



# Simulação da pegada hídrica da soja no Mato Grosso baseada em projeções de mudanças climáticas

Giulia Vitória Simioni Dias<sup>1</sup>, Evandro Henrique Figueiredo Moura da Silva<sup>1</sup>, Luis Alberto Antolin<sup>1</sup>, Nilson Aparecido Vieira Junior<sup>1</sup> e Fábio Ricardo Marin<sup>1(\*)</sup>

<sup>1</sup>Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP). Avenida Pádua Dias, 11, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. E-mails: giulia.dias@usp.br, ehfmsilva@gmail.com, antolin.luis@gmail.com, nilsonvieirajunior@usp.br e fabio.marin@usp.br (\*)

(\*) Autor para correspondência.

## INFORMAÇÕES

### História do artigo:

Recebido em 13 de setembro de 2019

Aceito em 4 de março de 2020

### Termos para indexação:

*Glycine max* (L.) Merrill  
modelagem  
produtividade futura da água  
mudanças climáticas

## RESUMO

O consumo de água doce pela agricultura equivale a 70% da água doce no mundo (FAO, 2012), esse fato aliado a evidência das mudanças climáticas e ao crescimento populacional para as próximas décadas, torna-se importante a quantificação do uso de água na irrigação para conciliar o aumento da produção com a mínima pressão sobre os mananciais. Para essa mensuração, é utilizado a metodologia da pegada hídrica (Hoekstra et al., 2011), que é composta pelo componente azul, verde e cinza. Este trabalho avaliou o uso futuro da água na irrigação de soja no Mato Grosso, quantificando a pegada hídrica azul ( $PH_{azul}$ ) baseado em projeções de mudanças climáticas usando o modelo agrícola DSSAT/CROPGRO-Soybean. As simulações não apresentaram grande variação da  $PH_{azul}$  em relação a atual, a menor variação foi da zona edafoclimática homogênea (ZH) de Nova Mutum, onde variou  $27 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$ , entre o cenário 1 e o 6 e a maior variação foi de Primavera do Leste, com variação de  $81,2 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$  entre o cenário atual e o 6. Esse resultado pode ser explicado pela manutenção da produtividade da soja nas ZH estudadas, onde a maior variação registrada foi de -1,6% e pela diminuição da evapotranspiração em 6,5%.

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

## Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta oleaginosa pertencente à família das Fabaceae, é uma das culturas mais importantes mundialmente para a produção de óleo e proteína (FAO, 2018). A produção mundial corresponde a cerca de 337 milhões de Mg do grão (USDA, 2018) e cerca de 35% é produzido em território nacional (CONAB, 2018). Atualmente, a região Centro-Oeste produz quase meta-

de da produção nacional de soja, sendo o estado do Mato Grosso produtor de equivalente a 27% da produção nacional (CONAB, 2018).

Entre 2000 e 2017, a região do Mato Grosso teve sua área de cultivo aumentada em 200% (CONAB, 2001 e 2018). Segundo dados da USDA (2002, 2018), a agricultura mundial seguiu a mesma tendência, a área cultivada com soja de 2000/01 para 2017/18 sofreu um aumento de 60%. Segundo a FAO (2014), esse aumento da área cultivada deveu-se,

principalmente, ao aumento populacional mundial de 70 milhões de pessoas por ano e, se esse ritmo for mantido, a estimativa é que no ano de 2050, a população mundial esteja em torno de 9 bilhões de pessoas (FAO, 2014). Para atender à crescente demanda de alimento, em 2050, será necessário ter aumentado em pelo menos 60% da produção atual de alimentos (FAO, 2014). Esse fato, aliado a evidência dos impactos das mudanças climáticas para o mesmo período resultará na disputa pelo uso de recursos naturais, como terras aráveis e água (Schwantes, 2017). Devido a esses fatores, esse assunto tornou-se de alta relevância no meio técnico-científico, resultando em estudos que prospectem manejos que resultem em uma produção de alimentos suficiente para alimentar a população mundial em 2050.

Uma das opções para adaptação da agricultura ao clima futuro é a irrigação. Atualmente o setor agrícola possui grande parcela no uso da água doce, segundo a FAO (2012), cerca de 70% da água no doce no mundo é destinada ao seu uso. No contexto do Brasil, atualmente 6,95 milhões de hectares estão equipados com irrigação (ANA, 2017), desse total, cerca de 14,7% da área total de pivôs centrais com outorgas válidas da Agência Nacional de Águas (ANA) corresponde a cultura da soja. Segundo estudos da ANA, a soja irrigada apresenta potencial de incremento significativo mesmo em condições climáticas ideais. A irrigação tem se mostrado ser viável economicamente devido aos ganhos expressivos de produtividade e minimização de riscos climáticos, como veranicos. Com um incremento de 11% no uso de água para irrigação, poderá aumentar-se em até 70% a produção de alimentos (Turrall et al., 2011).

Nesse contexto, várias pesquisas acerca da eficiência do uso da água na agricultura vêm sendo conduzidas a fim de aumentar a produção agrícola com o menor uso dos recursos hídricos disponíveis. Diante disso, têm se tornado frequente estudos avaliando a pegada hídrica das nações (Chapagain & Hoekstra, 2004) e de produtos agrícolas (De Boer et al., 2013; Figueirêdo et al., 2014; Mekonnen & Hoekstra, 2011 e 2012; Pfister et al., 2009; Pfister et al., 2011; Ridoutt & Pfister, 2012).

O conceito de pegada hídrica tem sido empregado nas últimas décadas como um importante indicador do uso da água pela humanidade. Segundo Hoekstra et al. (2011), a pegada hídrica é definida como um parâmetro indicativo da apropriação do recurso renovável água, esse considera o volume de água utilizado ao longo da produção de um determinado produto. É uma importante medida do volume de água consumido por fonte e os volumes de poluição, e dessa maneira, pode-se avaliar a sustentabilidade ambiental e definir estratégias de resposta e manejo dessa pegada hídrica.

Segundo Mekonnen & Hoekstra (2012), a média anual da pegada hídrica mundial do período de 1996 a 2005 corresponde a  $9.087 \text{ Gm}^3 \text{ ano}^{-1}$ , sendo que 92% é devido ao con-

sumo de água pela agricultura. A maior fração de consumo é pela cadeia produtiva dos cereais (27%), seguido pela carne bovina (22%) e produtos lácteos (7%).

Considerando o método para a quantificação do volume de água relativo no setor agrícola (Hoekstra et al., 2011), é importante avaliar a pegada hídrica durante o processo de crescimento e desenvolvimento das culturas. Existem três métodos para o cálculo de pegada hídrica, decorrente da fonte de consumo de água: (a) a pegada hídrica azul, o consumo de água superficial ou subterrânea, posteriormente estocada em reservatórios superficiais e subterrâneos e utilizada em processos de produção na irrigação de culturas; (b) a pegada hídrica verde, o consumo de água proveniente da chuva, disponível e aproveitada para o desenvolvimento das plantas; (c) a pegada hídrica cinza, a água utilizada para diluir a carga de poluentes.

Para a quantificação da pegada hídrica com base na eficiência produtiva da soja em cenários de mudanças climáticas futuras, uma opção é a simulação da produtividade e evapotranspiração por meio de modelos agrícolas. Tais modelos, por definição, são essencialmente teóricos e derivam de um conjunto de teoremas formulados a partir de premissas ou postulados que buscam estreitar problemas complexos (Chiang & Wainwright, 2006; Popper, 2010). A utilização de ferramentas de modelagem na agricultura é cientificamente aceita para analisar os impactos da mudança climática na agricultura (Rosenzweig et al., 2014). Esta proposta de estudo vale-se do arcabouço conceitual desenvolvido na linha da modelagem baseada em processos mecanísticos; tais modelos precisam respeitar uma determinada ordem de processos e suas respectivas propriedades, induzindo variáveis extras em diferentes níveis, desde agregados bioquímicos a órgãos vegetais (Marin, 2014). Thornley & Johnson (1990) esclarecem que modelos mecanísticos, quando aplicados na pesquisa científica, são mais detalhados e melhor representam os sistemas biológicos e, assim, tendem a apresentar resultados que explicam melhor a realidade. Definindo-se adequadamente as condições de contorno do sistema no qual se aplica o modelo, pode-se alcançar com boa dose de exatidão as variáveis de interesse numa cultura agrícola: área de folhas, índice de área foliar, massa de grãos e teor de proteína, por exemplo.

Especificamente para a cultura da soja, o DSSAT/CROPGRO-Soybean é um importante modelo baseado em processos ecofisiológicos. Esse modelo fundamenta-se na modelagem baseada em processos de desenvolvimento da soja, como fenologia, desenvolvimento do dossel, acumulação de biomassa, crescimento de raízes e estresse hídrico (Jagtap & Jones, 2002). A partir de dados climáticos e da disponibilidade hídrica, simula-se o desenvolvimento da cultura e sua produtividade da água. Esses modelos são utilizados no meio científico para a analisar e quantificar

os impactos das mudanças climáticas na agricultura (Asseng et al., 2013), o que pode ser utilizado para a criação de cenários agrícolas futuros da soja, anteceder sua vulnerabilidade e oferecer subsídios tecnológicos para o setor (Silva, 2018).

No contexto do Brasil, tendo em vista que a soja possui grande relevância na produção de alimentos mundialmente, torna-se iminente considerar a cultura no debate internacional de mudanças climáticas e do uso racional da água. Para isso, no presente trabalho calculou-se a pegada hídrica azul das regiões mais produtoras do Mato Grosso, considerando os cenários de mudanças climáticas e aspectos fisiológicos da planta pelo modelo de crescimento DS-SAT/CROPGRO-Soybean.

## Material e métodos

### Geração de Cenários Futuros

Considerou-se grupo de maturação relativa mais representativos para a área produtora de soja no estado do Mato Grosso. Para a geração de cenários agrícolas futuros para a cultura da soja, foi adotado o conceito de zonas edafoclimáticas homogêneas para a região de interesse. Zonas edafoclimáticas homogêneas (ZH) são determinadas pela metodologia descrita por van Wart et al. (2013) e baseiam-se em um modelo matemático de matrizes.

Para a delimitação dessas áreas os municípios produtores foram identificados por meio de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), baseando-se na produção do período de 2010 a 2015. No presente trabalho delimitou-se as ZH das áreas produtoras de soja do estado do Mato Grosso como: Alta Floresta, Alto Garças, Campo Novo do Parecis, Canarana, Colniza, Nova Mutum, Primavera do Leste, Rondonópolis, Santo Antônio do Leste e Sorriso no estado do Mato Grosso.

### Cenários de Mudanças Climáticas

A geração de cenários de mudanças climáticas baseou-se na metodologia descrita pelo projeto *Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project* (AgMIP). Esse projeto utiliza projeções futuras de concentrações de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para criação de cenários futuros, os RCP's (*Representative Concentration Pathway*).

As zonas edafoclimáticas homogêneas e os GCM's, do inglês, *General Circulation Model*, são disponíveis com base em três níveis de incremento: o GCM de menor, mediano e o de maior incremento de temperatura média para cada ZH. Foram selecionadas duas projeções de concentração de CO<sub>2</sub>, a RCP 4.5 e a RCP 8.5, assim, pode-se compará-las com a série climática atual.

O RCP 4.5 assume a taxa de concentração de CO<sub>2</sub> em torno de 650 ppm e com o forçamento radiativo de 4,5 W m<sup>-2</sup>. (Thomson et al., 2011). Para esse trabalho, foi considerado

a concentração de CO<sub>2</sub> em torno de 526 ppm (Smith & Wigley, 2006; Wise et al., 2009). O RCP 8.5 é composto por uma concentração de CO<sub>2</sub> maior que 1370 ppm e com forçamento radiativo de 8,5 W m<sup>-2</sup> (Riahi et al., 2011). Considerando a concentração para o ano de 2050, foi adotado a concentração de 628 ppm (Riahi & Nakicenovic, 2007).

Com base no descrito anteriormente, definiram-se seis cenários de mudanças climáticas: (a) Cenário 1, RCP 4.5 e GCM com menor incremento de temperatura do ar; (b) Cenário 2, RCP 4.5 e GCM com incremento mediano de temperatura do ar; (c) Cenário 3, RCP 4.5 e GCM com maior incremento de temperatura do ar; (d) Cenário 4, RCP 8.5 e GCM com menor incremento de temperatura do ar; (e) Cenário 5, RCP 8.5 e GCM com incremento mediano de temperatura do ar; (f) Cenário 6, RCP 8.5 e GCM com maior incremento de temperatura do ar.

### Caracterização dos Solos Predominantes

Para as simulações no modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean foi necessário a inclusão de perfis de solos para as diferentes ZH determinadas, dessa maneira, os perfis predominantes em cada zona serão baseados na análise regional a partir de mapas de solos oriundos do Projeto Radam Brasil (RadamBrasil, 1973).

### Descrição do Modelo

O modelo agrometeorológico DSSAT/CROPGRO-Soybean baseia-se em processos dinâmicos para a simulação de produtividade da cultura da soja com base em dados climáticos e hidrológicos. O CROPGRO considera os parâmetros físicos-hídricos do solo e os dados diários de radiação solar (MJ.m<sup>-2</sup>), temperatura máxima e mínima do ar (°C), precipitação (mm) e irrigação (mm) (Boote, et al., 1998).

Para o cálculo da pegada hídrica azul do processo de produção da soja, obteve-se para cada cenário de mudança climática como variável de saída do modelo a evapotranspiração ao longo do ciclo, em mm dia<sup>-1</sup> e a produtividade da cultura, em Mg ha<sup>-1</sup>.

### Cálculo da Pegada Hídrica

A pegada hídrica total de um produto agrícola, no caso o grão da soja, é composto pela soma dos componentes verde, azul e cinza (Hoekstra et al., 2011):

$$PH_{\text{proc}} = PH_{\text{proc, verde}} + PH_{\text{proc, azul}} + PH_{\text{proc, cinza}} [\text{volume/massa}] \quad (1)$$

Os cálculos de pegada hídrica são expressos em m<sup>3</sup> Mg<sup>-1</sup> (equivalente a litro kg<sup>-1</sup>).

Conforme descrito por Hoekstra et. (2011), a quantificação da pegada hídrica azul refere-se à evapotranspiração da água utilizada na irrigação, excluindo a evaporação da água de reservatórios artificiais para armazenamento de

água para irrigação.

A pegada hídrica azul foi calculada como o componente azul da Demanda Hídrica da Cultura ( $DHC_{azul}$ ,  $m^3 ha^{-1}$ ) dividida pela produtividade da cultura ( $Prtv$ ,  $Mg ha^{-1}$ ):

$$PH_{proc, azul} = \frac{DHC_{azul}}{Prtv} [volume/massa] \quad (2)$$

O componente azul da Demanda Hídrica da Cultura ( $DHC$ ,  $m^3 ha^{-1}$ ) foi calculado considerando o consumo diário da água aplicada na irrigação com base na evapotranspiração diária acumulada ( $ET$ ,  $mm/dia$ ), durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento da cultura (Hoekstra et al., 2011).

$$DHC_{azul} = 10 \cdot \sum_{d=1}^{pdc} ET_{azul} [volume/área] \quad (3)$$

em que  $ET_{azul}$  é a evapotranspiração da água azul, o fator 10 converte a altura de água de milímetros para  $m^3 ha^{-1}$  e o somatório é feito desde do dia do plantio da cultura ( $d=1$ )

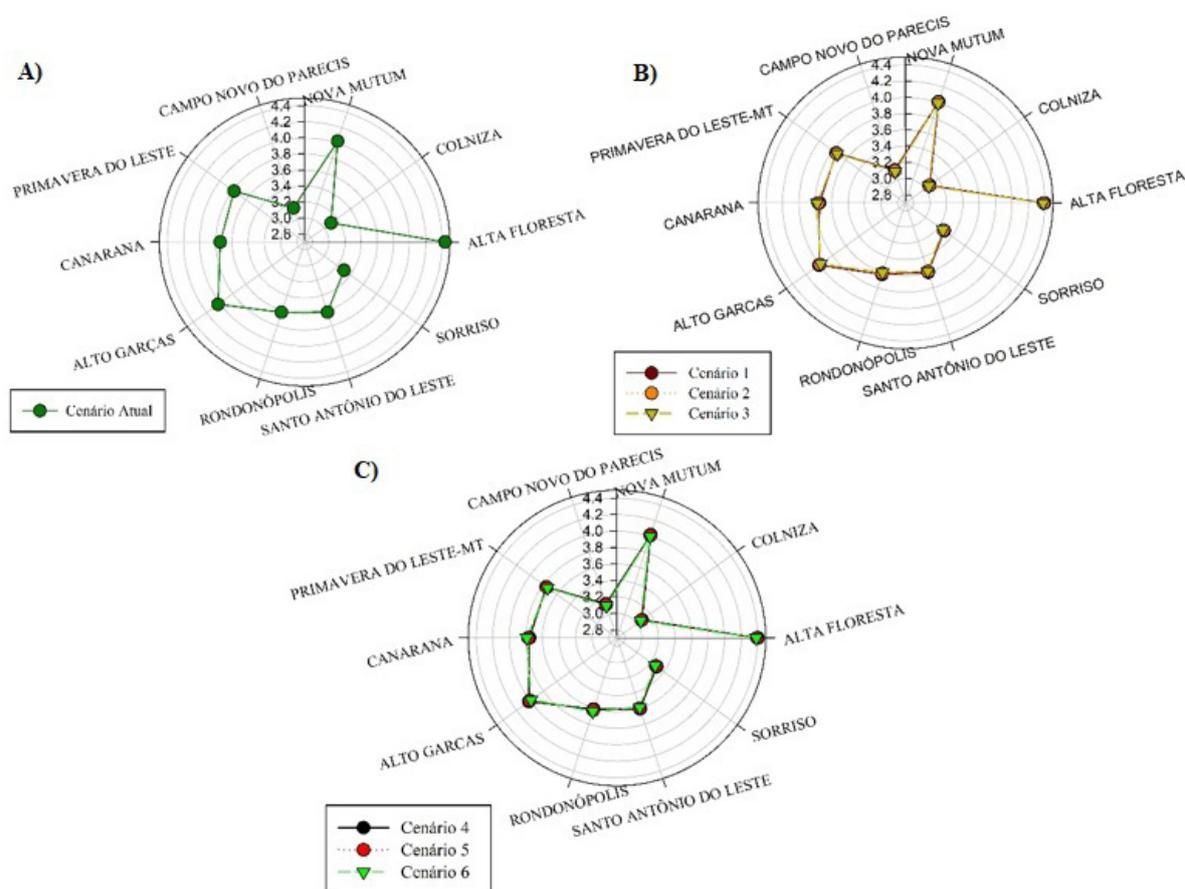
até o momento da colheita ( $pdc$  refere-se à duração do desenvolvimento da cultura, em dias).

## Resultados e discussão

As variações da produtividade da cultura da soja dos cenários de mudanças climáticas na projeção RCP 4.5 e na 8.5, em comparação a atual podem ser visualizadas na Figura 1. Nela, observa-se que as produtividades nas zonas estudadas não obtiveram grande variação em relação ao cenário atual. A maior variação foi de -1,6% para a zona representada por Colniza, entre o cenário atual e o cenário 3. Indicando que os impactos da mudança climática podem não alterar a dinâmica produtiva da soja no Mato Grosso.

Tais resultados podem ser comparados aos obtidos por Silva et al. (2017), onde simulações com incremento de temperatura e com acréscimo de na concentração de  $CO_2$  indicaram um incremento na produtividade da soja de 35 a 46%. Outros trabalhos como de Curry et al. (1995) e Silva (2018) mostraram a mesma tendência fisiológica da soja, onde o rendimento de sementes aumentou com o enrique-

Figura 1. Produtividade da soja ( $Mg ha^{-1}$ ) nos cenários de mudança Climáticas, RCP 4.5 e 8.5 com incrementos variados de temperatura, em comparação ao cenário atual em diferentes zonas edafoclimáticas homogêneas do Mato Grosso.



cimento de CO<sub>2</sub> devido principalmente a um aumento no número de sementes (Baker et al.,1989). Com base no exposto, sugere-se que a produção da soja no estado do Mato Grosso não seria afetada negativamente pelas mudanças climáticas, no caso do resultado obtido a produtividade ao longo das décadas seria constante.

A manutenção da condição de produtividade pode ser explicada pelo aumento da concentração de CO<sub>2</sub> e de temperatura. Segundo Long et al. (2006), o fato se deve ao aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico em projeções futuras, esse incremento possui efeito fertilizante nas condições atuais de cultivo. A premissa desse efeito se deve ao fato das culturas com metabolismo C<sub>3</sub> responderem diretamente ao aumento de CO<sub>2</sub> pela fotossíntese e condutância estomática. Assim como descrito por Long et al. (2004), um aumento na concentração de CO<sub>2</sub> de 380 ppm para 550 ppm implicaria em plantas C<sub>3</sub> em um incremento de até 38% em sua fotossíntese. Dessa maneira, o aumento dessa concentração compensaria as perdas produtivas ocasionada pelas mudanças climáticas (Long et al., 2006).

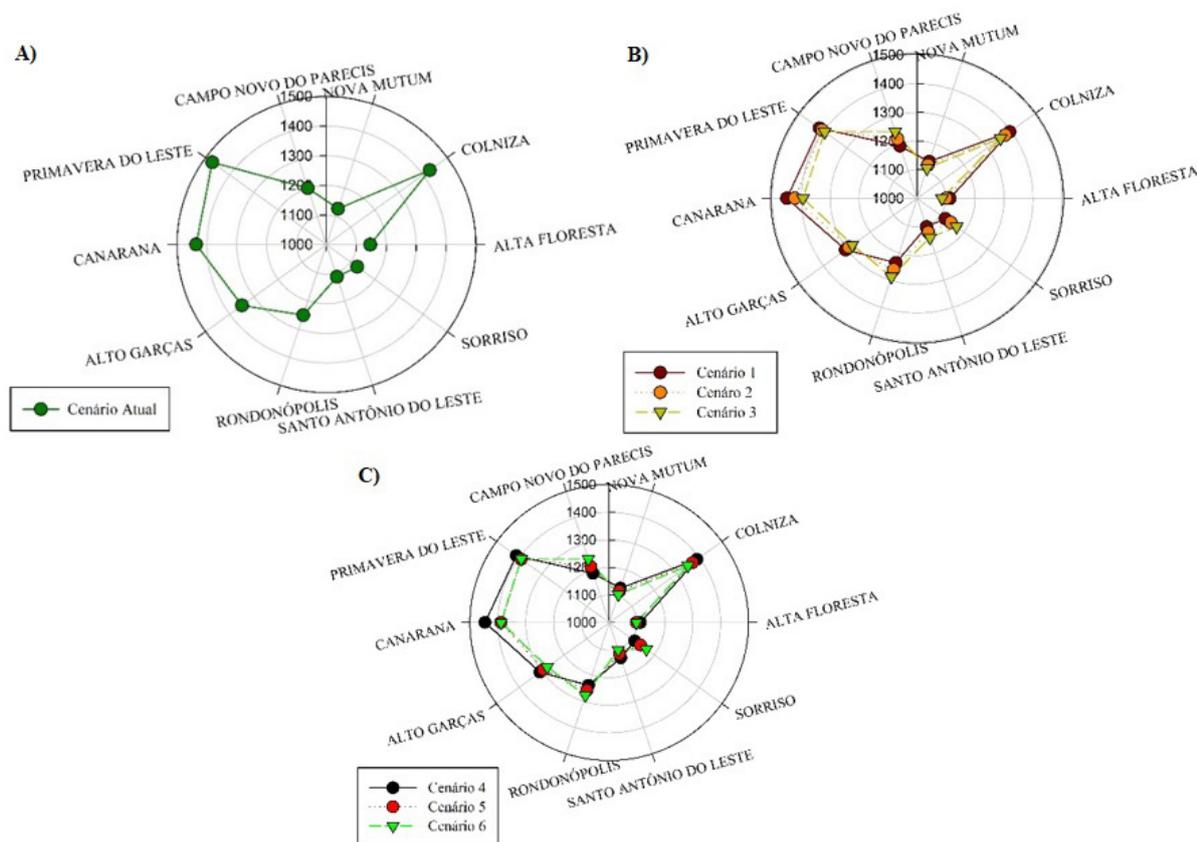
Em relação às projeções futuras da PH<sub>azul</sub>, essas variam

de intensidade de acordo com a RCP e as características climáticas das zonas. Como pode ser observado na Figura 2, onde são exibidas a pegada hídrica azul projetada para o ano de 2050 sob RCP 4.5 e 8.5, em comparação ao cenário atual, para as zonas edafoclimáticas homogêneas representadas pelas localidades de Colniza, Nova Mutum, Campo Novo do Parecis, Primavera do Leste, Canarana, Alto Garças, Rondonópolis e Alta Floresta no estado do Mato Grosso.

Conforme pode ser visualizado na Figura 2, a PH<sub>azul</sub> atual de Santo Antônio do Leste de 1114,8 m<sup>3</sup> Mg<sup>-1</sup> é a menor dentre as ZH estudadas, com projeções para o ano de 2050 apresenta a menor PH<sub>azul</sub> no cenário 6 com 1104,4 m<sup>3</sup> Mg<sup>-1</sup> e a maior PH<sub>azul</sub> no cenário 3 com 1143,9 m<sup>3</sup> Mg<sup>-1</sup>. A PH<sub>azul</sub> atual de Primavera do leste de 1471,4 m<sup>3</sup> Mg<sup>-1</sup> foi a maior dentre as ZH estudada. Nas projeções para o ano de 2050, apresentou uma PH<sub>azul</sub> menor no cenário 6 com 1390,2 m<sup>3</sup> Mg<sup>-1</sup> e uma PH<sub>azul</sub> maior no cenário 1, com 1416,1 m<sup>3</sup> Mg<sup>-1</sup>.

A PH azul projetadas através do modelo DSAT/CROP-GRO-Soybean foram decrescentes para a ZH de Primavera do Leste, Colniza, Nova Mutum, Alta Floresta, variando em

**Figura 2.** Pegada hídrica azul (m<sup>3</sup> Mg<sup>-1</sup>) da soja nos cenários de mudança Climáticas, RCP 4.5 e 8.5 com incrementos variados de temperatura, em comparação ao cenário atual em diferentes zonas edafoclimáticas homogêneas do Mato Grosso.



intensidade conforme o cenário de mudança climática. As ZH que apresentaram  $PH_{azul}$  crescente foram Canarana, Rondonópolis, Campo Novo do Parecis, Sorriso e Santo Antônio do Leste. Dentre essas zonas estudadas, a que obteve menor variação entre o cenário atual e os de mudanças climática foi Nova Mutum, onde a pegada hídrica variou  $27 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$ , entre o cenário 1 e o cenário 6 e a que obteve maior variação foi a de Primavera do Leste, onde a PH variou  $81,2 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$  entre o cenário climático atual e o cenário 6.

As projeções não indicaram grandes alterações na pegada hídrica da soja na ZH estudada. A partir disso, pode-se sugerir que esse resultado é devido aos componentes da  $PH_{azul}$ , onde calculou-se com base na produtividade e na evapotranspiração. Como discutido anteriormente a produtividade não possui uma diminuição expressiva, mantendo-se constante com uma pequena variação; a evapotranspiração segue o mesmo padrão, manteve-se estável entre os cenários de mudanças climáticas estudadas. A maior variação de evapotranspiração foi para a zona de Alto Garças, com uma variação de  $-6,5\%$  entre o cenário atual e o cenário 3. Como pode ser visualizado na Figura 3 abaixo. Essa ZH apresentou uma variação máxima de  $-1\%$  em sua produtividade entre o cenário atual e o cenário 6, sua pegada hídrica variou  $-5,5\%$  entre esses mesmos cenários. Indicando que nesse caso a redução da evapotranspiração implicou em uma redução na  $PH_{azul}$ . O mesmo ocorre nas outras ZH estudadas, onde a manutenção ou redução da pegada hídrica em cenários de mudanças climáticas em relação à atual pode ser explicada pelo mesmo princípio.

De maneira geral, o pequeno acréscimo da pegada hídrica azul observado pode ser comparado com os obtidos por Silva (2018), onde fora observado um crescimento na

$PH_{azul}$  da soja mais acentuado que os outros componentes. Isso pode ser explicado pelas principais causas prováveis desse aumento, como aumento da temperatura e diminuição da precipitação para as próximas décadas. Além disso, a referida autora indica que para manutenção da sustentabilidade da cultura da soja, será necessária mais água para irrigação do que a utilizada atualmente. Esses resultados também podem ser comparados ao de Sun et al. (2012), fatores relacionados a mudanças climáticas na China, sob condição de irrigação implicaram em uma tendência de diminuição da evapotranspiração da cultura e aumento na necessidade de água para a irrigação.

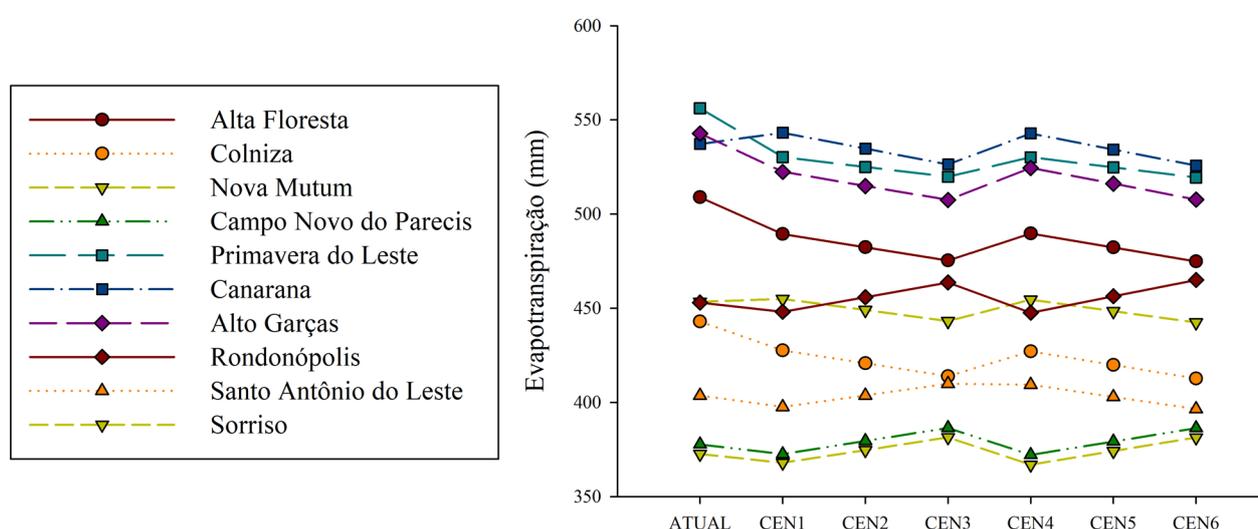
### Conclusão

A partir dos resultados desse trabalho, conclui-se que a quantificação da pegada hídrica azul em simulações obtidas a partir do modelo agrícola DSSAT/CROPGRO-Soybean para a cultura da soja no estado do Mato Grosso em cenários de mudanças climáticas não apresentam grande variação em relação a atual. Esse resultado pode ser explicado pela manutenção da produtividade da soja em zonas edafoclimáticas homogêneas em relação àquela obtida atualmente e pela pequena diminuição da evapotranspiração nas ZH.

### Agradecimentos

Agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro (Processos: 2018/21782-0; 2017/23468-9 e 2017/20925-0) e incentivo a iniciação científica nas universidades.

Figura 3. Evapotranspiração da cultura da soja (mm) ao longo do seu ciclo para cada ZH em função do cenário climático.



## Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Irrigação**. 2017. Disponível em: <<http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>>. Acesso em: 24 maio 2019.
- ASSENG, S. et al. Uncertainty in simulating wheat yields under climate change. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 9, p. 827-832, 2013.
- Baker, J. T., L. H. Allen, K. J. Boote, P. Jones, and J. W. Jones. 1989. Response of Soybean to Air Temperature and Carbon Dioxide Concentration. **Crop Sci**. 29:98-105. doi:10.2135/cropsci1989.0011183X002900010024x
- BOOTE, K. J. et al. **The CROPGRO model for grain legumes**. In: TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P. K (Eds.). Understanding options for agricultural production. [s.l.] **Springer**, 1998. p. 99-128.
- CHAPAGAIN, A.K.; HOEKSTRA, A.Y. Water footprint of nations. Delft: UNESCO, 2004. **Research report series**, n. 16.
- CHIANG, A. C.; WAINWRIGHT, K. **Matemática para economistas**. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro Elsevier Campus, 2006.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Safra 2017/18**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos>>. Acesso em: 29 ago. 2018.
- CURRY, R. Bruce; JONES, James W.; BOOTE, Kenneth J. **Response of Soybean to Predicted Climate Change in the USA. 1995**. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/books/abstracts/asaspecialpubli/climatechangean/163?access=0&view=pdf>>. Acesso em: 24 maio 2019.
- DE BOER, I. J. M.; HOVING, I. E.; VELLINGA, T. V.; VAN DE VEM, G. W. J.; LEFFELAAR, P. A.; GERBER, P. J. Assessing environmental impacts associated with freshwater consumption along the life cycle of animal products: the case of Dutch milk production in Noord-Brabant. **The International Journal of Cycle Assessment**, v.18, n.1, p. 192-203, 2013.
- EMBRAPA. **Área irrigada do Brasil**. 2016. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/-/asset\\_publisher/5qTVmWdGWiRK/content/id/12990235](https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/-/asset_publisher/5qTVmWdGWiRK/content/id/12990235)>. Acesso em: 24 maio 2019.
- ENVIRONMENT MANAGEMENT GROUP. Global drylands: a UN system-wide response. **Genebra: United Nations, 2011**. Disponível em: <[http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentationLibrary/Publications/Global\\_Drylands\\_Full\\_Report.pdf](http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentationLibrary/Publications/Global_Drylands_Full_Report.pdf)> . Acesso em: 14 mai. 2019.
- FAO. **Climate information tool**. 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/climateinfoodtool/index.stm>> . Acesso em: 14 mai. 2019.
- FAO. **O crescimento populacional e a questão alimentar**. 2014 Disponível em: <[http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/faoweb/lisbon/docs/O\\_Pa%3C%ADs\\_25\\_7\\_2014.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/faoweb/lisbon/docs/O_Pa%3C%ADs_25_7_2014.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2018.
- FAO. **Soybean**. 2018. Available in: <<http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/soybean/en/>>. Access in: 29 ago. 2018.
- HOEKSTRA, A.Y. Virtual water trade. In: International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Proceedings... Delft: IHE, 2003. **Research Report Series No. 12**.
- HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M.M.; MEKONNEN, M.M. **The Water Footprint Assessment Manual Setting the Global Standard**. Londres: Earthscan, 2011.
- IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. 2015**. Disponível em: <<https://si-dra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>.
- JAGTAP, S.S.; JONES, J.W. Adaptation and evaluation of the CROPGRO-soybean model to predict regional yield and production. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 93, n.1, p. 73-85, 2002.
- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN); WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). **Water for business: Initiatives guiding sustainable water management in private sector**. Genebra, 2011.
- LONG, S.P.; AINSWORTH, E.A.; LEAKEY, A.D.B.; NÖSBERGER, J.; ORT, D.R. Food for thought: lower-thanexpected crop yield stimulation with rising CO<sub>2</sub> concentrations. **Science**, v.312, p.1918-1921, 2006.
- LONG, S.P., AINSWORTH E.A., ROGERS A., ORT D.R. Rising atmospheric carbon dioxide: plants FACE the future. **Annu Rev Plant Biol**. 2004; 55: 591-628.
- MARIN, F. R. **Eficiência de produção da cana-de-açúcar brasileira: estado atual e cenários futuros baseados em simulações multimodelos**. P. 262, 2014.
- MEKONNE, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. A Global assessment of the water footprint of farm animal products. **Ecosystems**, v.15, p. 401-415, 2012.
- MEKONNE, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, p. 1577-1600, 2011.
- PFISTER, S.; KOEHLER, A.; HELLWEG, S. Assessing the environmental impact of freshwater consumption in LCA. **Environmental Science & Technology**, v. 43, 0. 4098-4104, 2009.
- PFISTER, S.; BAYER, P.; KOEHLER, A.; HELLWEG, S. Environmental impacts of water use in global crop production: hotspots and trade-offs with land use. **Environmental Science & Technology**, v. 45, p. 5761-5768, 2011.
- POPPER, K. **The logic of scientific discovery**. New York: New York Routledge, 2010.
- RADAMBRASIL, P. **Levantamento de recursos naturais**. [s.l.] Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, Projeto Radambrasil, 1973.
- RIAHI, K.; NAKICENOVIC, N. Greenhouse Gases – Integrated Assessment Technological Forecasting and Social Change. **Special Issou ed**. [s.l: s.n.]. v. 74.
- RIDOUTT, B.G.; PFISTER, S. A new water footprint calculation method integrating consumptive and degradative water use into a single stand-alone weighted indicator. **The international Journal of Life Cycle Assessment**, v.18, n.1, jan. 2012.
- ROSENZWEIG, C. et al. The agricultural model intercomparison and improvement project (AgMIP): protocols and pilot studies. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 170, p. 166-182, 2013.
- SCHWANTES, Ana Paula. **Agricultural resource efficiency and reduction of impacts under land-use and climate change scenarios in Brazil**. 2017. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. doi:10.11606/T.11.2017.tde-02102017-094321. Acesso em: 2018-08-29.
- SHRESTHA, S; CHAPAGAIN, R; BABEL, M.S. **Quantifying the impact of climate change on crop yield and water footprint of rice in the Nam Oon Irrigation Project, Thailand**. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez67.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0048969717311270#f0020>>. Acesso em: 24 maio 2019.
- SILVA, Evandro Henrique Figueiredo Moura da. **Simulação de cenários agrícolas futuros para a cultura da soja no Brasil com base em projeções de mudanças climáticas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2018. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-18052018-140516/>>. Acesso em: 2018-08-29.
- SILVA, E. H. F. M. da; PEREIRA, R. A. de A.; GONCALVES, A. O.; BORDIGNON, A. J. Z.; MARIN, F. R. **Simulação de produtividade futura de soja em Piracicaba-SP com base em projeções de mudanças climáticas**. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1080986/simulacao-de-produtividade-futura-de-soja-em-piracicaba-sp-com-base-em-projecoes-de-mudancas-climaticas>>. Acesso em: 24 maio 2019.
- SILVA, R.A. **Impacto das Mudanças Climáticas sobre a Produtividade e Pegada Hídrica da Soja Cultivada na Região do Matopiba**. 2018. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/1454/1/ROBERTA%20ARA%3C%9AJ0%20E%20SILVA%20-%20TESE%20%28PPGMet%29%202018.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2019.
- SMITH, S.J.; WIGLEY, T.M.L. Multi-gas forcing stabilization with Minicam. **The Energy Journal**, p. 373-391, 2006.

Sun, S.K.; Wu, P.T.; Wang, Y.B.; Zhao, X.N. Impacts of climate change on water footprint of spring wheat production: the case of an irrigation district in China. **Spanish Journal of Agricultural Research** 2012 **10**(4) Span.

THOMSON, A.M. et al. RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. **Climate Change**, v. 109, n. 1-2, p. 77, 2011.

THORNLEY, J. H.; JOHNSON, I. **Plant and crop modelling. Armidale: The Blackburn Press**, 1990.

TURRAL, H.; BURKE, J.; FAURÈS, J.M. Climate change, water and food security. Roma: **FAO**, 2011. (FAO. Water Reports, 36).

USDA. **Crop Production**. 2018. Available in: <<https://www.usda.gov/topics/farming/crop-production>>. Access in: 29 Ago. 2018.

VAN WART, J. et al. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. **Field Crops Research**, v. 143, p. 44-55, 2013.

WISE, M. et al. Implications of limiting CO<sub>2</sub> concentrations for land use and energy. **Science**, v. 324, n. 5931, p. 1183-1186, 2009.

## REFERENCIAÇÃO

DIAS, G. V. S.; SILVA, E. H. F. M.; ANTOLIN, L. A. S.; VIEIRA JUNIOR, N. A. MARIN, F. R. Simulação da pegada hídrica da soja no Mato Grosso baseada em projeções de mudanças climáticas. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.27, n.1, p.155-163, set 2019.

Declaração: os trabalhos estão sendo publicados nesse número de AGROMETEOROS (v.27, n.1, set 2019) conforme foram aceitos pelo XXI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, realizado de 12 a 16 de agosto de 2019, em Catalão, Goiás, sem revisão editorial adicional da revista.



# Prospects of soybean water footprint in Mato Grosso based on climate change scenarios

Giulia Vitória Simioni Dias<sup>1</sup>, Evandro Henrique Figueiredo Moura da Silva<sup>1</sup>, Luis Alberto Antolin<sup>1</sup>, Nilson Aparecido Vieira Junior<sup>1</sup> and Fábio Ricardo Marin<sup>1(\*)</sup>

<sup>1</sup>Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP). Avenida Pádua Dias, 11, CEP 13418-900 Piracicaba, SP, Brazil.

E-mails: [giulia.dias@usp.br](mailto:giulia.dias@usp.br), [ehfmsilva@gmail.com](mailto:ehfmsilva@gmail.com), [antolin.luis@gmail.com](mailto:antolin.luis@gmail.com), [nilsonvieirajunior@usp.br](mailto:nilsonvieirajunior@usp.br) and [fabio.marin@usp.br](mailto:fabio.marin@usp.br) (\*)

(\*) Corresponding author.

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 13 September 2019

Accepted 4 March 2020

### Index terms:

*Glycine max* (L.) Merrill

crop Modelling

future water yield

climate change

## ABSTRACT

The agriculture fresh water consumption is equivalent to 70% world total freshwater (FAO, 2012). This fact combined with climate change evidence and the expected population growth for the next decades (FAO, 2014) lead to the importance of quantifying the use irrigation to conciliate increased production with minimal pressure on water sources. This assess is based on water footprint method (Hoekstra et al., 2011), which is composed by the blue component, green and. In this context, this work evaluated the future use of water in soybean irrigation in Mato Grosso state, Brazil, assessing the blue water footprint ( $PH_{azul}$ ) based on projections of climatic changes using the DSSAT / CROPGRO-Soybean agricultural model. The simulations did not present a great variation of the  $PH_{azul}$  in relation to the current one. The lowest variation was of the homogeneous agro climatic zone (CZ) of Nova Mutum, it varied  $27 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$ , between the scenario 1 and the 6 and the highest variation was of Primavera do Leste of  $81.2 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$  between the current scenario and the 6. This result can be explained by the maintenance of soybean productivity in the ZH studied, where the highest variation was -1.6% and evapotranspiration decreased up to 6.5%.

© 2020 SBAgro. All rights reserved.

## CITATION

DIAS, G. V. S.; SILVA, E. H. F. M.; ANTOLIN, L. A. S.; VIEIRA JUNIOR, N. A. MARIN, F. R. Simulação da pegada hídrica da soja no Mato Grosso baseada em projeções de mudanças climáticas. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.27, n.1, p.155-163, set 2019.

Disclaimer: papers are published in this issue of AGROMETEOROS (v. 27, n.1, set 2019) as accepted by the XXI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, held August 12-16, 2019 in Catalão, Goiás State, Brazil, without further revision by editorial board.