

**ASSOCIAÇÃO ESPACIAL DAS VARIÁVEIS AGROMETEOROLÓGICAS
ASSOCIADAS À PRODUTIVIDADE DA SOJA NO PERÍODO DE
DESENVOLVIMENTO MÁXIMO VEGETATIVO**

**EDILZA M. SILVA¹, PRISCILA P. GASPARIN², ALEX PALUDO³, WILLYAN R.
BECKER⁴, LUCIANA P. C. GUEDES⁵, JERRY A. JOHANN⁶**

^{1,2}Matemática, Doutoranda em Engenharia Agrícola – PGEAGRI– UNIOESTE, Cascavel – PR, (45) 3220-7320, edilza_martins@hotmail.com

^{3,4}Engenheiro Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola – PGEAGRI– UNIOESTE, Cascavel – PR

⁵Matemática, Prof^o. Dr^o. Associada, Pós Graduação em Engenharia Agrícola – PGEAGRI- UNIOESTE, Cascavel-PR

⁶ Engenheiro Agrícola, Prof^o. Dr^o. Associado, Pós Graduação em Engenharia Agrícola – PGEAGRI- UNIOESTE, Cascavel-PR

Apresentado no

XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020

23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

RESUMO: As variáveis agrometeorológicas causam impacto nas fases fenológicas da cultura da soja, interferindo na produtividade. Neste contexto, objetivou-se avaliar a associação espacial entre as variáveis agrometeorológicas no decêndio do máximo desenvolvimento vegetativo (DMDV) com a produtividade da soja, no estado do Paraná, nos anos-safras 2011/2012 e 2013/2014. Realizou-se uma análise descritiva da distribuição espacial das regiões comparando os valores de produtividade com os valores das variáveis, por meio de mapa da distribuição espacial e Índice de Moran bivariado. Pelo teste Z, com 5% de significância, constatou-se que a produtividade média da soja foi estatisticamente diferente entre os dois anos-safra, com menor produtividade média no ano-safra 2011/2012. Observou-se que as regiões com as maiores produtividades apresentaram DMDV no 1^o e 2^o decêndios de janeiro, maior precipitação, e os menores valores das demais variáveis agrometeorológicas.

PALAVRAS-CHAVE: Decêndios. Precipitação. Índice de Moran.

**SPATIAL ASSOCIATION OF AGROMETEOROLOGICAL VARIABLES
ASSOCIATED WITH SOYBEAN PRODUCTIVITY IN THE PERIOD OF THE
MAXIMUM VEGETATIVE DEVELOPMENT**

ABSTRACT: As agrometeorological variables impact the phenological phases of the soybean crop, interfering in the execution. In this context, we aim to evaluate a spatial association between agrometeorological variables in the maximum budget (DMDV) with soybean records, in the state of Paraná, in the 2011/2012 and 2013/2014 crop years. A descriptive analysis of the spatial distribution of the regions was carried out, comparing the reproduction values with the values of the variables, using a spatial distribution map and the bivariate Moran Index. By the Z test, with a 5% significance level, it was found that the soybean average was statistically different between the two crop years, with a lower average average in the year 2011/2012. Observe if the regions with the highest productivity presented DMDV on the 1st and 2nd of January, with higher amounts and lower values of the agrometeorological variables.

KEYWORDS: Ten-day. Precipitation. Moran Index.

INTRODUÇÃO:

A cultura da soja (*Glycine max (L.) Merrill*) exerce grande influência na economia no Brasil, com uma produtividade média de 3.39 kg ha⁻¹ no ano-safra de 2017/2018. Dentre os estados brasileiros destaca-se o estado do Paraná, sendo o segundo produtor de grãos do país (IBGE, 2018).

Ao considerar o estado como um país, este seria o quarto maior produtor de soja, com uma produção de 19 milhões de toneladas no ano-safra de 2017/2018, produzindo mais do que a China, que nesse mesmo ano-safra produziu 14,2 milhões de toneladas (USDA, 2019). Além disso, os dados oficiais mostram que o estado obteve uma média 15 milhões de toneladas nos últimos 10 anos. Isto só foi possível devido a influência de fatores climáticos e da tecnologia por parte do setor (WANG et al., 2016; EMBRAPA 2007).

Entretanto, a cultura da soja está exposta a influência de algumas variáveis agrometeorológicas que afetam diretamente todas as fases fenológicas da cultura, como a temperatura, fotoperíodo, evapotranspiração e disponibilidade hídrica (KLOSOWKI, 1997). Alguns estudos revelam que a disponibilidade hídrica é um dos elementos climáticos mais importantes para o desenvolvimento da cultura, principalmente no períodos de germinação-emergência e de floração-enchimento de grãos (EMBRAPA SOJA, 2007). Tanto o excesso quanto a falta da chuva no estágio vegetativo da soja podem acarretar em uma redução drástica da produção de grãos (BONATO, 2000).

Outro elemento relevante, é a temperatura sendo recomendado que a soja esteja em um ambiente com temperatura do ar variando de 20 a 30 °C, mas a temperatura ideal é em torno de 30 °C (EMBRAPA SOJA, 2007). Além disso, ao cultivar a soja em regiões com temperaturas baixas (< 15 °C) ocorre a diminuição no tamanho da planta, atrasando o seu desenvolvimento e, como consequência, a produtividade (BONATO, 2000). Para as regiões com temperaturas acima de 40 °C, ocorrem problemas na floração e capacidade de retenção das vagens, sendo agravados com a ocorrência de déficit hídrico (EMBRAPA, 2010).

Além das disponibilidades hídrica e da temperatura, o fotoperíodo influencia na cultura da soja, principalmente fases de florescimento, na dormência de gemas e na iniciação de bulbos ou tubérculos (EMBRAPA, 2010; THOMAS, 2017). Segundo Rodrigues et al. (2002) o baixo nível de radiação solar acumulada durante os estádios reprodutivos da soja tem sido a principal causa da perda do rendimento da soja.

Outro elemento climático que influencia no ciclo vegetativo da soja é a evapotranspiração potencial (ETp), sendo este afetado por diversos fatores, tais como: o estágio de desenvolvimento da cultura; características climáticas (radiação, temperatura do ar, umidade atmosférica e vento); aspectos ambientais como a salinidade do solo, a baixa fertilidade da terra, aplicação de fertilizante e ausência de controle de doenças e pragas (ALLEN et al., 1998).

Estudos mostraram que a quantidade das variáveis climáticas no DMDV da cultura da soja influencia tanto o desenvolvimento como a produtividade de grãos (JOHANN et. al, 2016).

Neste sentido, o trabalho teve como objetivo analisar a influência das variáveis agrometeorológicas na produtividade da soja no período do DMDV no estado do Paraná nos anos-safras 2011/2012 e 2013/2014.

MATERIAL E MÉTODOS:

A área em estudo compreende o estado do Paraná, localizado no Sul do Brasil, limitado entre os paralelos 22°29'S e 26°43'S e os meridianos 48°2'W e 54°38'W (Figura 1). Com o clima do tipo Cfa e Cfb e uma precipitação média anual de 1,700 mm (KOPPEN, 1948).

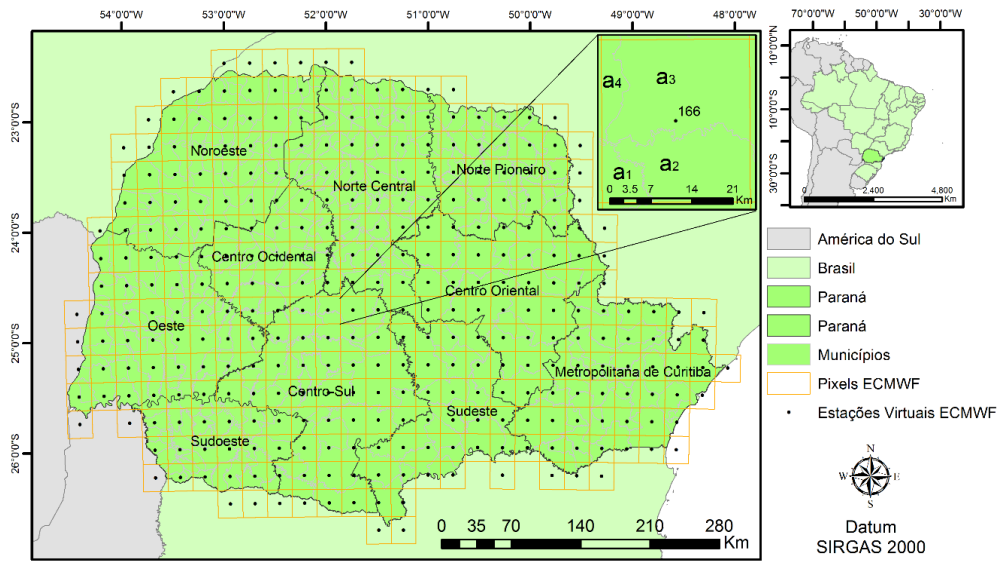


FIGURA 1 Área de estudo com as 10 mesorregiões do estado do Paraná; Exemplo de uma estação virtual (EV) do ECMWF com o percentual da área dos 4 municípios (a1, a2, a3, a4).

Para determinar os anos-safras em estudo, analisou-se uma série histórica de anos-safra (2000/2001 á 2015/2016). Sendo o ano-safra 2011/2012, de estiagem, ou seja, com os menores valores médios de precipitação e com menores valores produtividade da série histórica. Por outro lado, 2013/2014 apresentou um valor médio de precipitação e produtividade média próxima da média do período analisado. O período do ano-safra foi definido baseado no ciclo fenológico da soja, com início no 3º decêndio de agosto (data da semeadura) até 1º decêndio de abril (data da colheita).

Avaliaram-se as variáveis agrometeorológicas no DMDV da soja, para os anos-safras 2011/2012 e 2013/2014, de acordo com Becker et al. (2017) e Grzegozewsk et al. (2017).

Os dados das variáveis agrometeorológicas: temperatura do ar (°C), precipitação pluvial (mm), radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) e evapotranspiração potencial (mm), para cada ano-safra foram obtidos das estações virtuais (EV's), por meio do modelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), disponibilizado no website do JRC, no formato *shape*, com resolução espacial em pixel, com uma área aproximada de 25 x 25 km (Figura 1) e uma resolução temporal decendial (ECMWF, 2018).

Considerou-se também os dados da produtividade da soja de cada município do estado do Paraná, proveniente do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018). Sendo que, dos 399 municípios, no ano-safra 2011/2012 não houve dados de produtividade em 38 municípios e no ano-safra 2013/2014 em 29 municípios. Como estes dados de produtividade não era espacialmente o mesmo da grade de pixels dos dados do ECMWF (Figura 1), determinou-se a produtividade para cada EV's, utilizando a seguinte Equação 1:

$$PMP = \frac{\sum_{j=1}^n a_j p_j}{\sum_{j=1}^n a_j} \quad (1)$$

em que *PMP* é a produtividade média ponderada, a_j é a área do município *j* dentro da EV, p_j a produtividade do município *j*, com $j = 1, \dots, n$, sendo *n* o número de municípios dentro da EV, e os municípios sem produtividade foram desconsiderados no cálculo do *PMP*. Temos na

Figura 1 a representação de uma EV, como exemplo, a qual contém um percentual de área de quatro municípios.

Verificou-se as variáveis estudadas apresentavam uma distribuição normal dos dados, por meio do teste Jones (JONES, 1969). Para as variáveis que não apresentaram normalidade, realizou-se as transformações Box-Cox (BOX COX, 1964) e de Johnson (JOHNSON, 2000). Na sequência, realizou-se a análise da distribuição espacial da produtividade e das variáveis agrometeorológicas no DMDV, como também a análise da associação espacial entre a variável produtividade e cada variável agrometeorológicas, por meio do índice I de Moran bivariado.

Na análise dos dados foi utilizado o *software* Action 3.3.2 (ESTATCAMP, 2018) na verificação da normalidade, o *software* Geoda 1.12 (ANSELIN, SYABRI e KHO, 2006) e ArcGis 10.0 (ESRI, 2015) na construção dos mapas e o *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016) para as análises descritivas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A média da produtividade da soja no Paraná nos anos-safra 2011/2012 e 2013/2014 foram de 2,58 e 2,92 t ha⁻¹ respectivamente. A distribuição espacial da produtividade em 2011/2012 (Figura 2a) evidencia que houve maior produtividade nas mesorregiões Centro Oriental, Centro Sul, Sudeste e Campo Gerais, enquanto que ocorreu menor produtividade nas mesorregiões Noroeste, Oeste e Sudoeste.

No ano-safra 2013/2014 houve menor produtividade nas mesorregiões Noroeste, Norte Pioneiro e parte do Norte Central, e as demais mesorregiões apresentaram maior produtividade (Figura 2b). Considerando 5% de significância, verificou que as médias dos anos-safras são estatisticamente diferentes por meio do teste Z (com p-valor<0,05). Nas mesorregiões com maior produtividade, o DMDV no ano-safra 2011/2012 ocorreu no 1º e 2º decêndios de janeiro, enquanto nas regiões com menor produtividade, o DMDV ocorreu nos decêndios de dezembro (Figura 2c).

Para o ano-safra 2013/2014, nas regiões com maior produtividade, o decêndio do DMDV ocorreu (Figura 2d) no 1º e 2º decêndio de janeiro, por outro lado nas regiões com menores produtividade (Figura 2d), ocorreu no 3º decêndio de dezembro e no 1º decêndio de janeiro. Entre os dois anos-safra, verificou-se uma dissimilaridade entre os mapas do DMDV, por meio Exatidão Global (0,35<), Kappa (0,28<) e Tau (0,18<) (CONGALTON, 1991). Observou-se que nos anos-safra 2011/2012 (Figura 2e) e 2013/2014 (Figura 2f) a temperatura média no DMDV foi de 22,23 e 24,01 °C respectivamente. As maiores temperaturas dos dois anos-safras ocorreram nas mesorregiões do Noroeste e Norte Central, sendo que partir dessas mesorregiões, ocorreu uma diminuição gradativa da temperatura em direção à região Sudeste (Figuras 2e e 2f). No ano-safra 2011/2012, houve uma tendência inversa quanto a distribuição espacial da radiação solar (Figura 2g), e da evapotranspiração (Figura 2i) com a precipitação (Figura 2l) e com a produtividade (Figura 2a). Por outro lado, houve em 2011/2012 uma tendência similar na distribuição espacial da produtividade (Figura 2a) com a precipitação (Figura 2l).

Destaca-se a variável radiação no ano-safra 2013/2014, que obteve os maiores valores (0,22 MJ a 0,2 MJ, 65% do estado) em quase todo o estado (Figura 2f). Isto ocorreu também com a evapotranspiração, com valores entre (44 a 59 mm 76,77% do estado). A média da radiação solar foi de 0,24 MJ nos dois anos-safra, e a média da evapotranspiração de 41 mm (2011/2012) e 53 mm 2013/2014. Em 2013/2014 (Figura 2m), as regiões com maior produtividade apresentaram precipitação adequada, de acordo com (EMBRAPA, 2007), de 50 a 195 mm/decêndio com uma média de 54,50 mm.

Por meio do Índice de Moran Global Bivariado (Figura 2e à 2m), obteve-se correlação espacial positiva e significativa apenas entre as variáveis produtividade e precipitação no ano-safra 2011/2012. As demais variáveis agrometeorológicas apresentaram uma correlação espacial negativa e significativa com a produtividade.

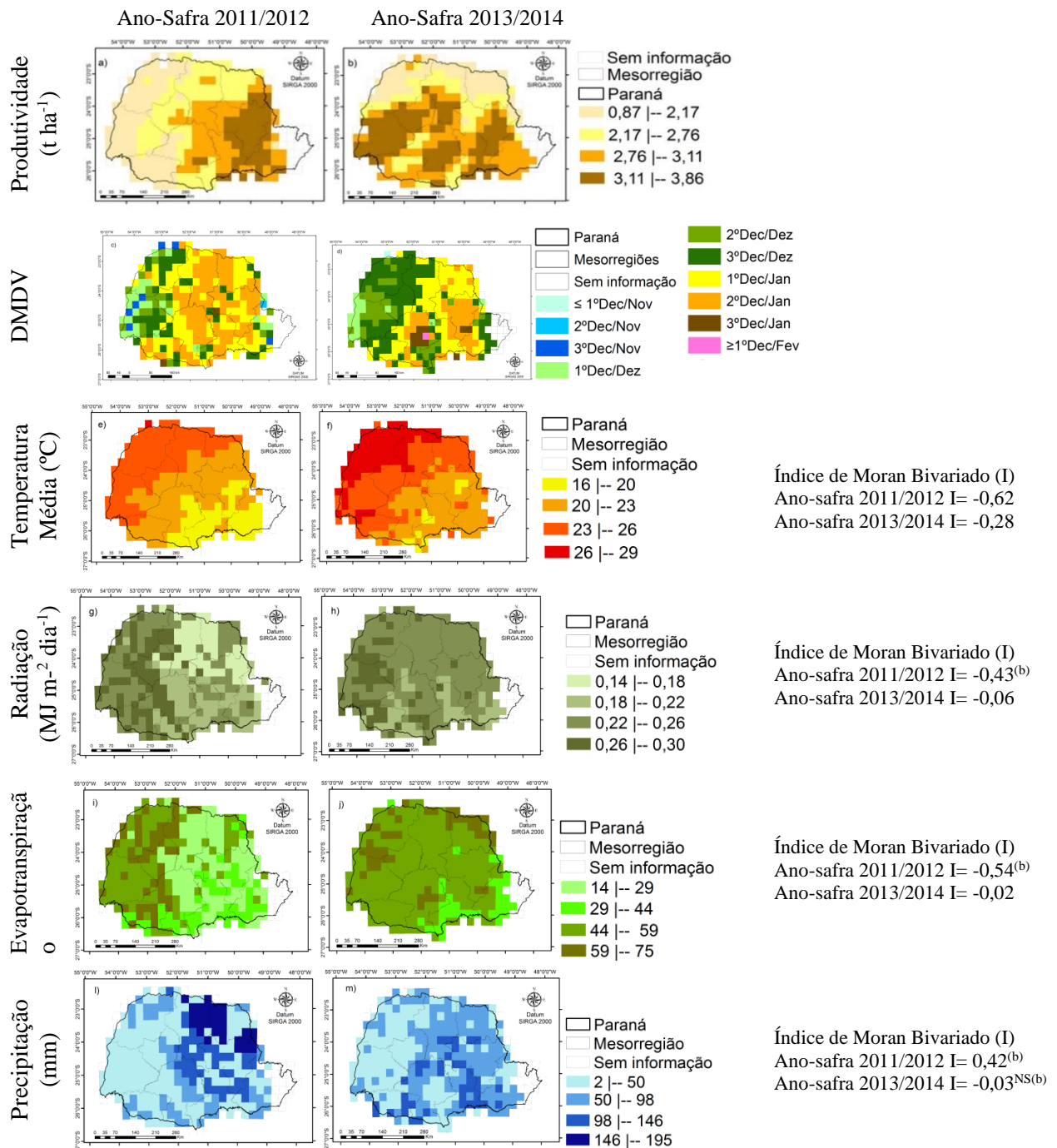


FIGURA 2 Distribuição espacial da produtividade da soja e das variáveis agrometeorológicas no DMDV nos anos-safra em estudo; I=Índice de Moran Global Bivariada entre a variável produtividade e as demais variáveis (teste significativo a 5% de significância); NS: não significativo ($P>0,05$); (b) dados transformados para apresentarem comportamento da distribuição normal.

CONCLUSÕES:

As regiões com maior produtividade apresentaram o DMDV no 1º e 2º decêndios de janeiro como também maiores valores de precipitação, e os menores valores das demais variáveis. Ocorreu uma tendência inversa quanto a distribuição espacial das variáveis radiação solar e evapotranspiração com a precipitação e com a produtividade; e uma tendência similar na distribuição espacial da produtividade com a precipitação.

AGRADECIMENTOS:

A CAPES pelo apoio financeiro e ao laboratório de estatística aplicada (LEA) pelo auxílio computacional.

REFERÊNCIAS:

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements**. Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: FAO, 1998, 301 p.
- ANSELIN, L.; SYABRI, I.; KHO, Y. GeoDa: an introduction to spatial data analysis. **Geographical Analysis**, Columbus, OH, v. 38, n. 1, p. 5-22, 2006.
- BECKER, W. R.; JOHANN, A.; RICHETTI, J. J.; SILVA, L. C. A. Data mining techniques for separation of summer crop based on satellite images. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, n. 4, v. 4, p.750-759, 2017.
- BONATO, E. R. **Estress Soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p. 19-55, 2000.
- CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v.37, n.1, p.35-46, 1991.
- ECMWF – EUROPEAN CENTRE FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECASTS. **Webpage da European Centre for Medium-Range Weather Forecasts**. 2018. Disponível em: <http://spirits.jrc.ec.europa.eu/download/downloaddata/downloadmeteodata/>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- EMBRAPA, **Ecofisiologia da Soja**. Circular Técnica 48, p. 01-08, Londrina, PR, 2007.
- EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil**. 2011. p. 225. n. 14, Londrina- PR, 2010.
- ESTATCAMP. **Software Action. Estatcamp-** Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos, SP, Brasil, 2018.
- ESRI. **ArcGIS for Windows Version 10.3**. License type ArcInfo. ESRI - Environmental Systems Research Institute, 2015.
- GRZEGOZEWSKI, D. M.; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, A. J.; GUEDES, L. P. C. Spatial correlation of soybean productivity, enhanced v vegetation index (EVI) and agrometeorological variables. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.37, n.3, p.541-555, 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFICA E ESTATÍSTICA. **Relatórios metodológicos - Pesquisas Agropecuárias - Departamento de Agropecuária**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

JOHANN, J. A.; BECKER, W. R.; URIBE-OPAZO, M.A; MERCANTE, E. 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. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal. v.3, nº1, p 126-142, 2016.

JONES, T.A. Skewness and kurtosis as criteria of normality in observed frequency distributions. **Journal Sedimentary Petrology**. Colorado, p.1622-1627, 1969.

KLOSOWSKI, E. S. Estimativa da Produtividade de Cultivares de Soja por meio do Modelo Soygro para Londrina, Estado do Paraná. **Revista UNIMAR**, Maringá, v 19, p. 751-765, 1997.

KOPPEN, W. **Climatologia**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2016.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C.; LHAMBY, J. C. B.; BONATO, E. R.; BERTAGNOLLI, P. F. **Sistema tardio de semeadura de soja (STS)**. Circular Técnica Online, 11. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p. 16, 2002.

THOMAS, B. **Photoperiodism**. Vol.1. Coventry, UK: University of Warwick, p. 448-454, 2017.

USDA, U. S. D. OF A. **World Agricultural Production**, 2019. Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf%5Cnhttp://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acessado em 20 fev 2019

WANG, H. et al. International Journal of Infectious Diseases Detecting the association between meteorological factors and hand, foot, and mouth disease using spatial panel data models. **International Journal of Infectious Diseases**, v. 34, p. 66–70, 2015.