



Estimativa da produtividade de soja usando irrigação na época das chuvas no bioma Cerrado

Lorena Pereira Silva¹, Rafael Battisti^{1(*)}, Fábio Miguel Knapp¹, Thaynara Garcia Santos¹ e José Alves Junior¹

Universidade Federal de Goiás - Escola de Agronomia, Engenharia de Biosistemas. Campus Samambaia, Av. Esperança s/n, CEP 74690900 Goiânia, GO.
E-mails: lorenasilva.ufg@gmail.com, battisti@ufg.br, fabio.knapp@hotmail.com, thaynaragarcia_santos@hotmail.com e josealvesufg@yahoo.com.br
(*)Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 16 de abril de 2020

Aceito em 1º de julho de 2020

Termos para indexação:

déficit hídrico

modelo de culturas

risco climático

eficiência do uso da água

RESUMO

O déficit hídrico é o principal fator de quebra de produtividade da cultura da soja no Brasil. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a resposta da produtividade da cultura da soja utilizando manejos de irrigação no período chuvoso para o Cerrado. O estudo foi realizado para Rio Verde, GO, Cristalina, GO, Barreiras, BA e Peixe, TO, com série histórica climática entre 1980 e 2015. As semeaduras foram 10/Out, 25/Out e 10/Nov, com três manejos de irrigação: sequeiro, fase reprodutiva e todo o ciclo. O solo de textura média foi utilizado com capacidade de água disponível de 80 mm. Para irrigação no período reprodutivo, a produtividade foi de 9255 kg ha⁻¹ em 10/out para 9544 kg ha⁻¹ em 10/nov. Esse manejo apresentou maior eficiência do uso da água de irrigação, variando de 11,7 e 14,6 kg de incremento mm⁻¹. Os maiores ganhos com irrigação foram em Barreiras, de 5491 kg ha⁻¹ no sequeiro para 10140 kg ha⁻¹ no irrigado todo o ciclo, com irrigação de 371 mm ciclo⁻¹. Portanto, a irrigação resultou em aumento de produtividade, em que o aumento da eficiência do uso da água depende da adoção de manejos complementar (data de semeadura e manejo de irrigação), adequados a região.

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

A cultura da soja está inserida economicamente como um dos principais produtos agrícolas no contexto mundial e nacional. No Brasil, ela é a principal cultura em volume de produção, alcançando 118 milhões de toneladas na safra de 2017/18 com uma área plantada de 35,1 milhões de hectares (Conab, 2018). Apresenta um papel importante na cadeia de produção devido a suas variadas formas de utilização, entre as quais, ração animal, óleo, farelo, bio-

diesel, entre outros. Atualmente, os estados de Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul concentram 75% da área cultivada com soja, 25,8 milhões de hectares, e 77% da produção nacional, 79,25 milhões de toneladas (Conab, 2017).

A produtividade da soja é reduzida se o déficit hídrico ocorrer nos períodos críticos da cultura, ou seja, da semeadura à emergência e no enchimento de grãos, o que ocorre mesmo em anos climaticamente favoráveis (Bergamaschi et al., 2004). Portanto, são fundamentais estudos que visem

auxiliar no manejo de culturas em função das condições climáticas, de modo a aumentar a eficiência produtiva e reduzir as perdas associadas ao estresse hídrico. Muitos desses estudos são feitos por meio de modelos de estimativa de produtividade ou simulação de crescimento (Battisti et al., 2013).

No Brasil, o zoneamento agrícola de risco climático é um exemplo da aplicação de modelagem que permite identificar as datas e locais preferenciais de plantio de determinada cultura, a fim de evitar perdas de produtividade por estresse hídrico. Estudo realizado por Farias et al. (2001) delimitou as áreas com menores riscos de insucesso devido à probabilidade de ocorrência de déficits hídricos durante as fases mais críticas da cultura da soja. Tais informações se prestam para subsidiar a definição de políticas agrícolas e a tomada de decisões pelo setor produtivo, para a obtenção de maiores rendimentos de grãos da cultura e com menores riscos.

A grande limitação do zoneamento de risco climático atual é o estabelecimento da aptidão e período de semeadura com base apenas na satisfação das necessidades hídricas das culturas, não considerando como resultado final a produtividade da cultura. Para se obter a produtividade final pode-se utilizar modelos de simulação, entre os quais pode se citar o modelo da Zona Agroecológica (FAO-MZA) (Battisti, 2013; Battisti et al., 2018). O modelo auxilia na determinação de estratégias de manejo, como a interação entre data de semeadura e o manejo de irrigação, para buscar maiores produtividades e reduzir os riscos associados a adversidades climáticas (Sentelhas et al., 2015).

Para a irrigação, vem sendo discutido a possibilidade de se evitar as perdas de produtividade da soja utilizando irrigação suplementar no período de chuvas (Justino et al., 2019), irrigando nos períodos mais críticos da cultura e de ocorrência de déficit hídrico. O uso da água na irrigação deve atender à demanda das culturas de forma sustentável, e nas regiões onde ocorrem chuvas significativas, estas devem ser consideradas no processo de planejamento, gestão e manejo da água, considerando uma série histórica de dados climáticos. O manejo de irrigação deve ser feito de forma correta, já que o uso irracional da água, associado com a falta de conhecimento das interações entre planta-solo-atmosfera, é a causa de insucessos em muitas lavouras, resultando em baixa eficiência produtiva (Battisti et al., 2018).

Diante do exposto, a irrigação suplementar no período chuvoso pode aumentar a produtividade da soja, de modo a otimizar a eficiência do uso da água utilizada na irrigação durante um período de maior disponibilidade deste recurso nos mananciais. Essa estratégia reduz o conflito pelo uso da água por diferentes setores da sociedade, especialmente durante o período seco, em que licenças para uso de água para irrigação podem ser liberadas apenas no período de

maior disponibilidade, reduzindo o cultivo no período seco do ano. Logo, o objetivo do trabalho foi avaliar a resposta da produtividade da cultura da soja para uma série histórica de dados climáticos, utilizando como estratégia de manejo a irrigação suplementar no período chuvoso para a região do Cerrado em diferentes épocas de semeadura, como alternativa na redução de risco de quebra de produtividade associados ao déficit hídrico.

Material e Métodos

O estudo foi realizado para quatro localidades no Brasil, com o intuito de representar diferentes regiões produtoras de soja dentro do bioma Cerrado. Os locais de análise compreendem as seguintes localidades: Rio Verde, GO (Lat. 17°48' S; Long. 50°55' W; Alt: 774,6 m), Cristalina, GO (Lat. 16°45' S; Long. 47°36' W; Alt: 1189,0 m), Barreiras, BA (Lat. 12°09' S; Long. 45°00' W; Alt: 439,3 m), e Peixe, TO (Lat. 12°00' S; Long. 48°21' W; Alt: 242,5 m) (Figura 1). Observa-se que essas localidades apresentam uma alta densidade de cultivo, em que a área do município ocupada pela soja representa 30% da área total do município.

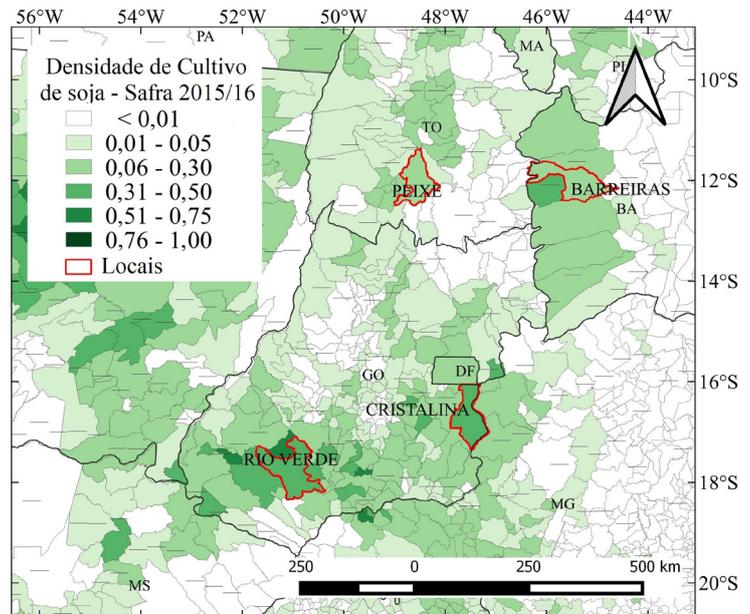
A série histórica climática foi obtida para essas localidades, incluindo precipitação pluvial, velocidade do vento, temperatura máxima e mínima do ar, radiação solar e umidade relativa do ar, a partir de dados em grade desenvolvidos por Xavier et al. (2015). O período, em escala diária, se estende de janeiro de 1980 a março de 2015, totalizando 35 anos. As simulações foram realizadas para semeadura ocorrendo em 10/Out, 25/Out e 10/Nov. Estas datas foram adotadas considerando o manejo na região, com a preferência de semeadura entre o início e meio da janela recomendada, segundo o zoneamento de risco climático do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Devido à grande variabilidade de solos nos municípios, e até mesmo a nível de propriedade, optou-se por considerar nas simulações e no manejo de irrigação um solo de textura média, que apresenta água disponível de 1,0 mm cm⁻¹. Assumiu-se também o valor de 0,80 m como profundidade máxima do sistema radicular da soja (Battisti & Sentelhas, 2017).

Para avaliar a produtividade da soja, foram considerados diferentes níveis produtivos conforme apresentado por Sentelhas et al. (2015). Foram obtidas a produtividade potencial sem déficit hídrico, considerando o manejo de irrigação durante todo o ciclo, a produtividade atingível com irrigação apenas na fase reprodutiva da cultura, e atingível nas condições de sequeiro em função da distribuição e o volume de chuvas naturais em cada localidade. Nesses casos, a produtividade foi resultante do manejo de irrigação, ciclo da cultivar, temperatura do ar, radiação solar, fotoperíodo e precipitação pluvial.

Para se obter a produtividade a nível irrigado e sequei-

Figura 1. Locais utilizados no estudo e densidade de cultivo de soja para a safra 2015/16. Densidade de cultivo é a área cultivada com soja no município dividida pela área total do município.



ro, o primeiro passo foi a estimativa da produtividade potencial (PPF), a qual para a cultura da soja foi obtida utilizando o modelo da Zona Agroecológica – FAO (Doorenbos & Kassam, 1979; Battisti et al., 2018). O modelo foi calibrado por Battisti et al. (2018) utilizando áreas de alto potencial produtividade, oriundas da competição nacional de produtividade organizada pelo Comitê Estratégico Soja Brasil. As variáveis de entrada de irradiância solar global extraterrestre (Q_0), temperatura média do ar (T), insolação (n), fotoperíodo (N), índice de área foliar máximo (IAF_{max}), utilizado para obter o coeficiente de correção para índice de área foliar (C_{IAF}), taxa de respiração (C_R), índice de colheita (C_C), umidade da parte colhida ($U\%$) e o ciclo da cultura (ND). A equação geral da PPF é dada pela eq. (1), em que a PPF total é obtida pelo acumulada da simulação diária ao longo do ciclo:

$$PPF = \sum_{i=1}^m \frac{PPB_p * C_{IAF} * C_R * C_C}{(1 - 0,01 * U\%)} \quad (1)$$

em que: PPB_p é a produtividade bruta de matéria seca (MS) para uma cultura padrão com $IAF = 5$ ($kg MS ha^{-1} dia^{-1}$); C_{IAF} foi corrigido pela curva de área foliar da cultura na escala diária com base no valor máximo, obtido por Battisti et al. (2018), e dividido por 5, variando de 0 a 1; C_R foi de 0,6 quando a temperatura média do ar diária for menor que $20^\circ C$ e de 0,5, quando a temperatura média do ar diária for maior ou igual a $20^\circ C$; C_C foi definido como 0,55, conforme apresentado por Battisti et al. (2018); para $U\%$ utilizou-se o valor de 13%; “ i ” é o dia do ciclo da cultura e “ m ” é o ciclo total entre a semeadura e colheita (115 dias).

A PPB_p foi obtida pelo somatório acumulo de matéria seca no período do dia de céu limpo (PPB_c) e de céu nublado (PPB_n), empregando as eq. (2) e (3), respectivamente,

levando-se em consideração a relação entre o número de horas de céu limpo e o número de horas de céu nublado ao longo do dia.

$$PPB_c = (107,2 + 8,604 * Q_0) * cTc * \frac{n}{N} \quad (2)$$

$$PPB_n = (31,7 + 5,234 * Q_0) * cTn * \left(1 - \frac{n}{N}\right) \quad (3)$$

em que: cTc e cTn foram estimados a partir da temperatura média do ar ($^\circ C$); n é a insolação, em horas; Q_0 é irradiância solar global extraterrestre, em $MJ m^{-2} dia^{-1}$, e N o fotoperíodo, em horas, ambos calculados a partir do dia do ano e da latitude da cada local. Equações complementares podem ser obtidas em Battisti et al., (2018)

Para a produtividade atingível, PA , (Eq. 4) foi realizada a penalização da produtividade potencial (PPF) pelo coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (Ky), que expressa a quebra de produtividade em função do déficit hídrico ocorrido em cada uma das fases de desenvolvimento da cultura (Doorenbos & Kassam, 1979). O Ky foi obtido em Battisti et al. (2018), que calibrou o coeficiente para diferentes fases da cultura. O déficit hídrico foi inferido a partir da evapotranspiração relativa, obtida pela relação entre a evapotranspiração real (ETr) e a evapotranspiração da cultura (ETc).

$$PA = PPF * \prod_{i=1}^n \left[1 - Ky_i * \left(1 - \frac{ETr_i}{ETc_i} \right) \right] \quad (4)$$

em que: PA é a produtividade atingível ($kg ha^{-1}$); ky é o coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico, obtido para cada fase de desenvolvimento da cultura (i); “ n ” é o total

de fases da cultura, sendo cinco fases para a cultura da soja; e ETC e ETr são, respectivamente, a evapotranspiração potencial e real da cultura.

Os valores de K_y foram 0,05 na fase de estabelecimento; 0,15 no crescimento vegetativo; 0,40 na floração; 0,75 no enchimento de grão; e 0,40 na maturação (Battisti et al., 2018). Na Eq. 4, a PPF corresponde ao somatório total do ciclo, enquanto a penalização pelo déficit hídrico foi realizada para cada uma das fases, obtendo-se o total do ciclo de forma multiplicativa entre as penalizações das fases para obter-se a PA final.

Para a obtenção da evapotranspiração relativa (ETr/ETC), a ETC foi estimada por meio da ETo pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) e posteriormente multiplicada pelo coeficiente de cultura (K_c) na escala diária a partir dos valores de K_c obtidos em Comunello (2015). Os valores de k_c foram de 0,56 para a fase de estabelecimento, aumentando linearmente até 1,5 no início da floração, e se mantendo neste valor durante o período reprodutivo, e reduzindo linearmente para 0,90 na maturação fisiológica.

A ETr foi obtida utilizando-se a metodologia do balanço hídrico climatológico sequencial de Thornthwaite & Mather (1955) adaptado por Battisti et al. (2018). O balanço hídrico iniciou-se três meses antes da data de semeadura da soja, em um dia em que o armazenamento de água no solo fosse máximo, ou seja, posterior a um período com elevada lâmina de precipitação pluvial.

A produtividade com irrigação foi obtida considerando o somatório da irrigação a precipitação pluvial. O nível de irrigação depende do manejo empregado (momento e lâmina de irrigação). Para esse estudo foi realizada a irrigação de 8 mm dia⁻¹, representando um sistema de irrigação por pivô central, iniciando a irrigação quando a relação entre o armazenamento de água no solo e a capacidade de água disponível para as plantas atingir 70%. O manejo foi realizado de duas formas distintas, uma considerando o uso da irrigação durante todo o ciclo quando necessário, e outra considerando a aplicação apenas durante fase reprodutiva da cultura, entre o início da floração e final do enchimento de grão.

Os dados obtidos de produtividade e lâmina de irrigação total foram submetidos a análise de variância pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade, empregando-se o programa Sisvar (Ferreira, 2011), sendo as médias comparadas entre si pelo teste de Scott-Knott, a um nível de 5% de probabilidade. Foi elaborado gráfico box-plot para demonstrar o efeito da variabilidade climática dos locais na produtividade e lâmina de irrigação total acumulada durante o ciclo, considerando os percentis de 10-90%; 25-75%, 50% e outliers. O cálculo de eficiência do uso da água de irrigação para produção de grãos de soja foi obtido pela relação entre ganho de produtividade com uso da irrigação

e lâmina de irrigação aplicado, apresentando os mesmos na forma de box-plot para os diferentes tratamentos (local, data de semeadura e manejo de irrigação) e safras de cultivo.

Resultados e Discussão

Para a produtividade foi observado interação entre os locais e manejo de irrigação, e interação entre data de semeadura e manejo de irrigação. Já para a lâmina de irrigação houve apenas interação significativa entre os locais e manejo de irrigação (Tabela 1). O manejo de irrigação suplementar apenas durante o ciclo reprodutivo e no ciclo completo não diferiram significativamente em Rio Verde, GO e Peixe, TO, em que a média de produtividade foi acima de 9364 kg ha⁻¹, e o volume total de irrigação, de no máximo de 168 mm ciclo⁻¹ (Tabela 2). Cabe ressaltar que o modelo

Tabela 1. Resultado da análise da variância para a produtividade de soja e volume de irrigação para quatro locais, três datas de semeadura e três manejos de irrigação.

Fv	GL	Quadrado Médio	
		Produtividade	Irrigação
Local (L)	3	19250471**	1091637 **
Data de semeadura (D)	2	1395893*	4668
Manejo de irrigação (M)	2	831220115**	5695540**
L x D	6	48014	3972
L x M	6	63613002**	289517**
D x M	4	1545893**	5572
L x M x D	12	653432	1204
Resíduo	1224	482713	2793
CV (%)		7,95	40,34

* **significativo a 1 e 5 % respectivamente pelo teste f.

Tabela 2. Produtividade e lâmina irrigada em Rio Verde, GO, Cristalina, GO, Barreiras, BA e Peixe, TO, sob três manejos de irrigação, sendo sequeiro, crítico (período reprodutivo) e completa (durante o ciclo total).

Locais	Sequeiro	Crítico	Completa
	Produtividade (Kg ha ⁻¹)		
Rio Verde, GO	7932 aB	9371 bA	9521 bA
Cristalina, GO	7213 bC	9296 bB	9528 bA
Barreiras, BA	5491 cC	9605 aB	10140 aA
Peixe, TO	7847 aB	9364 bA	9542 bA
	Lâmina de irrigação total (mm ciclo ⁻¹)		
Rio Verde, GO	0 aC	116 cB	151 dA
Cristalina, GO	0 aC	155 bB	201 bA
Barreiras, BA	0 aC	281 aB	371 aA
Peixe, TO	0 aC	129 cB	168 cA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott e Knott.

foi calibrado por Battisti et al. (2018) utilizando áreas de alto potencial produtivo, em que as condições de manejos são consideradas ideais. Nesse cenário, diferentes níveis de quebra de produtividade por manejo podem ser utilizados com base nas condições adotadas pelo produtor para obtenção de uma estimativa de produtividade real (Sentelhas et al., 2015; Battisti et al., 2018).

Rio Verde, GO e Peixe, TO, apresentam maiores volumes de precipitação pluvial anual quando comparadas com Cristalina, GO e Barreiras, BA, segundo resultados apresentados por Alvares et al. (2013). A não diferença significativa entre os manejos irrigação corrobora com Gava et al. (2016), que concluíram que durante a fase reprodutiva, de floração e enchimento de grão, a ocorrência de déficit hídrico afeta severamente a produtividade da soja, em que é possível realizar o manejo de irrigação na cultura com déficit hídrico no período de desenvolvimento vegetativo.

Analisando a produtividade em Barreiras, BA (Tabela 2), verificou-se que a mesma apresentou as menores produtividades no sequeiro (5491 kg ha^{-1}) e as maiores produtividades quando a irrigação foi simulada no ciclo completo da cultura (10140 kg ha^{-1}). Este resultado está condicionado à menor altura de precipitação pluviométrica que ocorre nesta localidade, que pode ser observado pela maior necessidade de irrigação (Tabela 2), chegando a uma demanda média de $371 \text{ mm ciclo}^{-1}$, quando utilizada durante todo o ciclo. Segundo Alvares et al. (2013), a região oeste da Bahia, possui uma menor precipitação média anual em relação aos demais locais, afetando dessa forma a produção da cultura, mas com maior disponibilidade de radiação solar pela menor nebulosidade. O menor volume de disponibilidade hídrica no início do ciclo reduz o crescimento vegetativo da planta, alterando os processos fisiológicos da planta, provocando a diminuição da área foliar, da fotossíntese, e consequentemente, da produtividade (Taiz et al. 2017; Zan-non et al. 2018).

Em relação a data de semeadura foi constatado que a irrigação durante todo o ciclo da cultura não apresenta diferença significativa para produtividades, sendo estas acima de 9600 kg ha^{-1} (Tabela 3). Já o uso da irrigação apenas no período reprodutivo, observou-se que o atraso da semeadura de 10/Out para 25/Out ou 10/Nov resulta em maiores produtividades, 9544 kg ha^{-1} em 10/Nov, contra 9255 kg ha^{-1} em 10/Out (Tabela 3). Considerando a irrigação durante todo ciclo observou-se redução da demanda total de água via irrigação, de $235 \text{ mm ciclo}^{-1}$ em 10/Out para $215 \text{ mm ciclo}^{-1}$ em 10/Nov (Tabela 3), mas sem apresentar diferença significativa. Essa redução corrobora com dados observados por Battisti et al. (2013) e Pilau et al. (2018) para o cultivo da soja no sul do Brasil.

Casaroli et al. (2018) verificaram que o volume de chuva em outubro na região central do Cerrado, considerando a média mensal, é menor quando comparado ao mês de

Tabela 3. Produtividade e lâmina irrigada em 3 datas de semeadura, 10 de outubro, 25 de outubro e 10 de novembro em Rio Verde, GO, Cristalina, GO, Barreiras, BA e Peixe, TO, sob três manejos de irrigação, sendo sequeiro, crítico (período reprodutivo) e completa (durante o ciclo total).

Data	Sequeiro	Crítico	Completa
Produtividade (Kg ha^{-1})			
10/Out	7166 aC	9255 bB	9601 aA
25/Out	7148 aC	9427 aB	9681 aA
10/Nov	7048 aC	9545 aB	9766 aA
Lâmina de irrigação (mm ciclo^{-1})			
10/Out	0	170	235
25/Out	0	169	218
10/Nov	0	172	215
Média	0 C	170 B	223 A

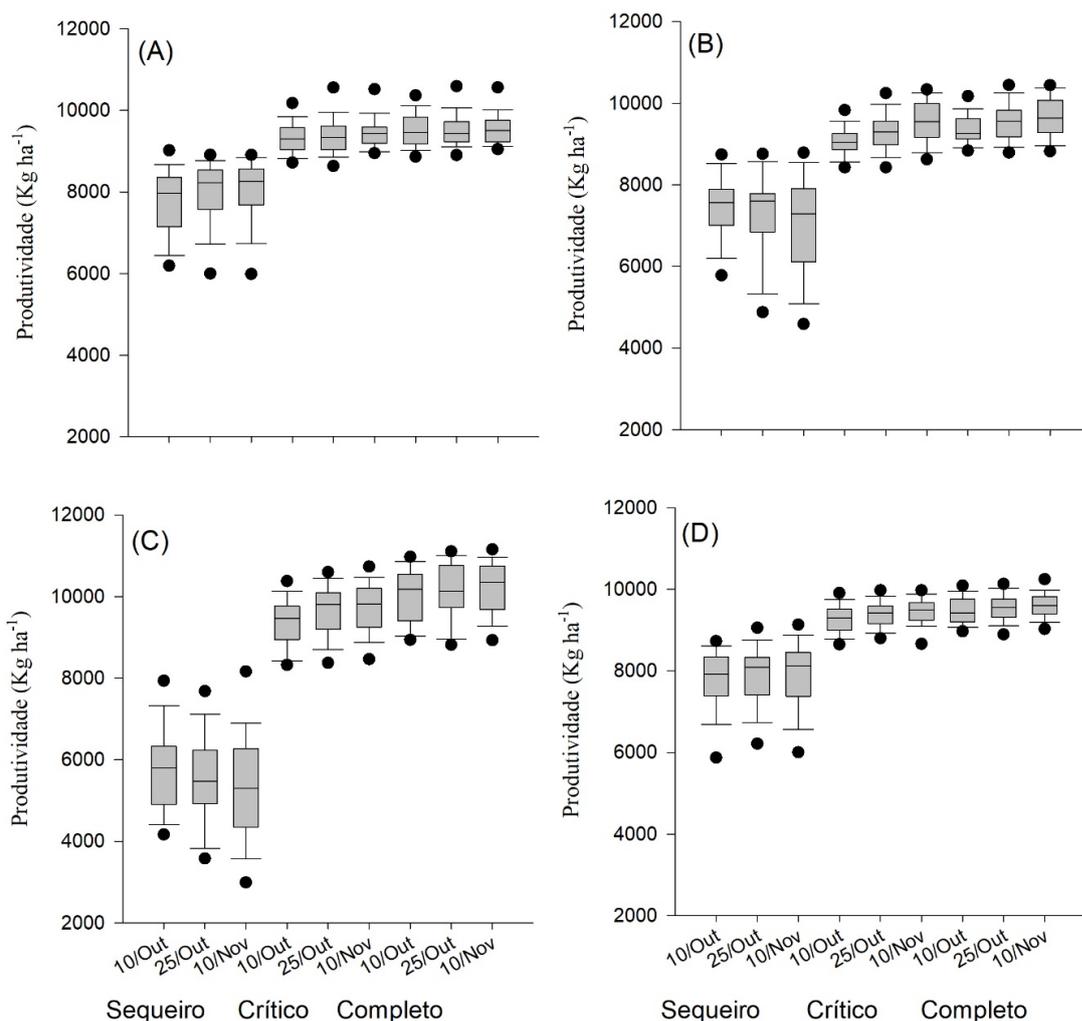
Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott e Knott

novembro, o que leva a maiores déficits hídrico para semeadura em 10/Out. Assim, observou-se um ganho de até 290 kg ha^{-1} (Tabela 3), com o atraso da semeadura de 10/Out para 10/Nov, quando há manejo de irrigação para suprir a demanda hídrica no período crítico da cultura. Battisti et al. (2013), verificaram que a produtividade aumenta com o atraso da semeadura, sendo esta consequência de menores déficits hídricos na semeadura tardia da cultura. Assim, o atraso na semeadura torna-se uma estratégia para aumentar a eficiência do uso da água, que segundo, Santos et al., (2006), Pereira & Cuellar (2015) e Wu et al., (2016), possibilita aproveitar os períodos de maior disponibilidade hídrica para as culturas. Apesar disso, estratégias considerando o sistema de produção podem ser elaboradas, como o uso de irrigação para implantação antecipada da soja para possibilitar o cultivo do milho safrinha ou algodão em sequência a cultura da soja.

Na Figura 2 é possível verificar as produtividades nos diferentes manejos de irrigação, locais e datas de semeadura, no qual a produtividade no sequeiro mostrou-se menor e com maior variabilidade entre as safras em comparação aos demais manejos. A maior variabilidade indica o nível de risco em cada uma das regiões e manejos adotados. Esses resultados ressaltam a importância da irrigação, mesmo durante o período de chuvas, aumentando produtividade e reduzindo o risco de quebra. O uso da água para irrigação na épocas das chuvas gera menos conflitos com demais usos por ser um período de maior disponibilidade do recurso nos mananciais (Justino et al, 2019).

Analisando a lâmina de irrigação necessária em cada local e data de semeadura, observa-se, que apesar das produtividades serem próximas nos diferentes manejos de irrigação, a demanda de irrigação é maior para a irrigação durante todo o ciclo. Por exemplo, a diferença chega a $100 \text{ mm ciclo}^{-1}$ quando considerado a localidade de Barreiras,

Figura 2. Produtividade simulada em diferentes datas de semeadura e manejos de irrigação, sendo sequeiro, durante ciclo completo e apenas na fase crítica, para 35 safras de cultivo em (A) Rio Verde, GO, (B) Cristalina, GO, (C) Barreiras, BA, e (D) Peixe, TO. Linha central é o percentil 50%, barra cinza percentil 25 e 75%, linhas verticais percentil 10 e 90%, e os pontos são os outliers.



BA, com irrigação em todo o ciclo ou apenas no período reprodutivo (Figura 3). Isso indica uma maior eficiência na conversão da água aplicada via irrigação em aumento de produtividade no manejo de irrigação apenas no período crítico da cultura. Além disso, pode-se incluir o custo da água bombeada como um fator complementar a análise, o qual chega a R\$ 1,63 por mm ha⁻¹, considerando uma jornada de trabalho de 21 horas (Leite et al. 2018).

Em todas as condições de manejo estudadas para a cultura da soja, notou-se grande variabilidade entre as 35 safras de cultivo. De forma geral, há safras em que a demanda de irrigação é próxima a zero, enquanto em outras chega num valor máximo acima de 400 mm ciclo⁻¹ (Figura 3). Essa variação está associada as condições climáticas locais e fenômenos meteorológicos de macroescala que influenciam as chuvas na região, como a zona de convergência do Atlântico Sul e frentes frias oriundas do sul do Brasil, que são influenciadas pelo fenômeno El Niño Oscilação Sul (Grimm et al., 1998). A identificação dos valores discrepantes (*outliers*) é importante no cálculo da média aritmética, que

tem como característica a influência dos valores extremos. Os valores discrepantes (*outliers*) podem ter efeito sobre o desvio padrão, sobre a escala do histograma e da forma da distribuição de frequência dos dados (Triola, 2008), em que seu entendimento é fundamental para avaliar a disponibilidade de água no reservatório/rios para a decisão de qual área pode ser irrigada na fazenda com máxima eficiência do uso da água (Zheng et al., 2019).

Um importante parâmetro a ser analisado na produção agrícola é a eficiência do uso da água de irrigação no aumento de produtividade, que no presente trabalho, apresentou maior eficiência quando a irrigação suplementar foi utilizada apenas no período reprodutivo da cultura (Figura 4). A irrigação na fase crítica apresentou uma eficiência que variou entre 11,7 e 14,6 kg mm⁻¹, enquanto para a irrigação em todo o ciclo a eficiência no uso da água variou entre 10,1 e 12,5 kg mm⁻¹, dependendo da região. Esses resultados corroboram com Gava et al. (2016), os quais concluíram que a irrigação deficitária no período vegetativo da cultura não afeta a produtividade de forma significati-

Figura 3. Demanda de irrigação em diferentes datas de semeadura e manejos de irrigação, sendo durante ciclo completo e apenas na fase crítica, para 35 safras de cultivo em (A) Rio Verde, GO, (B) Cristalina, GO, (C) Barreiras, BA, (D) Peixe, TO. Linha central é o percentil 50%, barra cinza percentil 25 e 75%, linhas verticais percentil 10 e 90%, e os pontos são os outliers.

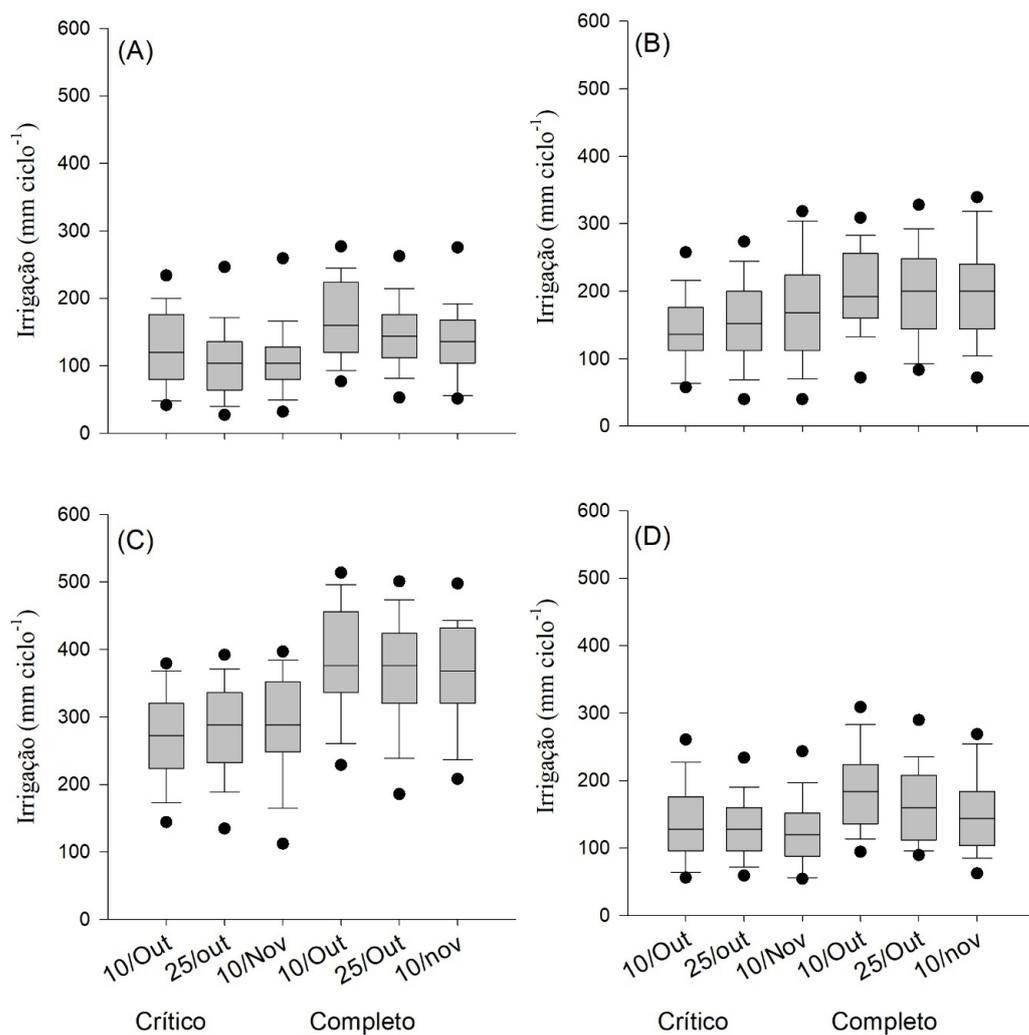
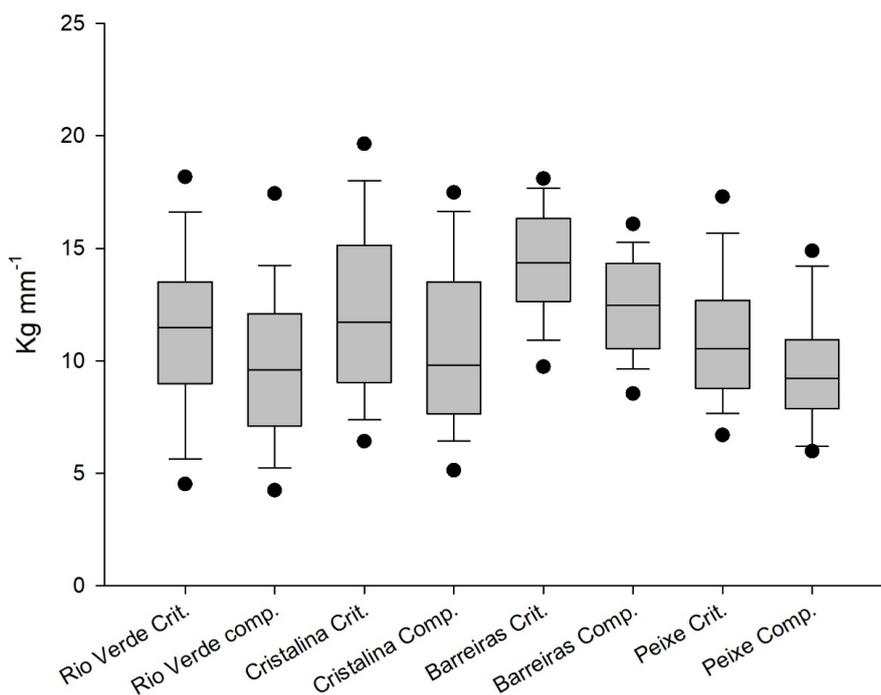


Figura 4. Eficiência no uso da água para os manejos de irrigação apenas no período reprodutivo (Crit.) ou durante todo o ciclo (Comp.).



va, fazendo com que a irrigação apenas no período crítico da cultura aumenta a eficiência na conversão de recurso hídrico em massa de grãos.

Para Zanon et al. (2016), uma máxima produtividade é alcançada pelo suprimento da demanda hídrica principalmente durante o período reprodutivo. Neste contexto, a maior eficiência no uso da água de irrigação foi observada para Barreiras, BA, com valor de 14,6 kg de grãos de soja mm⁻¹ aplicado via irrigação, para a irrigação apenas no período reprodutivo, e de 12,5 kg de grãos de soja mm⁻¹, para o manejo de irrigação em todo o ciclo da cultura. Com o atraso da semeadura observa-se maior eficiência no uso da água de irrigação, com incremento médio de 1,2 kg mm⁻¹ e 0,8 kg mm⁻¹ na irrigação apenas no período crítico e na irrigação em todo o ciclo da cultura.

Conclusões

A demanda de irrigação durante o período de chuvas varia de acordo com a região, realçando a importância da avaliação quanto à localização da área produtora a utilizar o sistema de irrigação para maior eficiência no planejamento do sistema. Além disso, o uso da irrigação reduziu o risco de quebra e de variabilidade de produtividade entre as safras.

O atraso da semeadura de 10 de outubro para 10 de novembro, em todos os locais analisados, mostra-se uma estratégia eficiente para aumento da produtividade da soja, mas sem efeitos significativos na demanda de irrigação, em que pelo aumento da produtividade há aumento da eficiência do uso da água utilizada via irrigação.

Irrigação suplementar apenas na fase crítica da cultura resulta em maior eficiência na conversão em massa de grãos de soja para cada mm de água aplicada via irrigação, sendo a estratégia preferencial para irrigação no período de chuvas.

Referências

- ALLEN, G. R.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, 1998.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlin, v. 22, p. 711-728, 2013
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; PILAU, F.; WOLLMANN, A. Eficiência climática para as culturas da soja e do trigo no estado do Rio Grande do Sul em diferentes datas de semeadura. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.43, n.3, p.390-396, 2013.
- BATTISTI, R. **Épocas de semeadura da cultura da soja com base no risco climático e na rentabilidade líquida para as principais regiões produtoras do Brasil**. 2013. 262 p. Dissertação (Mestrado em Ciência). Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas. Piracicaba, 2013.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C. Improvement of Soybean Resilience to Drought through Deep Root System in Brazil. *Agronomy Journal*, v. 109, p. 1612-1622, 2017.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; PASCOALINO, J. A. L.; SAKO, H.; DANTAS, J. P. de S.; MORAES, M. F. Soybean Yield Gap in the Areas of Yield Contest in Brazil. *International Journal of Plant Production*, v. 12, p. 159-168, 2018.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.831-839, 2004.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO: **A produtividade da soja: análise e perspectiva**. 2017. Disponível em: https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17_08_02_14_27_28_10_compendio_de_estudos_conab_a_produtividade_da_soja_-_analise_e_perspectivas_-_volume_10_2017.pdf. Acesso em: 25 ago. 2018.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO: **Acompanhamento da Safra Brasileira - Grãos**. 2018. Disponível em: http://file:///C:/Dados%20Lorena/Downloads/Boletim_Graos_fevereiro_2018.pdf. Acesso em: 25 ago. 2018.
- CASAROLI, D.; RODRIGUES, T. R.; MARTINS, A. P. B.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JUNIOR, J. Padrões de chuva e de evapotranspiração em Goiânia - GO. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 33, n. 2, p. 247-256, 2018.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. M. **Yield responde to water**. Rome: FAO, 1979. 300 p. (Irrigations and Drainage Paper, 33).
- FARIAS, J. R. B.; SDDED, E. D.; ALMEIDA, I. R. de; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Passo Fundo, v.9, p 415-421, 2001.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, p.1039-1042. 2011.
- GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; ALMEIDA, B. M. de; FREITAS, P. S. L. de; REZENDE, R. Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v. 10, p. 305 - 315, 2016.
- GRIMM, A.M., FERRAZ, S. E.T., GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña Events. *Journal of Climate*, v. 11, p. 2863-2880, 1998.
- JUSTINO, L. F.; ALVES JÚNIOR, J.; BATTISTI, R.; HEINEMANN, A. B.; LEITE, C. V.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Assessment of economic returns by using a central pivot system to irrigate common beans during the rainfed season in Central Brazil. *Agricultural Water Management*, v. 224, p. 105749, 2019.
- LEITE, C. V.; ALVES JUNIOR, J.; VICENTE, M. R.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Jornada diária de trabalho como critério de dimensionamento econômico para sistemas de irrigação por pivô central *Engenharia na Agricultura*, v.26, n.6, p. 526-540, 2018.
- PEREIRA, R. P.; CUELLAR, M. D. Z. Conflitos pela água em tempos de seca no baixo Jaguaribe, Estado do Ceará. *Estudos Avançados*, v. 29, n. 84, 2015.
- PILAU, F. G.; BATTISTI, R.; DALMAGO, G. A. Requerimento de irrigação suplementar e eficiência climática para a cultura da soja no Rio Grande do Sul. *Agrometeoros*, v. 26, n. 2, p. 317-325, 2018.
- SANTOS, H. I.; OLIVEIRA, L. G.; FIOREZE, A. P. Avaliação das vazões alocáveis na bacia hidrográfica do Rio dos Bois e sub-bacia do Rio do Peixe, Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. V. 11, n. 2, p. 47-58, 2006.
- SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; NENDEL, C.; HAMPF, A. The soybeans yield gap in Brazil: Magnitude, causes and possible solutions. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 153, p. 1394-1477, 2015.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Next Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, 1).
- TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**, 10a ed.-Rio de Janeiro, LTC, 2008.

XAVIER, A. C.; KING C. W. Scanlon BR. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 2644–2659, 2015.

ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; GRASSINI, P. Climate and management factors influence soybeans yield potential in a subtropical environment. **Agronomy Journal**, v. 108, p. 1447–1454, 2016.

ZANON, A.; SILVA, M.; TAGLIAPIETRA, E.; CERA, J.; BEXAIRA, K.; RICHTER, G.; DUARTE JUNIOR, A.; ROCHA, T.; WEBER, P.; STRECK, N. **Ecofisiologia da soja visando altas produtividades**. Ed. 1, p. 136, 2018.

ZHENG, H.; YING, H.; YIN, Y.; WANG, Y.; HE, G.; BIAN, Q.; CUI, Z.; YANG, Q. Irrigation leads to greater maize yield at higher water productivity and lower environmental costs: a global meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 273, p. 62–69, 2019.

WU, X.; ZHENG, Y.; WU, B.; TIAN Y.; HAN, F.; ZHENG, C. Optimizing conjunctive use of surface water and groundwater for irrigation to address human-nature water conflicts: A surrogate modeling approach, **Agricultural Water Management**, v. 163, p. 380–392, 2016.

REFERENCIAÇÃO

SILVA, L. P.; BATTISTI, R.; KNAPP, F. M.; SANTOS, T. G.; ALVES JUNIOR, J. Estimativa da produtividade de soja usando irrigação na época das chuvas no bioma Cerrado. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.28, e026702, 2020.



Evaluation of soybean yield using irrigation during the rainy season in the Brazilian Savanna

Lorena Pereira Silva¹, Rafael Battisti^{1(*)}, Fábio Miguel Knapp¹, Thaynara Garcia Santos¹ and José Alves Junior¹

Universidade Federal de Goiás - Escola de Agronomia, Engenharia de Biosistemas. Campus Samambaia, Av. Esperança s/n, CEP 74690900 Goiânia, GO, Brazil.

E-mails: lorenasilva.ufg@gmail.com, battisti@ufg.br, fabio.knapp@hotmail.com, thaynaragarcia_santos@hotmail.com and josealvesufg@yahoo.com.br

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16 April 2020

Accepted 1st July 2020

Index terms:

water deficit

crop model

climate risk

water use efficiency

ABSTRACT

Water deficit is the main factor responsible for soybean yield losses in Brazil, where irrigation can be the main solution. Thus, the aim of this study was evaluated soybean yield using irrigation management during rainfall period in the Cerrado biome. The simulation was performed for Rio Verde, GO, Cristalina, GO, Barreiras, BA and Peixe, TO, using weather data from 1980 to 2015. The sowing dates were Oct 10, Oct 25 and Nov 10. Three irrigation management were applied: rainfed, reproductive phase and all crop cycle. The soil had a sand-clay texture with 80 mm. The mean yield reached 9255 kg ha⁻¹ in Oct 10 and 9544 kg ha⁻¹ in Nov 10, with irrigation only during reproductive phase. This management had higher water use efficiency, ranging the yield increase from 11.7 to 14.6 kg mm⁻¹ applied by irrigation. Barreiras had the higher yield gain, from 5491 kg ha⁻¹ at rainfed, to 10140 kg ha⁻¹, using 371 mm cycle⁻¹ during all cycle. This way, irrigation improved yield, where increase of water use efficiency depend on using best sowing dates and irrigation management in each region.

© 2020 SBAgrom. All rights reserved.

CITATION

SILVA, L. P.; BATTISTI, R.; KNAPP, F. M.; SANTOS, T. G.; ALVES JUNIOR, J. Estimativa da produtividade de soja usando irrigação na época das chuvas no bioma Cerrado. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.28, e026702, 2020.