

## Dinâmica fenológica da cultura da soja e sua correlação com variáveis espectrais

Christiany Mattioli Sarmiento<sup>1</sup>  
Franklin Daniel Inácio<sup>1</sup>  
Priscila Pereira Coltri<sup>2</sup>  
Rute Costa Ferreira<sup>3</sup>  
Marcelo de Carvalho Alves<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Lavras - UFLA  
Campus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras, MG  
{chrislavras}@yahoo.com.br, {franklin.d-inacio}@hotmail.com  
{marcelocarvalhoalves}@gmail.com

<sup>2</sup> Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura- CEPAGRI  
Cidade Universitária Zeferino Vaz - Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas – SP  
{priscilapereira.coltri}@gmail.com

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos  
Rodovia Presidente Dutra, km 39. Cachoeira Paulista - SP  
{rute.ferreira}@cptec.inpe.br

**Abstract.** Soybeans are the main agricultural product exported in Brazil and its production is mostly concentrated in the state of Mato Grosso. Due to the importance of culture at local, regional and global level, it is necessary to monitor its agricultural production. Monitoring and forecasting of soybeans are determinant factors for the agricultural market and can be achieved through methods of estimating productivity using robust and accurate techniques throughout the crop cycle. More recent studies have used satellite imagery to evaluate large areas at lower costs. This paper describes the development of a geographic database for visualization and analysis of temporal profiles of vegetative development and precipitation in comparison with the productivity corresponding to the crop of 2012/2013 in agglomerates producing soybeans in the state of Mato Grosso. Data collected in the field regarding the productivity of each plot were analyzed, images of satellites of high temporal resolution, referring to accumulated precipitation every 3 hours by means of 3B42RT products, corrected by the MERGE technique, NDVI and EVI vegetation indices from MOD13Q1 and MYD13Q1 products, obtained by the MODIS sensor, Terra and Aqua satellites, respectively, and evapotranspiration data, obtained through the products MOD16A2, MODIS sensor, Terra satellite. Through the results it was observed that there is a strong positive and negative correlation 56 days after the planting date.

**Palavras-chave:** remote sensing, soybeans, sensoriamento remoto, soja.

### 1. Introdução

O principal produto de exportação do Brasil é a soja em grão (Brasil, 2014; Brasil, 2016; Raucci et al. 2015) e isto se deve ao apoio de programas de incentivos a pesquisas pautadas na geração de tecnologias para obtenção de elevados índices de produtividade (Hirakuri, 2014; Weinhold et al. 2013). A cadeia produtiva da soja no Brasil e no mundo tem apresentado um crescimento progressivo que pode ser atribuído a fatores de natureza mercadológica e tecnológica, onde se estabelecem interações comerciais para desenvolvimento do mercado da commodity e apresentam soluções inovadoras necessárias para evolução do processo produtivo (Gazzoni, 2013; Hirakuri; Lazzarotto, 2014).

O Mato Grosso é o principal estado produtor de soja, responsável por 28,6% da produção no país (IBGE, 2015). O estado possui condições edafoclimáticas adequadas para produção e desenvolvimento da sojicultura (Vera – Diaz et al. 2008), inicialmente implantada em função da disponibilidade de terras, financiamento público e oferta de sementes adaptadas às condições climáticas locais (Bertrand et al. 2005). Tendo em vista a importância da cultura a

nível local, regional e global (Arvor et al. 2012), torna-se necessário monitorar a produção agrícola (Brown et al. 2010), no estado do Mato Grosso.

O monitoramento e a previsão de safras são fatores determinantes para o mercado agrícola (Gusso et al. 2013) e podem ser realizados através de métodos de estimativa da produtividade, utilizando técnicas robustas e precisas ao longo do ciclo da cultura (Monteiro e Sentelhas et al. 2014). Sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizado em análises espaço-temporal de mudanças da dinâmica agrícola (Dutrieux et al. 2016). Informações necessárias para avaliação dos processos fisiológicos da planta durante os estádios fenológicos (Kross et al. 2015) e a disponibilidade de dados climáticos (Foerster et al. 2012; Marin et al. 2014), permitem a identificação de tendências da cultura através de perfis espectro-temporais de imagens de satélites (Sakamoto et al. 2010; Wang et al. 2015).

A informação da fenologia é essencial para avaliar a produtividade e manejo da cultura. Nesse sentido, o desenvolvimento de um método para analisar estádios fenológicos da soja em conjunto com métodos discutidos anteriormente, se faz necessário. O objetivo deste trabalho foi analisar três processos: (i) análise da série temporal dos índices EVI (Índice de vegetação otimizado) e NDVI (Índice de vegetação por diferença normalizada) considerando os produtos dos satélites Aqua e Terra, respectivamente; (ii) análise da série temporal da precipitação representada pelo produto 3B42RT corrigido e fornecido pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/CPTEC – INPE) para os dias analisados no item i; (iii) Correlação entre as variáveis precipitação, NDVI, EVI, PET (Evapotranspiração Potencial) e ET (Evapotranspiração real).

## 2. Metodologia de Trabalho

O experimento foi conduzido no estado do Mato Grosso, localizado na região Centro – Oeste brasileira, com área de aproximadamente 903 mil km<sup>2</sup>, possui os biomas cerrado e pantanal (IBGE, 2014), chapadas e planaltos na região central; planície com presença de pântanos na região oeste; planaltos residuais ao norte e depressões ao sul do estado.

Dentre os fatores que influenciaram a escolha da área destacam-se: alta tecnologia aplicada às lavouras da região e topografia favorável ao plantio da soja. Neste trabalho analisou-se o comportamento da cultura para o período correspondente à safra 2012/2013. As análises foram realizadas para 10 talhões de diferentes tamanhos e distribuídos pelo estado do Mato Grosso. Para o acompanhamento do cultivo de soja no período correspondente à safra em questão, foram utilizados dados vetoriais e matriciais obtidos em campo e por sensores remotos orbitais, respectivamente (Tabela 1):

Tabela 1. Materiais utilizados.

Fonte de dados	Produtos	Especificações	Resolução Temporal	Resolução Espacial	Cena/tile
Terra/sensor MODIS	MOD13Q1	NDVI e EVI,	16 dias	250 m	h12v10
Terra/sensor MODIS	MOD16A2	Evapotranspiração real e evapotranspiração potencial	8 dias	1 km	h12v10
Aqua/sensor MODIS	MYD13Q1	NDVI e EVI	16 dias	250 m	h12v10
DSA/CPTEC – INPE	3B42RT (corrigido pelo	Precipitação diária	3 horas	0,25°	Estado do Mato Grosso

Coleta de dados em campo	método MERGE) Vetores dos 10 talhões analisados	Área, peso líquido, plantio, germinação, colheita e safra	-	-	10 talhões de soja localizados no estado do Mato Grosso
--------------------------	--	---	---	---	---

A Tabela 1 apresenta dados vetoriais e produtos MOD16A2, MOD13Q1 e MYD13Q1 obtidos por meio do instrumento MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), satélites Aqua e Terra; imagens do produto 3B42RT, satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), corrigidas pela técnica MERGE (Rozante et al. 2010) e fornecidas pelo DSA/CPTEC – INPE.

O produto MOD16A2 fornece dados PET e ET (0,1 mm/ 8 dias) segundo Mu et. al (2007) e Mu et. al (2013). Os produtos MOD13Q1 e MYD13Q1 possuem índices de vegetação NDVI e EVI. O NDVI foi desenvolvido por Rouse et al. (1973) é sensível à clorofila, e objetiva melhorar o estado da vegetação verde no solo, ao mesmo tempo que normaliza as propriedades do sensor, topografia e ruído relacionado à iluminação (Barbosa et al. 2006). O EVI (Huete et al. 2002) detecta fisionomia da planta, arquitetura e variações na resposta estrutural do dossel. Imagens do produto 3B42RT corrigidas pela técnica MERGE foram utilizadas para representar precipitação acumulada. Esta técnica combina estimativas de precipitação, produto 3B42RT, obtidas pelo satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) com observações de superfície de estações automáticas e convencionais. O estado do Mato Grosso carece de estações convencionais e automáticas distribuídas de maneira uniforme, havendo grandes regiões sem informações meteorológicas. A técnica MERGE apresenta excelentes resultados em áreas com observações escassas (Rozante et al. 2010).

Para o desenvolvimento do trabalho todas as imagens foram adquiridas no período compreendido entre a data de plantio e a data de colheita dos 10 talhões de soja, DJ265 a DJ17, totalizando 120 dias. Com relação à precipitação, imagens a cada 3 horas foram somadas e transformadas em imagens diárias para, em seguida, serem somadas a cada 8 dias de modo a representar a precipitação acumulada deste período (Tabela 2).

Tabela 2. Informações de datas das imagens.

Dia Juliano (DJ)	Data	Somatório de imagens de precipitação
265	21/09/2012	14/09/2012 a 21/09/2012
273	29/09/2012	22/09/2012 a 29/09/2012
281	07/10/2012	30/09/2012 a 07/10/2012
289	15/10/2012	08/10/2012 a 15/10/2012
297	23/10/2012	16/10/2012 a 23/10/2012
305	31/10/2012	24/10/2012 a 31/10/2012
313	08/11/2012	01/11/2012 a 08/11/2012
321	16/11/2012	09/11/2012 a 16/11/2012
329	24/11/2012	17/11/2012 a 24/11/2012
337	02/12/2012	25/11/2012 a 02/12/2012
345	10/12/2012	03/12/2012 a 10/12/2012
353	18/12/2012	11/12/2012 a 18/12/2012
361	26/12/2012	19/12/2012 a 26/12/2012
1	01/01/2013	25/12/2012 a 01/01/2013
9	09/01/2013	02/01/2013 a 09/01/2013
17	17/01/2013	10/01/2013 a 17/01/2013

Imagens do sensor MODIS, satélite Aqua e Terra, foram obtidas no portal Reverb ECHO, da National Aeronautics and Space Administration - NASA. Após cadastro as imagens foram selecionadas considerando período, área geográfica de interesse, plataforma, instrumento e sensor. Em seguida foram processadas com auxílio da ferramenta MODIS Conversion Toolkit, inserido no *software* Envi 4.8, onde foram convertidas do formato HDF para o formato Geotiff, assim como reamostradas pelo método *Nearest Neighbor* e reprojatadas para projeção UTM, datum WGS-84, zona 22 S.

Para facilitar o processamento das imagens, houve o recorte de cada imagem, para diferentes datas e variáveis utilizando os 10 arquivos vetoriais referentes aos talhões (Tabela 3).

Tabela 3. Imagens obtidas para cada data segundo talhões e variáveis.

Talhões ( <i>Shapefile</i> )	Variáveis (imagens)	Datas	Total de imagens após recorte
10 talhões	ET PET EVI NDVI 3B42RT corrigido	DJ265 a DJ17 – 16 imagens	800

A Tabela 3 apresenta o processo de recorte das imagens. Para obtenção dos valores referentes às variáveis em cada talhão para determinada data, houve a adoção do procedimento de extração dos valores dos pixels para cada uma das 800 imagens. Posterior a essa extração de valores, os dados foram organizados e analisados. Foram selecionados os valores médios de NDVI, EVI, ET, PET e precipitação para cada talhão a fim de analisar o comportamento espectral médio destas variáveis. Em seguida foi calculado o coeficiente linear de correlação de Pearson, sendo esta uma das alternativas mais comuns em estatística para se determinar a associação entre duas variáveis  $x$  e  $y$ .

O instrumento de medida da correlação linear é dado pelo coeficiente de correlação de Pearson. O valor do coeficiente de correlação  $r$  sempre deverá estar entre  $-1$  e  $1$ . A correlação entre duas variáveis é positiva se valores mais altos de uma variável estão associados a valores mais altos da outra, e é negativa se os valores de uma variável crescem enquanto os da outra diminuem. O coeficiente de correlação próximo do zero significa que não existe uma relação linear entre as duas variáveis.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Análise da série temporal dos índices NDVI e EVI utilizando MOD13Q1 e MYD13Q1

O padrão espectral dos índices de vegetação calculados no estudo são apresentados na Figura 1. A quantidade de fitomassa no estágio de desenvolvimento da cultura é manifestada na refletância da vegetação.

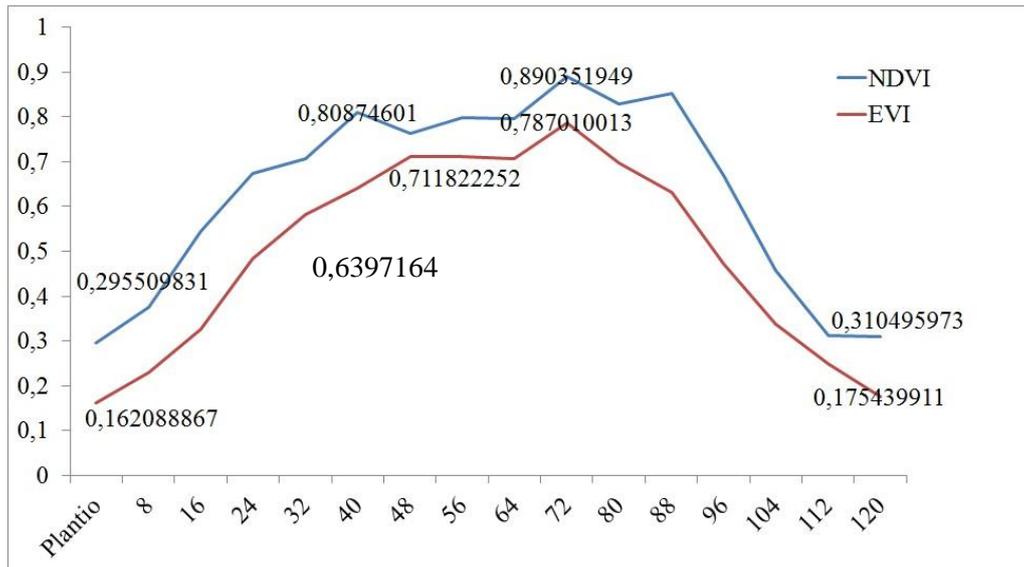


Figura 1: Comportamento espectral dos índices NDVI e EVI para os talhões analisados na safra 2012/2013.

De acordo com a Figura 1 é possível observar o aumento inicial dos valores de NDVI e EVI na época da germinação, aproximadamente 8 dias após o plantio, onde a semente absorve 50% do seu volume em água, na fase da emergência (VE). Aos 40 dias após o plantio nota-se o aumento gradual do NDVI (0,808) e do EVI (0,639), onde a quarta folha trifoliolada se encontra completamente desenvolvida (V5). Os valores máximos de NDVI (0,890) e EVI (0,787) ocorreram 72 dias após o plantio, no estágio reprodutivo R5, onde a vagem possuía 3 cm de comprimento em um dos quatro nós superiores da haste principal com folha completamente desenvolvida (Fehr e Caviness, 1977), flores quase abertas e planta em sua altura máxima.

As variações podem estar associadas fatores meteorológicos, à geometria de iluminação e ao dia selecionado para a geração da composição 8-dias (produtos MOD13Q1 e MYD13Q1), entre outros fatores.

### 3.2 Análise da série temporal de ET e PET utilizando MOD16A2

A Figura 2 apresenta valores de evapotranspiração real e potencial ocorridos no período estudado.

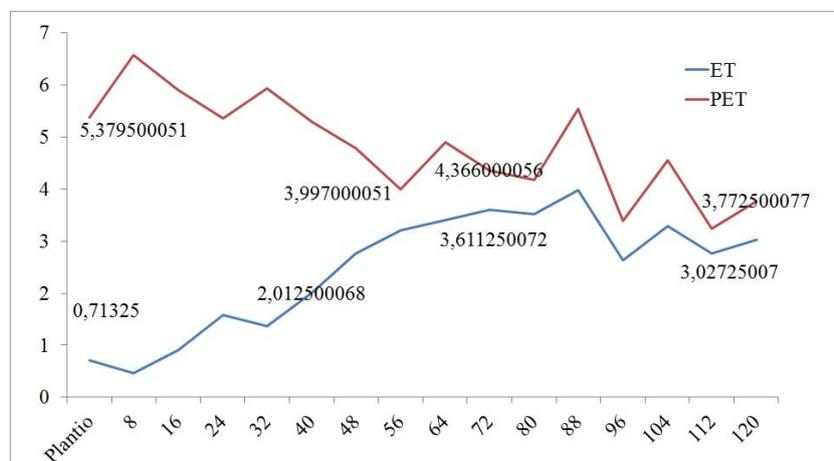


Figura 2: Comportamento espectral dos produtos MODIS ET e PET para os talhões analisados na safra 2012/2013.

A partir da Figura 2 é possível observar que até 56 dias após a data de plantio, ET e PET apresentaram valores opostos, e em seguida, mantiveram um padrão correspondente de crescimento e diminuição de valores reais e potenciais. Neste sentido, nota-se, por exemplo, 8 dias após o plantio ET e PET tiveram comportamentos inversos. Isto pode ser atribuído às influências meteorológicas como precipitação e temperatura, fotoperíodo, número de horas de brilho solar, dentre outros fatores que se relacionam diretamente com a radiação incidente na superfície terrestre.

### 3.3 Análise da série temporal da precipitação

A Figura 3 apresenta o comportamento da precipitação acumulada para a safra analisada.

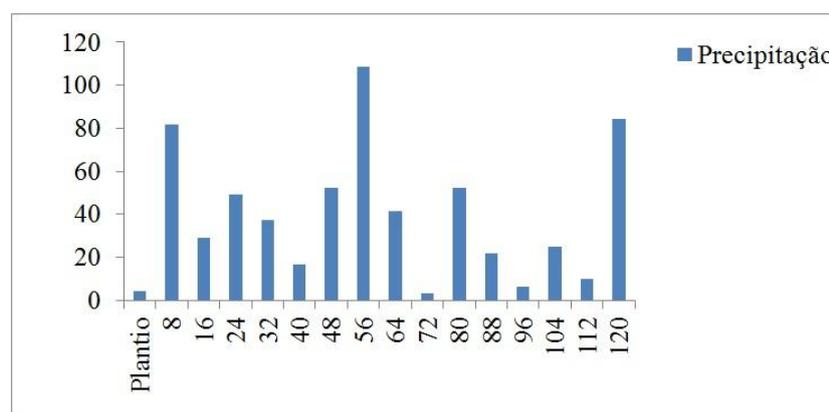


Figura 3: Precipitação acumulada utilizando 3B42RT para os talhões analisados na safra 2012/2013.

As necessidades hídricas, durante a fase de crescimento vegetativo, são menos importantes que durante as fases de florescimento e frutificação, nota-se que a quantidade de água precipitada durante a data de plantio é pequena. Na fase da emergência e floração-enchimento dos grãos houve boa demanda de água precipitada, como pode ser observado 8 e 56 dias após a data de plantio, o que é considerado fator de grande importância para o desenvolvimento da soja (Silva, 2011). Excesso ou deficiência hídrica entre a germinação e o florescimento retardam o crescimento vegetativo e prejudicam a obtenção de uniformidade na população de plantas (Camargo, 2006). A deficiência hídrica durante o florescimento (R1-R3) reduz o número total de vagens, pois a soja é sensível à carência hídrica (CAMARGO, 1984). Os estádios de floração e de enchimento de grãos são os de maior consumo de água pela planta, sendo, portanto, os mais críticos à deficiência hídrica. A quantidade de água precipitada apresentou comportamento favorável à produção de soja para os talhões analisados.

### 3.4 Correlação entre as variáveis

A análise de correlação linear de Pearson foi realizada para todos os 16 dias mencionados neste estudo, no entanto, este trabalho apresenta apenas resultados onde houveram valores de correlação, negativa ou positiva, fortes.

Tabela 4. Correlação de Pearson entre as variáveis NDVI, EVI, ET, PET e Precipitação.

Variáveis	8 dias	48 dias	56 dias	72 dias	80 dias
Precipitação e NDVI	-0,806			0,757	-0,714
Precipitação e EVI	-0,765		0,708		-0,729

---

Precipitação e PET	0,711
Precipitação e ET	0,701
ET e NDVI	-0,751
ET e EVI	-0,853
EVI e PET	-0,857
NDVI e PET	-0,769

---

De um modo geral as relações entre as variáveis apresentaram um coeficiente de correlação, com valores de superiores a -0,70 aos 56 dias pós data de plantio, com exceção da relação precipitação e NDVI, precipitação e PET e precipitação ET. Aos 8 dias após o plantio, na germinação, a soja se encontrava no início de desenvolvimento fenológico, onde valores de NDVI e EVI foram menores quando comparados à elevada precipitação acumulada desta data. Observa-se que houve correlação negativa forte entre as variáveis precipitação e índices de vegetação para esta fase de emergência (VE) e estágio reprodutivo R2.

#### 4. Conclusões

Após 56 dias de plantio da soja, houve um pico de maior desenvolvimento da cultura devido aos altos valores obtidos nas correlações lineares. Nesse período, a cultura encontrava-se no ápice de desenvolvimento vegetativo, com elevada evapotranspiração e com possibilidade de evapotranspirar ainda mais segundo suas condições atmosféricas que influenciaram diretamente no solo.

#### Referências Bibliográficas

- ARVOR, Damien; MEIRELLES, Margareth; DUBREUIL, Vincent; BÉGUÉ, Agnès; SHIMABUKURO, Yosio E. Analyzing the agricultural transition in Mato Grosso, Brazil, using satellite-derived indices, **Applied Geography**, Volume 32, Issue 2, March 2012, Pages 702-713, ISSN 0143-6228, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.08.007>.
- BERTRAND, J.P. ; CADIER, C. ; GASQUES, J.G. (2005). Le crédit : un des facteurs clés de l'expansion de la filière soja dans le Mato Grosso. **Cahiers d'Etudes et de Recherches Francophones**. Agricultures, vol. 14, n° 1, pp 45-51.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Agrostat. Estatísticas de Comercio Exterior do Agronegócio Brasileiro. Disponível em: <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Acesso em: fev. 2016.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Intercâmbio comercial do agronegócio : principais mercados de destino / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Relações Internacionais do Agronegócio. – Brasília : MAPA/ACS 2014. 466 p. ISBN 978-85-7991-090-6
- BROWN, Molly E.; BEURS, Kirsten; VRIELING, Anton. The response of African land surface phenology to large scale climate oscillations, **Remote Sensing of Environment**, Volume 114, Issue 10, 15 October 2010, Pages 2286-2296, ISSN 0034-4257, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2010.05.005>.
- CAMARGO, M.B.P. Exigências Bioclimáticas e estimativa da produtividade para quatro cultivares de soja no estado de São Paulo. 1984. 96f. **Dissertação (Mestrado em Agronomia)** – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz” – Esalq, Piracicaba.

- CAMARGO, M.B.P. Relações entre produtividade e exigências bioclimáticas. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v.3, p. 67-69. 2006.
- DUTRIEUX, Loïc P.; JAKOVAC Catarina C.; LATIFAH, Siti H.; KOOISTRA, Lammert. Reconstructing land use history from Landsat time-series: Case study of a swidden agriculture system in Brazil, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Volume 47, May 2016, Pages 112-124, ISSN 0303-2434, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2015.11.018>.
- Foerster, Saskia; Kaden, Klaus; Foerster, Michael; Itzerott, Sibylle. Crop type mapping using spectral-temporal profiles and phenological information, **Computers and Electronics in Agriculture**, Volume 89, November 2012, Pages 30-40, ISSN 0168-1699, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2012.07.015>.
- GAZZONI, Décio Luiz. A sustentabilidade da soja no contexto do agronegócio brasileiro e mundial / Décio Luiz Gazzoni. – Londrina: **Embrapa Soja**, 2013.
- GUSSO, Aníbal; DUCATI, Jorge Ricardo; VERONEZ, Maurício Roberto; ARVOR, Damien; JUNIOR, Luiz Gonzaga da Silveira. Spectral Model for Soybean Yield Estimate Using MODIS/EVI Data. 2013.
- HIRAKURI, Marcelo Hiroshi. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro – Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70p. : il. – (**Circular técnica/ Embrapa Soja**, n. 105)
- HIRAKURI, Marcelo Hiroshi; Lazzarotto, Joelsio José.
- Impactos econômicos de estresses bióticos e abióticos na produção de soja** – Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70p. : il. – (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n. 349)
- 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 Environment**, v.83,p. 195–213, 2002.
- IBGE, **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro v.29 n.11 p.1-85 novembro, 2015
- KROSS, Angela; Heather McNairn, David Lapen, Mark Sunohara, Catherine Champagne, Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Volume 34, February 2015, Pages 235-248, ISSN 0303-2434, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2014.08.002>.
- Marin F.R., Ribeiro R.V. and Marchiori P.E.R. (2014) How can crop modeling and plant physiology help to understand the plant responses to climate change? A case study with sugarcane. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, 26, 49–63.
- MONTEIRO, Leonardo Amaral; SENTELHAS, Paulo Cesar. Calibration and testing of an agrometeorological model for the estimation of soybean yields in different Brazilian regions. **Acta Sci., Agron.**, Maringá , v. 36, n. 3, p. 265-272, Sept. 2014 .
- MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S.W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm, **Remote Sensing of Environment**, Volume 115, Issue 8, 15 August 2011, Pages 1781-1800, ISSN 0034-4257, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.019>.
- RAUCCI, Guilherme Silva; MOREIRA, Cindy Silva; ALVES, Priscila Aparecida; MELLO,Francisco F.C.; FRAZÃO, Leidivan de Almeida; CERRI, Carlos Eduardo P.; CERRI, Carlos Clemente. Greenhouse gas assessment of Brazilian soybean production: a case study of Mato Grosso State, **Journal of Cleaner Production**, Volume 96, 1 June 2015, Pages 418-425, ISSN 0959-6526, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.064>.
- SAKAMOTO, T., WARDLOW, B. D., GITELSON, A. A., VERMA, S. B., SUYKER, A. E. & ARKEBAUER, T. J. (2010). A two-step filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment** 114, 2146-2159
- SILVA, D. F. Uso de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade e de risco climático para a soja no Vale Médio do Paranapanema – SP. 2011. 80f. **Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical)** – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas.
- VERA-DIAZ, Maria del Carmen; KAUFMANN , Robert K.; NEPSTAD, Daniel C., SCHLESINGER , Peter. An interdisciplinary model of soybean yield in the Amazon Basin: The climatic, edaphic, and economic determinants, **Ecological Economics**, Volume 65, Issue 2, 1 April 2008, Pages 420-431, ISSN 0921-8009, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.07.015>.
- WANG, Sisi; Xingguo Mo, Suxia Liu, Zhonghui Lin, Shi Hu, Validation and trend analysis of ECV soil moisture data on cropland in North China Plain during 1981–2010, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Available online 30 October 2015, ISSN 0303-2434, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2015.10.010>.  
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243415300441>)
- WEINHOLD, Diana; KILLICK, Evan; REIS, Eustáquio J. Soybeans, Poverty and Inequality in the Brazilian Amazon, **World Development**, Volume 52, December 2013, Pages 132-143, ISSN 0305-750X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2012.11.016>.