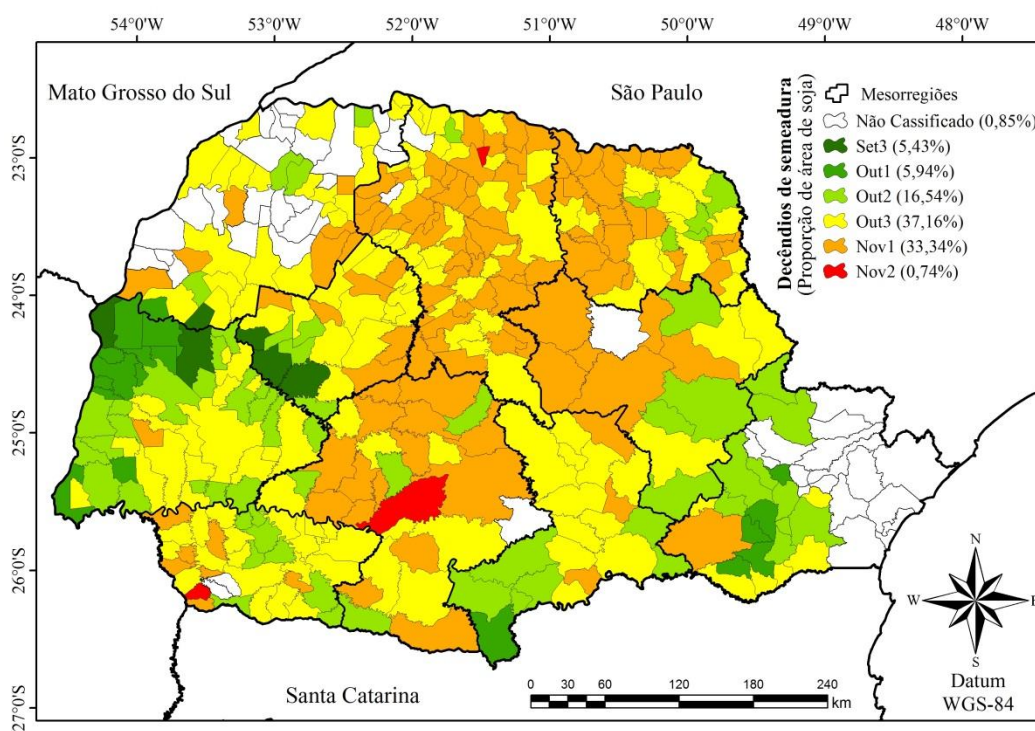


FIGURA 5. Decêndios de semeadura e proporção de área de soja por municípios, no Estado do Paraná, ano-safra de 2011/2012. **Sowing ten-day period and soybean area ratio by municipality in Paraná State, 2011/ 2012 crop year.**

Avaliando-se as datas de semeadura por mesorregiões (Tabela 1), verifica-se que as mesorregiões centro-ocidental, oeste e noroeste são as primeiras a semear (3º decêndio de setembro), embora representem apenas 5,43% da área do Estado, seguidas das regiões sudeste e de Curitiba (com 5,94% da área do Estado). Enquanto a região oeste está no máximo da semeadura (2º e 3º decêndios de outubro), as demais regiões estão iniciando suas semeaduras. Destacam-se a mesorregião oeste como a de maior área de soja no estado (20,75%), seguida das mesorregiões norte-central (18,68%), centro-ocidental (13,79%) e centro-oriental (11,01%). Tais percentuais representam, respectivamente, áreas cultivadas de 844.292 ha, 760.066 ha, 561.098 ha e 447.984 ha. De fato, as três primeiras mesorregiões são justamente o denominado “cinturão da soja” no Estado, ou seja, as regiões do Estado com maior área de cultivo da soja, já apontado por JOHANN et al. (2012).

Numa análise baseada em número de municípios do Estado (última linha da Tabela 1), que semearam a soja nos diferentes períodos de tempo (decêndios), verifica-se que a maior divergência entre a proporção de área semeada no Estado e o número de municípios está no 3º decêndio de setembro, em que 5,43% da área do Estado foi semeada em 1,50% dos 351 municípios avaliados. Destaca-se, também, que embora 12,03% dos municípios não tenham sido analisados pelos motivos já informados, eles representaram apenas 0,85% da área mapeada de soja do Estado por SOUZA et al. (2015).

TABELA 1. Percentual de área por mesorregião do Paraná para os decêndios de semeadura, ano-safra de 2011/2012. **Area percentage by mesoregion within Paraná state for sowing 10-day periods, 2011/ 2012 crop year.**

Mesorregiões	Total	Decêndios						
		Set3	Out1	Out2	Out3	Nov1	Nov2	Não Classificado
Centro Ocidental	13,79	2,44		1,89	7,00	2,46		
Centro Oriental	11,01			4,27	2,39	4,31		0,04
Centro Sul	8,54			0,98	2,24	4,54	0,71	0,07
Curitiba	2,80		0,92	0,36	0,49	1,01		0,02
Noroeste	4,14	0,40	0,21	0,12	2,19	0,61		0,61
Norte Central	18,68			0,03	6,82	11,71	0,01	0,11
Norte Pioneiro	9,48			0,20	2,74	6,54		
Oeste	20,75	2,59	4,78	6,83	6,27	0,28		
Sudeste	5,81		0,03	0,89	3,84	1,05		
Sudoeste	5,00			0,97	3,18	0,83	0,02	
Área total do Estado		5,43	5,94	16,54	37,16	33,34	0,74	0,85
Total de municípios do Estado		1,50	4,51	16,05	35,84	29,32	0,75	12,03

Set3: 3º decêndio de setembro; Out1: 1º decêndio de outubro; Out2: 2º decêndio de outubro; Out3: 3º decêndio de outubro; Nov1: 1º decêndio de novembro; Nov2: 2º decêndio de novembro.

A SEAB/Deral (2013) acompanha e faz estimativa mensal da proporção de área semeada e colhida de soja em todo o Estado (dados oficiais). Segundo esses dados, no mês de setembro, 4% da área de soja foi semeada no Estado; no entanto, os resultados apontaram para um total de 5,43%. No mês de outubro, segundo os dados oficiais, 47% da área de soja haviam sido semeadas, contrastando com os 59,64% encontrados pelo mapeamento. Para o mês de novembro, os dados oficiais trazem a informação de que 43% da cultura foram semeados, enquanto utilizando dados de sensoriamento remoto encontraram-se apenas 34,08%. Por fim, os resultados não indicam semeadura posterior ao segundo decêndio de novembro, até mesmo nas regiões com semeadura mais tardia, porém os dados oficiais da SEAB/Deral (2013) informam que 6% da semeadura ocorreram no mês de dezembro. Estas divergências entre os dados oficiais e os mapeados podem ser explicadas pelo método subjetivo como os dados oficiais são determinados, conforme apontam JOHANN et al. (2012). Em contrapartida, este estudo, bem como outros (TUCKER et al., 1979; VINA et al., 2004; SAKAMOTO et al., 2005, 2010; ADAMI, 2010) mostram ser possível estimar com acurácia dados do ciclo fenológico de culturas agrícolas por meio de séries temporais de imagens de satélite.

Estudos realizados por TUCKER et al. (1979) e SAKAMOTO et al. (2010) apontaram que o conhecimento das datas de máximo desenvolvimento vegetativo (DMDV), que se referem aos estádios R1 (florescimento) a R3 (formação de vagens) da cultura da soja (ADAMI, 2010), tem grande importância no uso de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade, pois possibilitam verificar a ocorrência de problemas climáticos em fases críticas da cultura. Estes pesquisadores utilizaram o ponto de máximo da inflexão do perfil espectrotemporal de EVI (Figura 2) como sendo a estimativa da DMDV, procedimento adotado também neste trabalho.

Assim, embora as DMDVs tenham variado do 3º decêndio de novembro ao 1º decêndio de março (Figura 6), que pela baixa representatividade foram agrupados na última classe (\geq Fev2), a maior parte da área de soja do Estado (65,46%) teve seu máximo desenvolvimento vegetativo (MDV) em janeiro (Figura 6), sendo a maior proporção (40,26%) no 2º decêndio de janeiro. Com exceção da mesorregião oeste, que teve a maior proporção de área de soja do Estado (19,21% -

Tabela 2) com seu MDV entre o 3º decêndio de novembro (3º Dec/Nov) e 2º decêndio de dezembro (2º Dec/Dez), no restante do Estado, o período crítico de desenvolvimento da cultura da soja ocorreu em janeiro. Isto demonstra que, se houvesse um “veranico”, ou seja, a falta de chuvas num determinado decêndio ou mês, o efeito em termos de diminuição da produtividade da cultura da soja não seria o mesmo em todas as mesorregiões do Estado, evidenciando a importância deste tipo de informação para o gerenciamento agrícola.

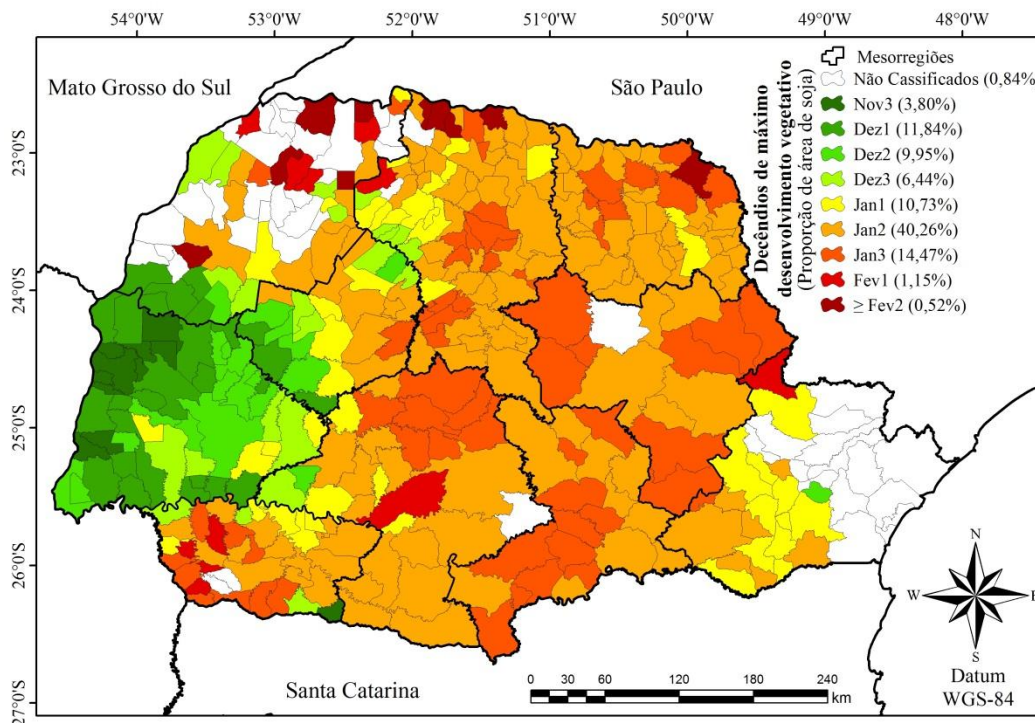


FIGURA 6. Decêndios de máximo desenvolvimento vegetativo e proporção de área de soja por municípios no Estado do Paraná, para o ano-safra de 2011/2012. **Maximum vegetative development ten-day period and soybean area ratio by municipality in Paraná State, 2011/ 2012 crop year.**

TABELA 2. Percentual de área por mesorregião do Paraná para os decêndios de máximo desenvolvimento vegetativo, ano-safra de 2011/2012. **Area percentage by mesoregion within Paraná State for maximum vegetative development 10-day periods, 2011/ 2012 crop year.**

Mesorregiões	Total	Decêndios									
		Nov3	Dez1	Dez2	Dez3	Jan1	Jan2	Jan3	Fev1	≥Fev2	Não Classificado
Centro Ocidental	13,80		1,74	3,13	1,94	3,01	3,87	0,11			
Centro Oriental	11,01						5,87	5,10			0,04
Centro Sul	8,53			0,07	0,13	0,31	5,82	1,43	0,70		0,07
Curitiba	2,80			0,01	0,84	1,81	0,12	0,01			0,01
Noroeste	4,13		0,83	0,39	0,86	0,18	0,99	0,09	0,11	0,07	0,61
Norte Central	18,68				1,41	4,00	10,88	1,91	0,08	0,29	0,11
Norte Pioneiro	9,48					0,14	6,81	2,37		0,16	
Oeste	20,76	3,59	9,27	6,35	0,86	0,69					
Sudeste	5,81						3,54	2,27			
Sudoeste	5,00	0,21			0,40	0,59	2,36	1,18	0,26		
Área total do Estado		3,80	11,84	9,95	6,44	10,73	40,26	14,47	1,15	0,52	0,84
Total de municípios do Estado		2,76	6,77	5,26	5,76	11,28	35,34	15,54	2,76	2,50	12,03

Nov3: 3º decêndio de novembro; Dez1: 1º decêndio de dezembro; Dez2: 2º decêndio de dezembro; Dez3: 3º decêndio de dezembro; Jan1: 1º decêndio de janeiro; Jan2: 2º decêndio de janeiro; Jan3: 3º decêndio de janeiro; Fev1: 1º decêndio de fevereiro; Fev2: 2º decêndio de fevereiro.

Os resultados encontrados corroboram os obtidos por ADAMI (2010) que também observou grande variabilidade espacial na estimativa da DMDV da soja, nas mesorregiões no Paraná. Creditou isto à variação das DSs, somada à diversidade de cultivares utilizadas no Estado. Além disto, pode-se acrescentar a variabilidade de ocorrência de precipitação e de temperaturas nas diversas mesorregiões do Estado que fazem com que a mesma cultivar possa ter um ciclo (número de dias) de desenvolvimento fenológico diferente.

A partir da análise do perfil espectrotemporal do índice de vegetação EVI, constatou-se que a colheita (DC) se inicia no 2º decêndio de janeiro (2º Dec/Jan) e estende-se até o 1º decêndio de abril (1º Dec/Abr), conforme ilustrado na Figura 7. ADAMI (2010) verificou que a concentração de colheita esteve entre meados de fevereiro e meados de abril, o que representaria, neste estudo, a partir do segundo decêndio de fevereiro (2º Dec/Fev), aproximadamente 95,57% da área de soja do Estado (Tabela 3). Porém, a maior parte da colheita da soja ocorreu no mês de março (53,92%), mais especificamente no 3º decêndio (3º Dec/Mar), com 22,20% da área de soja do Estado (Tabela 3). Como esperado, a região oeste do Estado realizou a colheita cerca de dois ou três decêndios antes em relação às demais mesorregiões, o que se justifica em função da característica desta região em semear milho safrinha no período de verão-outono. Um total de 70,68% (última linha da Tabela 3) dos municípios estudados colheram a cultura da soja nos meses de fevereiro e março, o que representou 75,43% (3.069.155 ha) da área de soja do Estado mapeada por SOUZA et al. (2015).

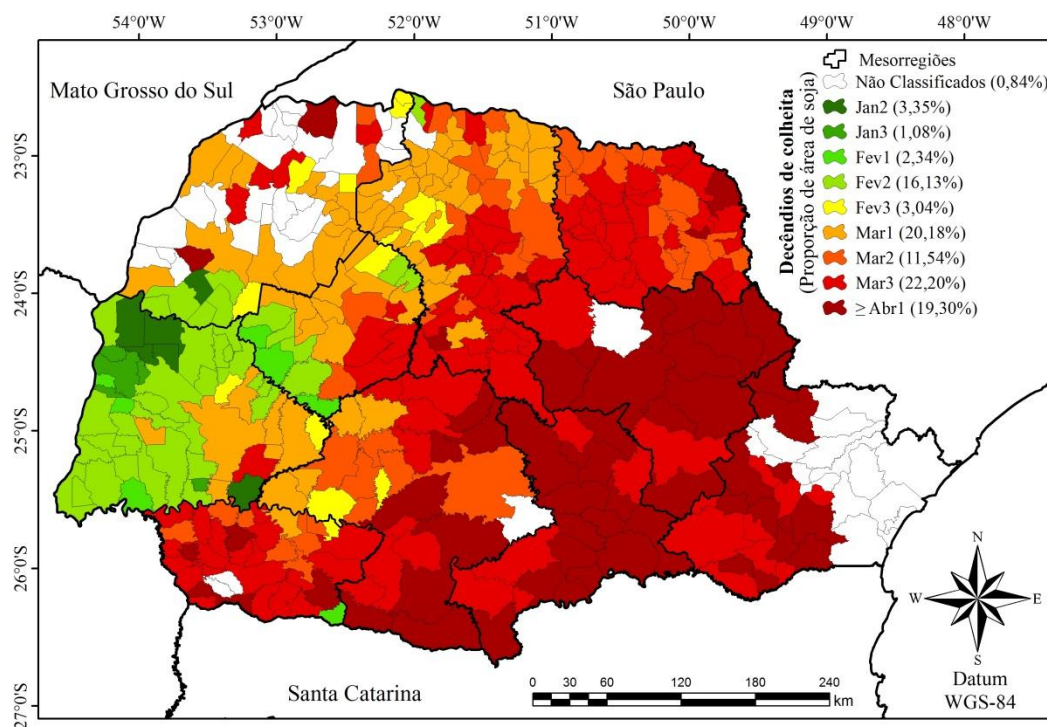


FIGURA 7. Decêndios de colheita e proporção de área de soja por municípios no Estado do Paraná, para o ano-safra de 2011/2012. **Soybean harvest ten-day period and soybean area proportion by municipality in Paraná State, 2011/ 2012 crop year.**

Quando se comparam os resultados divulgados pela SEAB/Deral (2013), mais uma vez aparecem divergências. Para o mês de janeiro, o dado oficial informou que 3% da soja haviam sido colhidos no Estado, contra 4,43% (Figura 7) obtidos com dados de sensoriamento remoto, quase que a totalidade deste montante somente na região oeste (Tabela 3). Para o mês de fevereiro, segundo a SEAB/Deral (2013), 19% da área do Estado foram colhidos contra 21,51% (Figura 7 ou Tabela 3) obtido pela metodologia objetiva ora proposta. Os dados oficiais apontam inexistência de colheita em março, porém verifica-se que foi de 53,92% (Tabela 3) a área de soja colhida no Estado, pela metodologia proposta. Acredita-se que a inexistência de área colhida em março seja algum erro de tabulação e/ou omissão, já que os dados oficiais informam que 78% da área foram

colhidos em abril, divergindo consideravelmente em relação aos 19,30% encontrados no mapeamento com imagens de satélite (Tabela 3).

TABELA 3. Percentual de área por mesorregião do Paraná para os decêndios de colheita, ano-safra de 2011/2012. Area percentage by mesoregion within Paraná for harvest 10-day periods, 2011/ 2012 crop year.

Mesorregião	Total	Decêndios									
		Jan2	Jan3	Fev1	Fev2	Fev3	Mar1	Mar2	Mar3	Abr1	Não Classificado
Centro Ocidental	13,79			1,74	3,40	0,52	4,88	1,43	1,82		
Centro Oriental	11,01								1,99	8,98	0,04
Centro Sul	8,54					0,20	0,24	1,64	2,69	3,70	0,07
Curitiba	2,81								1,88	0,92	0,01
Noroeste	4,14	0,04			1,29	0,50	1,53	0,03	0,11	0,03	0,61
Norte Central	18,68				0,02	1,32	9,65	3,71	3,62	0,25	0,11
Norte Pioneiro	9,48							3,97	5,50	0,01	
Oeste	20,77	3,31	1,08	0,40	11,42	0,47	3,75		0,34		
Sudeste	5,80								0,96	4,84	
Sudoeste	4,98			0,20		0,03	0,13	0,76	3,29	0,57	
Área total do Estado		3,35	1,08	2,34	16,13	3,04	20,18	11,54	22,20	19,30	0,84
Total de municípios do Estado		1,50	1,25	1,75	9,77	3,51	17,79	11,54	26,32	14,54	12,03

Jan2: 2º decêndio de janeiro; Jan3: 3º decêndio de janeiro; Fev1: 1º decêndio de fevereiro; Fev2: 2º decêndio de fevereiro; Fev3: 3º decêndio de fevereiro; Mar1: 1º decêndio de março; Mar2: 2º decêndio de março; Mar3: 3º decêndio de março; Abr1: 1º decêndio de abril.

Uma informação igualmente valiosa é a da duração do ciclo da cultura (CI), para verificar o comportamento da soja nas diversas regiões do Estado. BOLTON & FRIEDL (2013) fizeram uso deste parâmetro, juntamente com a data de semeadura e o pico vegetativo, de forma a criar um único modelo de previsão de produtividade, em que diferentes perfis espectrotemporais pudessem ser sobrepostos, cada qual com sua data de semeadura e duração do ciclo. Os resultados obtidos sugerem que o desconhecimento das datas (DS, DMDV e DC) implica a redução de 10% na eficácia da estimativa de produtividade.

O ciclo fenológico da soja pode variar, da germinação até à maturação completa, de 90 a 200 dias. De acordo com o tempo de duração do ciclo, as cultivares podem ser agrupadas em: precoce (até 115 dias), semiprecoce (116 a 125 dias), médio (126 a 137 dias), semitardio (138 a 150 dias) e tardio (mais de 150 dias) (FARIAS et al., 2000). Verificou-se (Figura 8 e Tabela 4) que a maior parte da cultura tem ciclo entre 121 a 160 dias (73,55%), sendo 24,17% com ciclo entre 121 e 130 dias; 13,37% entre 131 e 140 dias; 22,64% com duração de ciclo entre 141 e 150 dias, e os demais (13,37%) com duração de 151 a 160 dias.

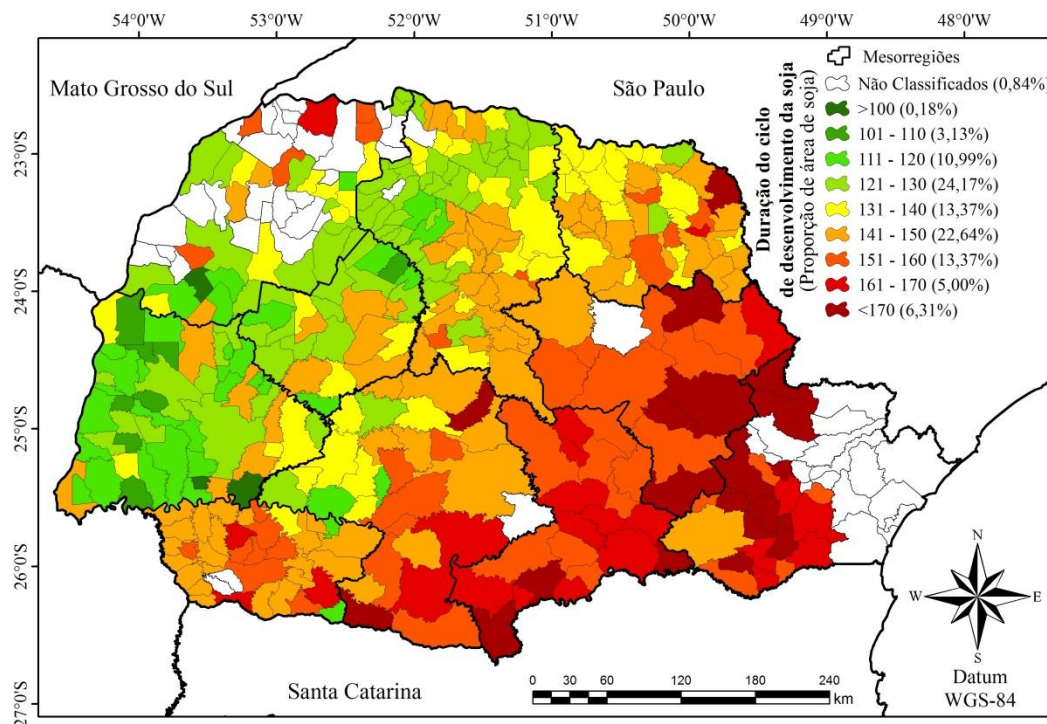


FIGURA 8. Duração do ciclo de desenvolvimento da soja por municípios no Estado do Paraná, para o ano-safra de 2011/2012. **Soybean cycle length by municipality in Paraná State, 2011/ 2012 crop year.**

TABELA 4. Percentual de área para as diferentes durações do ciclo da soja por mesorregião, ano - safra de 2011/2012. **Area percentage for different soybean cycle lengths by mesoregion within Paraná state, 2011/ 2012 crop year.**

Mesorregiões	Intervalo de Duração do Ciclo (em dias)									
	<100	101 a 110	111 a 120	121 a 130	131 a 140	141 a 150	151 a 160	161 a 170	>170	Não Classificado
Centro Ocidental	0,45	1,56	6,67	0,95	4,15					
Centro Oriental					0,44	6,00	0,27	4,26	0,04	
Centro Sul			0,20	0,15	0,46	2,94	3,04	0,90	0,78	0,07
Curitiba						1,01	0,35	0,46	0,98	0,01
Noroeste	0,04		0,69	1,56	0,69	0,48	0,05	0,02		0,61
Norte Central			1,10	9,11	5,06	3,05	0,25			0,11
Norte Pioneiro				0,58	4,86	3,73	0,30	0	0,01	
Oeste	0,14	2,68	7,20	6,10	1,22	3,41				
Sudeste							2,72	2,81	0,28	
Sudoeste			0,24		0,13	3,43	0,66	0,54		
Total Area Estado	0,18	3,13	10,99	24,17	13,37	22,64	13,37	5,00	6,31	0,84
Total de municípios do Estado	0,75	2,01	8,52	18,05	13,78	22,81	11,28	5,76	5,01	12,03

CONCLUSÕES

Foi possível estimar, por meio do *software* Timesat, as datas de semeadura (DS), de máximo desenvolvimento vegetativo (DMDV) e de colheita (DC), para cada município, com o uso de perfis espectrotemporais médios de índices de vegetação EVI do sensor Modis/Terra, gerados a partir do mapeamento da cultura da soja no Estado. Em relação à divulgação de dados oficiais (DS e DC) totais de todo o Estado, esta metodologia permite identificar espacialmente (municípios) e temporalmente (decêndios) estas informações, além da DMDV não divulgada por dados oficiais, conferindo maior grau de detalhamento de dados agrícolas.

O filtro *Savitzky-Golay* mostrou-se o de melhor desempenho para eliminação ou minimização de valores anômalos (ruídos) na série temporal de EVI, permitindo melhoria na estimativa das DSs, DMDVs e DCs da soja no Paraná.

A metodologia proposta utilizando dados de sensoriamento orbital mostrou a potencialidade para estimar de forma objetiva períodos importantes do desenvolvimento fenológico da cultura da soja, evidenciando a necessidade deste tipo de informação para o gerenciamento agrícola. Trata-se de informações imprescindíveis para a melhoria das estimativas de produtividade agrícola com o uso de modelos agrometeorológicos ou agroespectrais, especialmente as informações de DMDV. Assim, é possível conhecer antecipadamente quais regiões podem ter sido afetadas por estresse hídrico ao longo do desenvolvimento da cultura. O conhecimento da DC permite prever, com antecedência, a provável data em que as empresas cerealistas receberão os grãos em suas unidades armazenadoras, permitindo uma gestão mais eficaz em termos de logística e de armazenamento.

Com a publicação da resolução nº 4.427 (25-06-2015) pelo Banco Central do Brasil, que exigirá, a partir de 2016, que os bancos que concedem crédito rural utilizem sensoriamento remoto para fins de fiscalização de operações de crédito rural, mostra a tendência em se utilizar cada vez mais métodos objetivos de estimativas agrícolas no Brasil. Portanto, trabalhos como este que comprovam a potencialidade de uso de séries espectrotemporais de imagens de satélite para estimar datas da soja, serão uma ferramenta essencial para atingir as obrigações acima mencionadas.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, à CAPES e à Fundação Araucária, pelo apoio financeiro, e à Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda. (COODETEC) e à Embrapa Informática Agropecuária, pelo apoio técnico.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, M. **Estimativa da data de plantio da soja por meio de séries temporais de imagens MODIS**. 2010. 163p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.
- AGUIAR, D.A.; RUDORFF, B.F.T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y.E. Imagens de sensoriamento remoto no monitoramento da colheita da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.440-451, 2009.
- ALBRECHT, L.P.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; AGUIAR, C.G.; ÁVILA, M.R.; STÜLP, M. Qualidade fisiológica e sanitária das sementes sob semeadura antecipada da soja. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n.4, p.445-454, 2008.
- ARAÚJO, E.C. de; URIBE-OPAZO, M.A.; JOHANN, J.A. Análise de agrupamentos da variabilidade espacial da produtividade da soja e variáveis agrometeorológicas na região oeste do Paraná. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.4, p.782-795, 2013.
- BECK, P.S.; ATZBERGER, C.; HØGDA, K.A.; JOHANSEN, B.; SKIDMORE, A.K. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: A new method using Modis NDVI. **Remote Sensing of Environment**, v.100, n.3, p.321-334, 2006.
- BERNARDES, T.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A.R.; MOREIRA, M.A.; FRANCA, D.; NOVAES, M.R. Imagens mono e multitemporais Modis para estimativa da área com soja no Estado de Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.11, p.1530-1537, 2011.
- BOLTON, D.K.; FRIEDL, M.A. Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.173, p.74-84, 2013.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos. Safra 2013/14. Primeiro Levantamento – Intenção de Plantio**. 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_10_09_17_39_08_boletim_portugues_outubro_2013.pdf>. Acesso em: out. 2013.

- DALPOSSO, G.H.; URIBE-OPAZO, M.A.; MERCANTE, E.; LAMPARELLI, R.A.C. Spatial autocorrelation of NDVI and GVI indices derived from Landsat/TM images for soybean crops in the western of the state of Paraná in 2004/2005 crop season. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.3 p.525-537, 2013.
- EKLUNDH, L.; JÖNSSON, P. **TIMESAT 3.0 - Software manual**. Lund: Lund University, 2012. 82 p.
- EMBRAPA SOJA. **Tecnologia de produção de soja – Região Central do Brasil 2012 e 2013**. 262p. Londrina: Embrapa Soja, out. 2011. (Sistemas de produção, 15).
- EMBRAPA SOLOS. **Parâmetros técnicos relacionados ao manejo e conservação do solo, água e vegetação perguntas e respostas**. Rio de Janeiro, 2004. 16p. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/publicacao.html>>. Acesso em: 2 jul. 2015. (Comunicado Técnico).
- ESQUERDO, J.C.D.M.; ZULLO JÚNIOR, J.; ANTUNES, J.F.G. Use of NDVI/AVHRR time series profiles for soybean crop monitoring in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.32, n.13, p.3711-3727, 2011.
- FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N.; OYA, T. Ecofisiologia. In: EMBRAPA. **A cultura da soja no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2000. CD-ROM.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Multiple frame agricultural surveys: agricultural survey programs based on area frame or dual frame (area and list) sample design**. Rome, 1998, v. 2, 242 p. (Statistical Development Series 10).
- GRZEGOZEWSKI, D.M.; JOHANN, J.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; MERCANTE, E.; COUTINHO, A.C. Mapping soya bean and corn crops in the State of Paraná, Brazil, using EVI images from the MODIS sensor. **International Journal of Remote Sensing**, v.37, n.6, p.1257-1275, 2016.
- HIRD, J.N.; MCDERMID, G.J. Noise reduction of NDVI time series: An empirical comparison of selected techniques. **Remote Sensing of Environment**, London, v.113, n.1, p.248-258, 2009.
- HOLBEN, B.N. Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.7, n.11, p.1417-1435, 1986.
- HUETE, A.R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, London, v.83, n.1-2, p.195-213, Nov. 2002.
- IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Paraná**. 2000. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em: 2 jul. 2015.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Relatórios metodológicos - Pesquisas Agropecuárias - Departamento de Agropecuária**. 2.ed., Rio de Janeiro, 2002. 92p.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de dados agregados - Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA**. 2014. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: mar. 2014.
- JENSEN, J. R.; BOTCHWAY, K.; BRENNAM-GALVIN, E.; JOHANNSEN, C. J.; JUMA, C.; MABOGUNJE, A.; MILLER, R.; PRICE, K.; REINING, P.; SKOLE, D.; STANCIOFF, A.; TAYLOR, D. R. F. **Down to Earth: Geographic information for sustainable development in Africa**. Washington: National Academy Press, 2002. 155p.
- JOHANN, J.A. **Calibração de dados agrometeorológicos e estimativa de área e produtividade de culturas agrícolas de verão no estado do Paraná**. 2012. 225f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

- JOHANN, J.A.; ROCHA, J.V.; DUFT, D.G.; LAMPARELLI, R.A.C. Estimativa de áreas com culturas de verão no Paraná, por meio de imagens multitemporais EVI/Modis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.9, p.1295-1306, 2012.
- JOHANN, J.A.; ROCHA, J.V.; OLIVEIRA, S.R.M.; RODRIGUES, L.H.A.; LAMPARELLI, R.A.C. Data mining techniques for identification of spectrally homogeneous areas using NDVI temporal profiles of soybean crop. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.3, p.511-524, 2013.
- JÖNSSON, P.; EKLUNDH, L. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v.40, n.8, p.1824-1832, 2002.
- JOHANNSEN, C.J.; PETERSEN, G.W.; CARTER, P.G.; MORGAN, M.T. Remote sensing: changing natural resource management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.58, n.2, p.42-45, 2003.
- JUNGES, A.H.; FONTANA, D.C. Desenvolvimento das culturas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul por meio de perfis temporais do índice de vegetação por diferença normalizada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.5, p.1349-1355, 2009.
- JUNGES, A.H.; FONTANA, D.C.; PINTO, D.G. Identification of croplands of winter cereals in Rio Grande do Sul State, Brazil, through unsupervised classification of normalized difference vegetation index images. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.4, p.883-895, 2013.
- KOBAYASHI, H., DYE, D.G. Atmospheric conditions for monitoring the long-term vegetation dynamics in the Amazon using normalized difference vegetation index. **Remote Sensing of Environment**. London, v.97, n.4, p.519-525, 2005.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.
- KUPLICH, T.M.; MOREIRA, A.; FONTANA, D.C. Série temporal de índices de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.10, p.1116-1123, 2013.
- LABUS, M. P.; NIELSEN, G. A.; LAWRENCE, R. L.; ENGEL, R.; LONG, D. S. Wheat yield estimates using multi-temporal NDVI satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.23, n.20, p.4169-4180, 2002.
- MERCANTE, E.; LAMPARELLI, R.A.C.; URIBE-OPAZO, M.A.; ROCHA, J.V. Características espectrais da soja ao longo do ciclo vegetativo com imagens Landsat 5/TM em área agrícola no oeste do Paraná. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.2, p.328-338, 2009.
- MERCANTE, E.; LIMA, L.E.P.; JUSTINA, D.D.D.; URIBE-OPAZO, M.A.; LAMPARELLI, R.A.C. Detection of soybean planted areas through orbital images based on culture spectral dynamics. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.5, p.920-931, out. 2012.
- MELO, C.O. de; SILVA, G.H. da; ESPERANCICNI, M.S.T. Análise econômica da produção de soja e de milho na safra de verão, no Estado do Paraná. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v.1, n.21, p.121-131, 2012.
- NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Technical specifications**: Moderate resolution imaging spectroradiometer (*MODIS*). 2014. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>>. Acesso em: jun. 2014.
- PATINO, M.T.O.; MACHADO, M.F.; NASCIMENTO, G.T.; ALCANTARA, M.R. Analysis and forecast of the storage needs of soybeans in Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.4, p.834-845, 2013.
- TUCKER, C.J.; ELGIN Jr, J.H.; MCMURTREY III, J.E.; FAN, C.J. Monitoring corn and soybean crop development with hand-held radiometer spectral data. **Remote Sensing of Environment**, London, v.8, n.3, p.237-248, 1979.

REES, W.G. **Physical principles of remote sensing**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 247p.

RISSE, J.; RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y.E.; FORMAGGIO, A.R.; EPIPHANIO, J.C.N. Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.9, p.1317-1326, 2012.

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**, London, v.96, n.3-4, p.366-374, 2005.

SAKAMOTO, T.; WARDLOW, B.D.; GITELSON A.A.; VERMA, S.B.; SUYKER, A.E.; ARKEBAUER, T.J. A two-step filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, London, v.114, n.10, p.2146-2159, 2010.

SAVITZKY, A.; GOLAY, M.J.E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. **Analytical Chemistry**, Washington, v.36, n.8, p.1627-1639, 1964.

SEAB - Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Deral – Departamento de Economia Rural. **Calendário Agrícola – Evolução de plantio, colheita e comercialização**. 2013. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/pss.xls>>. Acesso em: out. 2013.

SOUZA, C.H.W.; MERCANTE, E.; JOHANN, J.A.; LAMPARELLI, R.A.C.; URIBE-OPAZO, M.A. Mapping and discrimination of soya bean and corn crops using spectro-temporal profiles of vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.36, n.7, p.1809-1824, 2015.

VINA, A.; GITELSON, A. A.; RUNDQUIST, D. C.; KEYDAN, G.; LEAVITT, B.; SCHEPERS, J. Monitoring maize (*Zea mays* L.) phenology with remote sensing. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, n.4, p.1139-1147, 2004.