

## **IX-092 – MODELAGEM E REGIONALIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO NACIONAL DA CULTURA DA SOJA PARA 2016**

**José Paulo Pereira das Dores Savioli<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Mecânico pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestrando na área de engenharia de manufatura com foco em avaliação sustentável do ciclo de vida de produto no laboratório Gyro, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

**Cássia Maria Lie Ugaya**

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua José Rodrigues Pinheiro, 175, apto 705 – Capão Raso – Curitiba – PR – CEP: 81130-200 – Brasil – Tel: (43) 99188-9072 – e-mail: [jsavioli@alunos.utfpr.edu.br](mailto:jsavioli@alunos.utfpr.edu.br)

### **RESUMO**

A maior demanda hídrica no Brasil vem da irrigação das lavouras, decorrente de seu grande consumo de água e da importância econômica da agricultura no país, sendo neste quesito a soja a cultura de maior impacto na economia. Neste contexto, a falta de dados regionalizados baseados em dados da cultura, áreas plantadas, clima e solo para melhor identificação dos pontos críticos dificulta a melhoria da tomada de decisão quanto ao manejo de recursos hídricos. A modelagem proposta neste trabalho utiliza dados climáticos e da cultura da soja em primeira abordagem e adicionalmente dados do solo de plantio em segunda abordagem para calcular a irrigação desta cultura no país. Os resultados da primeira abordagem apresentam áreas críticas de consumo hídrico para irrigação da soja na região entre o sul do Maranhão a oeste da Bahia, centro-oeste e Rio Grande do Sul, atingindo valores críticos entre 2.7379 e 14.9955 metros cúbicos por segundo em 2016. Já os resultados da segunda abordagem apresentam região crítica no oeste da Bahia, com valores críticos entre 7.7707 e 33.5248 metros cúbicos por segundo em 2016. A comparação entre as abordagens indica que considerar o solo no cálculo da irrigação refina os dados e deixa mais evidente as áreas críticas de demanda hídrica no país.

**PALAVRAS-CHAVE:** Irrigação, Regionalização, Soja, Solo.

### **INTRODUÇÃO**

A irrigação é, segundo o Atlas de Irrigação da Agência Nacional de Águas (ANA), o maior consumo consuntivo da água no país, representando 67,1% do total de água retirada e não devolvida às bacias hidrográficas (ANA, 2017). Ainda pela análise do Atlas, o dado de irrigação não leva em conta as culturas plantadas e as áreas de plantio de cada uma, sendo representado e calculado pelos dados de vazão das micro bacias no país.

Estes fatores, somados à importância econômica da agricultura no país (que representou 23% do PIB em 2016 (CONAP, 2017)), leva à necessidade de estudos que caracterizem o comportamento geográfico da irrigação nacional levando em conta as áreas plantadas, as características climáticas, de cultura e do solo de plantio para identificação de regiões de demanda hídrica mais crítica e consequente trabalho para redução de seu impacto nas bacias hidrográficas.

A soja, como mostrada na Produção Agrícola Municipal (PAM) (IBGE, 2016), é a cultura com maior impacto econômico no país, sendo por isso escolhida para análise neste trabalho.

O método de cálculo da irrigação leva em conta duas abordagens: a geral, que considera apenas os dados de precipitação e evapotranspiração da planta para cálculo (Pfister et. al., 2011) e a proposta do presente estudo, ou abordagem do solo, que inclui a análise das mesmas variáveis com a consideração do solo segundo Frizzzone (2017).

O objetivo deste trabalho é analisar a irrigação da soja no Brasil em 2016, identificar as áreas críticas de demanda hídrica e comparar os resultados obtidos pelas duas abordagens (geral e com solos).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para o trabalho com mapas e georreferenciamento foi utilizado o software QGIS 2.18, sendo os cálculos da irrigação feitos no software Excel.

### IRRIGAÇÃO GERAL:

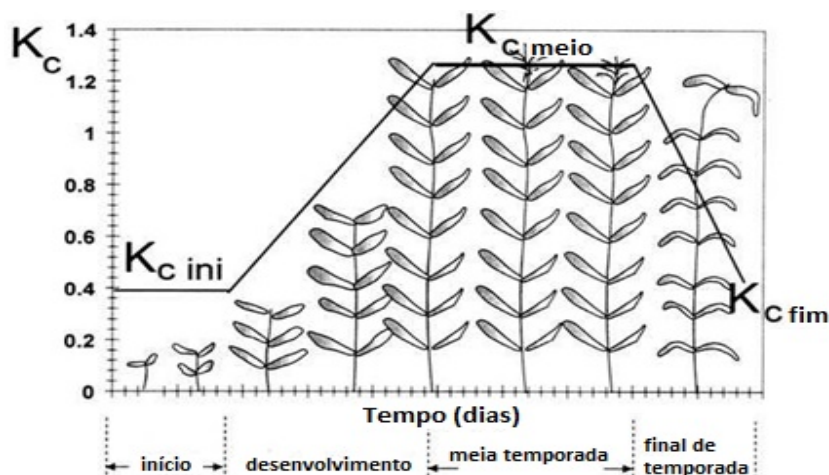
Para modelar a irrigação utilizou-se a abordagem do método apresentado por Pfister et. al. (2011), que utiliza o método CROPWAT, apresentado pela FAO (ALLEN et al., 1998), para calcular a irrigação a nível mundial.

A necessidade hídrica da cultura foi calculada considerando a evapotranspiração da planta, ou seja, sua necessidade de água para desenvolvimento sem sofrer estresse hídrico segundo a equação (1):

$$ET_c = ET_0 * k_c \quad (1)$$

Sendo  $ET_c$  a evapotranspiração da cultura (mm),  $ET_0$  a evapotranspiração de uma cultura de referência (mm) e  $k_c$  o coeficiente de cultura (adimensional).

Esta abordagem permite a caracterização da necessidade hídrica da planta como sendo função de um dado climático independente da cultura (evapotranspiração de referência) e um dado específico do desenvolvimento da mesma (coeficiente de cultura). A relação entre transpiração da planta e evaporação do solo faz com que o coeficiente de cultura seja mutável ao longo do desenvolvimento da planta, como mostra a Figura 1:



**Figura 1: Comportamento do coeficiente de cultura ao longo do desenvolvimento da planta (traduzido do inglês)**

Fonte: Método CROPWAT (ALLEN et al., 1998)

Como é apresentado na Figura 1, usa-se um coeficiente inicial, um de maturação (meio) e um final para estimativa deste dado durante o plantio. Para o cálculo da irrigação necessária para uma dada cultura, utilizou-se a equação (2) do método CROPWAT, que considera a precipitação efetiva como fonte primária de água para a planta:

$$\sum_i IRR_{c,i} = \begin{cases} \sum_i ET_{c,i} - P_{e,i}, & \text{Se } ET_{c,i} > P_{e,i} \\ 0, & \text{Se } ET_{c,i} \leq P_{e,i} \end{cases} \quad (2)$$

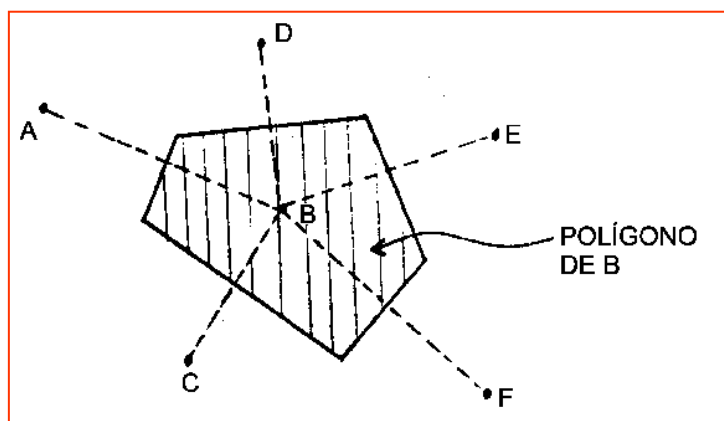
Sendo o índice  $i$  relativo ao mês,  $ET_{c,i}$  a evapotranspiração da cultura no mês  $i$  (mm) e  $P_{e,i}$  a precipitação efetiva no mês  $i$  (mm).

A precipitação efetiva, indicativa da água infiltrada no solo para as plantas, foi calculada seguindo o método do Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (equação 3), que é utilizado pelo CROPWAT em seu software com o mesmo nome:

$$\begin{cases} P_{e,i} = 0,5P - \frac{5}{3} & \text{para } P_i \leq \frac{50}{3} \\ P_{e,i} = 0,7P + \frac{20}{3} & \text{para } P_i > \frac{50}{3} \end{cases} \quad (3)$$

Sendo o índice  $i$  relativo ao mês,  $P_{e,i}$  a precipitação efetiva para o mês  $i$  (mm) e  $P_i$  a precipitação total do mês  $i$  (mm).

Os dados de evapotranspiração de referência e precipitação foram recolhidos do Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO) (SISDAGRO 2018), que conta com dados referenciados em latitude e longitude por dia, sendo convertidos para dados mensais para o cálculo da precipitação efetiva mensal (pela equação 3). O mapeamento destes dados se deu por extrapolação dos mesmos para áreas de efeito seguindo a metodologia dos polígonos de Thiessen (Boots, 1986), que estabelece a interseção das mediatrizes entre um conjunto de dados pontuais como sendo a área de efeito dos mesmos. A Figura 2 é representativa dos



**Figura 2: Representação do método dos polígonos de Thiessen**  
 Fonte: Carneiro, 2017

polígonos:

A extrapolação de valores seguindo os polígonos de Thiessen (Boots, 1996) possibilita que os dados das estações, antes pontuais, cubram uma área onde seu valor é relevante, tornando os dados estacionários da precipitação e evapotranspiração dados georreferenciados e passíveis de serem combinados com outros elementos geográficos.

Os valores de coeficiente de cultura e período de cultivo da soja foram recolhidos de tabelas anexas ao método CROPWAT (ALLEN et al., 1998), sendo referenciados no tempo seguindo seu calendário agrícola da cultura, disponíveis em CONAB (2016-2017). Para maior facilidade nos cálculos, considerou-se que o coeficiente de cultura do mês correspondia ao seu valor no dia 15 do mesmo.

Para consideração das regiões produtoras no Brasil, multiplicou-se a irrigação em milímetros pela área plantada por município, utilizando os valores apresentados pelo IBGE em sua Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2016), para se obter a mesma em metros cúbicos. O dado foi então dividido pelo número de segundos em um ano bissexto (caso de 2016) para se obter a vazão média anual da cultura da soja como representa a equação (4):

$$Vazão_e = \frac{IRR_c * A_c}{31622400} * 10 \quad (4)$$

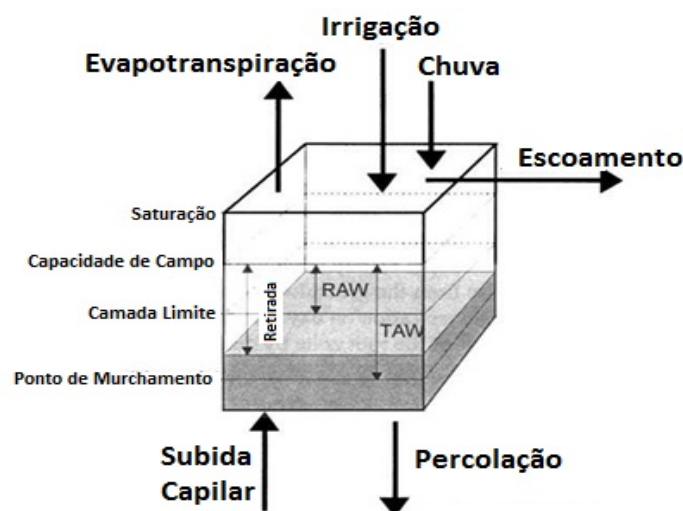
Sendo  $IRR_c$  a irrigação da cultura (mm) e  $A_c$  a área plantada da cultura (ha).

### IRRIGAÇÃO COM CONSIDERAÇÃO DO SOLO:

A inclusão de dados pedológicos (referentes ao solo e suas propriedades) em geral torna o equacionamento da irrigação para grandes escalas muito trabalhosa, principalmente pois sua base temporal é diária e precisa, assim, de grande quantidade de dados. O detalhamento dos dados vindos do mapa pedológico (IBGE, EMBRAPA, 2016) também é determinante no tempo computacional pois, apesar de sua grande escala, as divisões geográficas entre os solos passa de 70000 frações de território.

A metodologia apresentada por Frizzone (2017), que utiliza como base o método CROPWAT, leva em conta as características do solo para modelar a irrigação, sendo o documento escolhido por apresentar um procedimento de cálculo que considera a água necessária para que a planta não sofra estresse hídrico por falta dessa no solo.

Leva-se em conta nesta análise a dinâmica de entrada e saída de água no solo, que pode ser vista na Figura 3:



**Figura 3: Representação do comportamento da água no solo e suas camadas características (traduzido do inglês)**

Fonte: Método CROPWAT (ALLEN et al., 1998)

Esta dinâmica é utilizada para calcular o déficit diário de água no solo, ou seja, a água necessária para se atingir a capacidade de campo do mesmo (limite onde o solo se satura de água e ocorre escoamento) seguindo a equação (5):

$$D_{atual,d} = D_{anterior} - P_{e,d} - IRR_d + ET_{c,d} + DP_d \quad (5)$$

Onde o índice  $d$  é relativo ao dia,  $D_{atual,d}$  é o déficit atual de água no solo no dia,  $D_{anterior}$  é o déficit de água no solo no dia anterior,  $P_{e,d}$  é a precipitação efetiva do dia,  $IRR_d$  é a água irrigada no dia,  $ET_{c,d}$  é a água perdida por evapotranspiração no dia e  $DP_d$  é a água percolada no dia. Todas as unidades estão em milímetros. O termo de subida capilar é considerado negligenciável e o escoamento de água é considerado no termo de percolação (equação 6):

$$DP_d = \begin{cases} P_{e,d} - ET_{c,d} - D_{anterior,d} & , \text{ Se } P_{e,d} \text{ exceder a capacidade de campo} \\ 0 & , \text{ Se } P_{e,d} \text{ não exceder a capacidade de campo} \end{cases} \quad (6)$$

A água disponível no solo é calculada levando em conta a umidade relativa do solo entre sua capacidade de campo e seu ponto de murcha permanente (equação 7), sendo este dado retirado de Pereira et al. (2010) a partir de uma análise de textura dos solos:

$$DTA = 10 * (\theta_{cc} - \theta_{PMP}) \quad (7)$$

Sendo  $DTA$  a disponibilidade total de água no solo ( $mm_{\text{água}}/cm_{\text{solo}}$ ),  $\theta_{cc}$  a umidade volumétrica de água no solo em sua capacidade de campo ( $cm^3_{\text{água}}/cm^3_{\text{solo}}$ ) e  $\theta_{PMP}$  a umidade volumétrica de água no solo em seu ponto de murcha permanente ( $cm^3_{\text{água}}/cm^3_{\text{solo}}$ ).

Para se calcular a água disponível para raiz de uma planta, multiplica-se a disponibilidade pela altura da raiz, que varia entre a profundidade de plantio e sua profundidade máxima ao final do período de desenvolvimento. O cálculo da capacidade de água disponível é dado pela equação (8):

$$CAD_d = DTA * z_d \quad (8)$$

Sendo o índice  $d$  relativo ao dia,  $z_d$  a altura radicular da planta no dia (cm),  $DTA$  a disponibilidade total de água no solo ( $mm_{\text{água}}/cm_{\text{solo}}$ ) e  $CAD_d$  a capacidade de água disponível no dia (mm).

Como a planta consegue absorver apenas parte da água presente no solo em determinada altura, multiplica-se a capacidade de água disponível por um fator menor que 1, tabelado pelo método CROPWAT para diversas culturas. Com isso tem-se o valor da água facilmente disponível dado pela equação (9):

$$AFD_d = CAD_d * f \quad (9)$$

Sendo o índice  $d$  relativo ao dia,  $CAD_d$  a capacidade de água disponível no dia (mm),  $AFD_d$  a água facilmente disponível para a planta no dia (mm) e  $f$  o fator tabelado para cultura (adimensional).

A irrigação é feita neste caso quando o déficit atual de água no solo é maior que a água facilmente disponível, sendo cálculo representado pela equação (10):

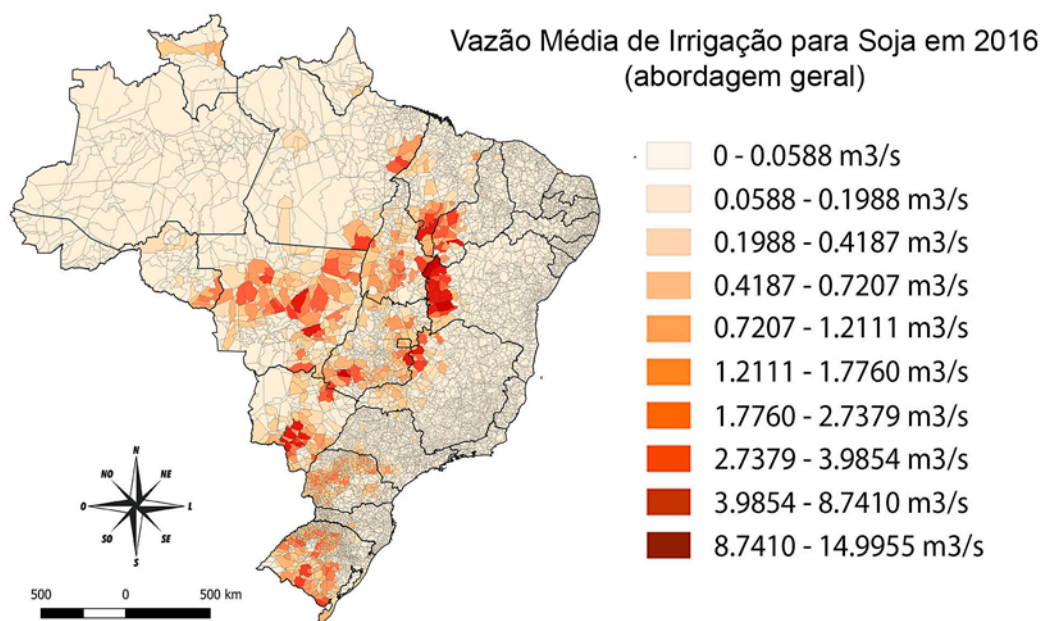
$$IRR_d = \begin{cases} AFD_d & , \text{ Se } D_{\text{atual},d} \geq AFD_d \\ 0 & , \text{ Se } D_{\text{atual},d} < AFD_d \end{cases} \quad (10)$$

Os dados para análise do solo foram recolhidos do mapa pedológico do Brasil e seu banco de dados disponibilizado pelo IBGE (IBGE, EMBRAPA 2016).

Assim como feito na abordagem geral, utilizou-se a equação (4) para calcular a vazão média anual de água para a abordagem com solo.

## RESULTADOS

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos em vazão média de água para a abordagem geral da irrigação da soja em 2016 no Brasil:



**Figura 4: Vazão média de irrigação para Soja em 2016 em metros cúbicos por segundo seguindo a abordagem geral (consideração da evapotranspiração e precipitação)**  
(FONTE: Autoria própria)

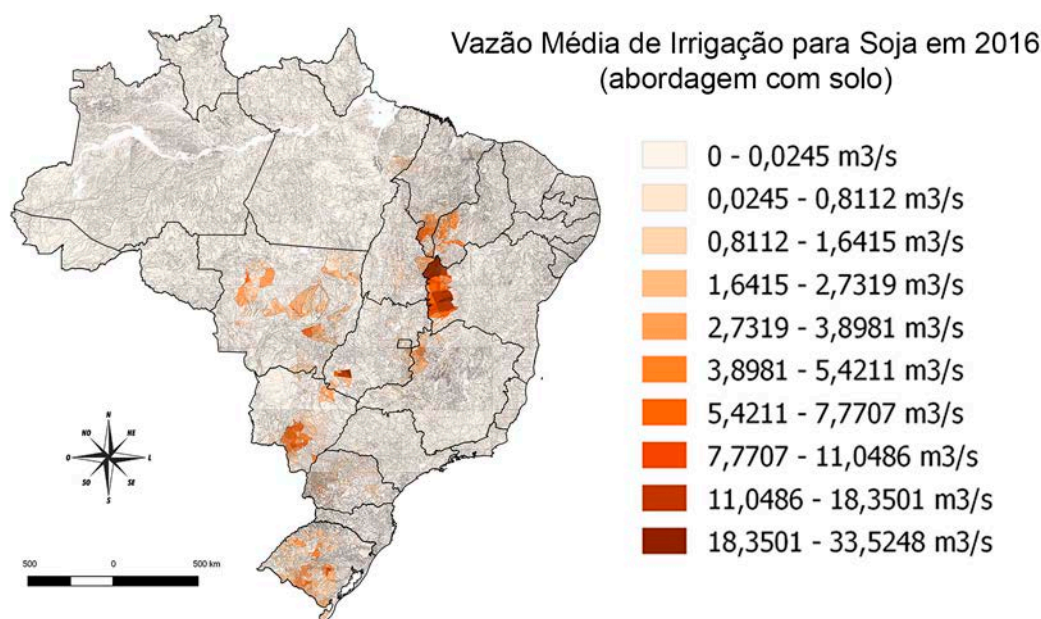
O mapa apresenta diversas áreas com grande necessidade de irrigação, em principal as área do sul do Maranhão ao sudoeste da Bahia, onde se apresentam as maiores vazões necessárias para irrigação da soja, as áreas centrais do Mato Grosso, sul do Mato Grosso do Sul, áreas plantadas no Rio Grande do Sul, áreas no noroeste de Minas Gerais e áreas plantadas no sul de Goiás (como destacado no mapa).

O módulo da vazão se torna crítico para valores acima de 2.7379 metros cúbicos por segundo, onde os resultados divergem dos representados por cores mais neutras no mapa, chegando ao valor de aproximadamente 15 metros cúbicos por segundo no caso mais crítico.

Apesar de áreas com altas necessidades hídricas se acumularem em áreas maiores, a falta de precipitação foi um fator determinante para casos mais críticos, levando a irrigação a valores maiores e caracterizando áreas produtoras com maior necessidade hídrica.

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos em vazão média de água para a abordagem com solo da irrigação da soja em 2016 no Brasil:





**Figura 5: Vazão média de irrigação para Soja em 2016 em metros cúbicos por segundo seguindo a abordagem com solo (consideração da evapotranspiração, precipitação e solo de plantio) (FONTE: Autoria própria)**

O mapa concentra a área mais crítica para irrigação no oeste da Bahia (como destacado no mapa), indicando que esta é a área onde há maior necessidade hídrica para soja no país. Isto é decorrente do melhor detalhamento das áreas e da maior regionalização dos dados, considerando mais fatores determinantes no processo de cálculo.

O módulo da vazão é maior que o apresentado na Figura 4, apresentando valores críticos na faixa entre 7.7707 metros cúbicos por segundo até o valor máximo de 33.5248 metros cúbicos por segundo. Esse resultado indica que a consideração do solo deixa mais evidente áreas com valores mais críticos, aumentando o valor de sua necessidade hídrica por um módulo maior que as outras áreas produtoras.

A comparação entre as Figuras 4 e 5 deixa evidente que há uma concentração maior dos dados da abordagem com solo para a geral, melhorando a visualização das áreas com maior necessidade de atenção quanto ao consumo hídrico da cultura.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A demanda hídrica para irrigação da soja no país concentra-se no oeste da Bahia, centro-oeste e Rio Grande do Sul, destacando-se como área crítica o oeste da Bahia na abordagem com solo.

Os valores críticos de vazão variaram em torno de 40% nas duas abordagens (geral e com solo), sendo a abordagem com solo a que resultou em maiores valores.

A abordagem com solo apresentou resultados mais concentrados e uma caracterização melhor das áreas críticas, indicando que o solo é fator determinante para a análise de irrigação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA - Agência Nacional de Águas. Atlas Irrigação – Uso da Água Irrigada no Brasil. Brasília: ANA, 2017. 86 p.
2. ALLEN, R. G. et al. Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>> Acesso em: 27 set. 2017.
3. BOOTS, B. N. Voronoi (Thiessen) Polygons. Geo Books, 1986.
4. CARNEIRO, M.I.M. Estimativas – Método dos polígonos de Thiessen. Disponível em: <<http://www.hidro.ufcg.edu.br/wiki/pub/Disciplinas/HidrologiaAplicada/Estimativasthiessen-classeA-thornt.ppt>>. Acesso em: 31 de outubro de 2017.
5. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – Safra 2016/2017. Brasília, v.4, p. 1-164, 2016-2017.
6. CONAB - Confederação da Agricultura e Pecuária Do Brasil. **PIB e Performance do Agronegócio**. Disponível em: <[http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/02\\_pib.pdf](http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/02_pib.pdf)>. Acesso em: 28 out. 2017.
7. FRISCHKNECHT, R.; JOLLIET, O. Global guidance for life cycle impact assessment indicators. Publication of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, Paris, DTI/2081/PA, ISBN, p. 978-92, 2016.
8. FRIZZONE, J.A. Necessidade de Água para Irrigação. p. 1-56, 2017.
9. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mapa da Pedologia do Brasil. 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-ambientais/pedologia.html>> Acesso em: 30 ago. 2018.
10. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal - Culturas Temporárias e Permanentes. Rio de Janeiro, v. 43, p.1-62, 2016.
11. PEREIRA, L.S.; VALERO, J.A.J.; BUENDÍA, M.R.P.; MARTÍN-BENITO, J.M.T. El riego e sus tecnologías. Albacete: CREA-UCLM, 2010, 296p.
12. PFISTER, Stephan *et al.* Environmental Impacts of Water Use in Global Crop Production: Hotspots and Trade-offs with Land Use. Environmental Science & Technology, v. 45, n. 13, p. 5761-5768, 2011.
13. SISDAGRO – Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária. Disponível em: <<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/climatologia/bhclimatologicomensal/index>> Acesso em: 30 ago. 2018