



Requerimento de irrigação suplementar e eficiência climática para a cultura da soja no Rio Grande do Sul

Felipe Gustavo Pilau^{1(*)}, Rafael Battisti² e Genei Antonio Dalmago³

¹Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Av. Pádua Dias, 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. E-mail: fgpilau@usp.br

²Universidade Federal de Goiás. Escola de Agronomia. Av. Esperança, s/n, Campus Samambaia, 74690-900. Goiânia, GO. E-mail: battisti@ufg.br

³Embrapa Trigo. Rodovia BR 285, km 294, Caixa Postal 308, CEP 99050-970 Passo Fundo, RS. E-mail: genei.dalmago@embrapa.br

(*) Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 27 de setembro de 2018

Aceito em 26 de fevereiro de 2020

Termos para indexação:

Glycine max (L.) Merrill

déficit hídrico

data de semeadura

CAD do solo

RESUMO

A variabilidade interanual da produtividade de soja no Rio Grande do Sul tem como principal causa a deficiência hídrica e a irrigação suplementar é uma das alternativas para estabilizar a produtividade. Assim, o objetivo deste trabalho foi quantificar a demanda de irrigação suplementar e a eficiência climática para a soja no estado do Rio Grande do Sul. A demanda de irrigação suplementar (NI, mm) foi quantificada a partir de balanços hídricos para 33 safras, datas de semeadura de 15/10, 15/11 e 15/12, e capacidade máxima de água disponível no solo (CAD) de 30 mm, 50 mm e 70 mm para 10 locais, usados para extrapolar os resultados para o estado. As simulações consideraram ciclo de 120 dias entre semeadura e maturação. O limite de 50% da CAD foi utilizado como referencial para realizar a irrigação. Com o modelo da Zona Agroecológica foi determinada a eficiência climática com o uso da irrigação (ECI). A suplementação hídrica simulada manteve uma ECI mínima de 0,76. Para as principais zonas de produção as NI são menores para semeadura tardia. No cenário mais otimista, lavouras semeadas em 15/12, em solos com CAD de 70 mm, terão NI máximas de 160 mm em 75% dos anos.

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, com 35 milhões de hectares cultivados e 119,3 milhões de toneladas produzidas na safra 2017/18 (CONAB, 2018). O estado do Rio Grande do Sul (RS) ocupa o terceiro lugar entre os estados produtores, responsável por 14,4% da soja brasileira (CONAB, 2018).

Apesar da aptidão climática à cultura da soja, o RS exibe uma marcante variabilidade interanual na produtividade (Cunha et al., 1998; Battisti et al., 2013). Conforme Ávila et

al. (1996), a probabilidade da precipitação pluvial superar a evapotranspiração potencial nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, em praticamente todo o RS, é inferior a 60%, o que determina uma alta frequência de ocorrência de deficiências hídricas e consequentes quebras de safras das culturas de primavera-verão.

Intrínseco a isso, no Rio Grande do Sul, as condições meteorológicas são acentuadamente influenciadas por um fenômeno natural de escala global, que provoca alterações no clima no mundo inteiro, denominado de El Niño/Oscilação Sul (ENOS). No Estado, o fenômeno ENOS provoca, so-

bretudo, variabilidade na precipitação pluvial em relação à média climatológica, com desvios positivos em anos de El Niño, e negativos nos anos de La Niña (Fontana & Berlato, 1997).

As relações entre clima e planta, com ênfase no ENOS e cultura da soja, são conhecidas. Aumentos pontuais de precipitação pluvial (El Niño) normalmente favorecem a cultura. Ao contrário, as estiagens em anos de La Niña provocam perdas produtivas consideráveis (Cunha et al., 1998; Berlato & Fontana, 1999). Estima-se que, para a soja, 93% das perdas na safra ocorram em razão do déficit hídrico (Berlato & Fontana, 2003).

De acordo com os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2014), somente nas últimas dez safras de soja (2004/05 à 2013/14), aceitando como um potencial de produtividade a safra de 2010/11 (média de 2.845 kg ha⁻¹), o Rio Grande do Sul deixou de produzir 27,8 milhões de toneladas de soja. Isso, de acordo com a média anual de produção de soja desse mesmo período (9 milhões de toneladas ano⁻¹), representaria uma perda total de 3,1 safras, basicamente causadas por deficiência hídrica. Esses eventos ficam bem caracterizados por safras como as de 1990/91 (Matzenauer et al., 2002) e 2004/05, quando a produtividade média estadual foi de 720 kg ha⁻¹ e 698 kg ha⁻¹ de soja, respectivamente.

Neste contexto, a irrigação suplementar da soja no Rio Grande do Sul é uma prática fundamental para a estabilidade produtiva (Sentelhas et al., 2015; Battisti et al., 2018). Mota et al. (1996) fazem essa constatação a partir de balanços hídricos gerados para oito localidades, informação corroborada, especificamente, para as regiões das Missões e do Planalto Médio (Franke & Dorfman, 1997; Franke & Dorfman, 2000; Vivan, 2010), e para os municípios de Santa Maria, Cruz Alta, Passo Fundo, São Luiz Gonzaga e São Borja, como representantes das regiões agroecológicas da Depressão Central, Planalto Inferior, Planalto Médio, Missões e Baixo Vale do Uruguai (Petry, 2004).

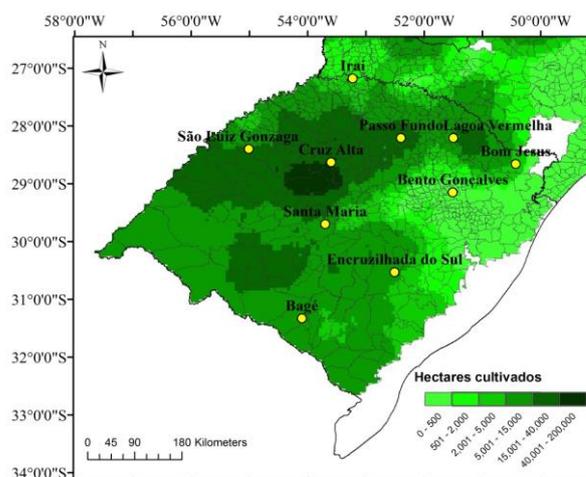
Com base no exposto, o objetivo do trabalho foi quantificar a necessidade de irrigação suplementar e seu efeito na eficiência climática da cultura da soja no Rio Grande do Sul, utilizando para isso os modelos propostos por Thornthwaite & Mather (1955) e Doorenbos & Kassam (1994).

Material e Métodos

Para estimar a necessidade de irrigação para a cultura da soja no estado do Rio Grande do Sul, foram utilizadas as séries de dados meteorológicos diários, coletados entre janeiro/1961 e março/2014 nas estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014), em 10 municípios do Estado (Figura 1). Períodos com ausência ou dados inconsistentes foram desconsiderados (Tabela 1).

Para determinar a necessidade e quantificar a lâmina

Figura 1. Localização geográfica das estações meteorológicas e área cultivada com a cultura da soja, a nível municipal, no estado do Rio Grande do Sul.



de irrigação foram simulados balanços hídricos (BH) para a cultura da soja (Pereira et al., 2002). Nessas simulações, a irrigação foi efetivada sempre que o conteúdo de água disponível no solo alcançasse 50% da capacidade máxima de água disponível no solo (CAD), ou seja, adotando-se um valor de Água Facilmente Disponível (AFD) de:

$$AFD = p \text{ CAD} \quad (1)$$

em que: $p = 0,5$ (Doorenbos & Kassam, 1994) e CAD é a capacidade máxima de água disponível no solo (mm).

Foram adotados três valores máximos de CAD para simular o BH, de 30 mm, 50 mm e 70 mm. Cada valor máximo de CAD foi, ao longo do ciclo da soja, corrigido conforme a estimativa de desenvolvimento e profundidade do sistema radicular (Tabela 2).

Para estimar a evapotranspiração de referência (ET₀) foi usada a equação proposta por Priestley & Taylor (1972):

$$ET_0 = \frac{\alpha W(Rn - G)}{2,45} \quad (2)$$

em que: α é o parâmetro de Priestley & Taylor, igual a 1,26; Rn o saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹) obtido por Pilau et al. (2012); G o fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹), considerado zero neste caso; 2,45 é calor latente de vaporização da água (MJ kg⁻¹); W o fator de ponderação, função da temperatura média do ar (T, °C), obtido por:

$$W = 0,407 + 0,0147T; \text{ para } 0 < T < 16^\circ\text{C} \quad (3)$$

$$W = 0,483 + 0,0100T; \text{ para } 16,1 < T < 32^\circ\text{C} \quad (4)$$

A partir da ET₀ e do coeficiente de cultura (K_c) foi determinada a evapotranspiração da cultura da soja (ET_c). Os

Tabela 1. Estações e série de dados meteorológicos utilizados, em consonância às safras da cultura da soja no estado do Rio Grande do Sul.

| Est. Meteor. / Total de safras | Safras |
|--------------------------------|-----------|
| Bagé / 33 | 1961-1977 |
| | 1979-1983 |
| | 1991-1999 |
| | 2002-2013 |
| Bento Gonçalves / 39 | 1961-1983 |
| | 1988 |
| | 1994-1997 |
| | 2002-2012 |
| Bom Jesus / 34 | 1969-1978 |
| | 1981-1982 |
| | 1991-1999 |
| | 2001-2013 |
| Cruz Alta / 42 | 1961-1971 |
| | 1973-1976 |
| | 1978-1980 |
| | 1982 |
| | 1988 |
| | 1991-1999 |
| Encruzilhada do Sul / 41 | 1962 |
| | 1964-1978 |
| | 1981-1982 |
| | 1988 |
| Irai / 39 | 1961-1969 |
| | 1971-1977 |
| | 1979-1980 |
| | 1991-1999 |
| Lagoa Vermelha / 30 | 1961-1969 |
| | 1971-1977 |
| | 1984 |
| | 2001-2013 |
| Passo Fundo / 45 | 1961-1977 |
| | 1979-1983 |
| | 1988 |
| | 1991-1999 |
| São Luiz Gonzaga / 39 | 1961-1978 |
| | 1991-1999 |
| | 2002-2013 |
| Santa Maria / 38 | 1961-1966 |
| | 1968-1978 |
| | 1991-1999 |
| | 2002-2013 |

Tabela 2. Subperíodos de desenvolvimento, tempo médio por subperíodo, profundidade do sistema radicular (PSR) e conteúdo relativo de água em relação à capacidade máxima de água disponível no solo (CADr) para a cultura da soja.

| Subperíodo de desenvolvimento | Dias ³ | PSR (m) | CADr (%) |
|--|-------------------|-------------------|----------|
| Estabelecimento (S-V1) ⁴ | 15 | 0,15 ¹ | 30 |
| Vegetativo (V2-R1) ⁴ | 40 | 0,38 ² | 75 |
| Floração/Formação dos grãos (R1-R5.5) ⁴ | 35 | 0,45 ² | 90 |
| Maturação (R6-R8) ⁴ | 30 | 0,50 ² | 100 |

¹Fietz & Rangel (2008); ²Estimado a partir da recomendação de Cunha et al. (2001) de crescimento exponencial, com crescimento até a fase de final enchimento de grão (R5.5), conforme apresentado por Neumaier et al. (2000); ³Battisti (2013). ⁴S é a semeadura, V1 é folhas unifolioladas completamente desenvolvidas, V2 é primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida, R1 é o início do florescimento, R5.5 é o fim do enchimento do grão, R6 é grão cheio ou completo, e R8 é a maturação plena (Neumaier et al., 2000).

valores de Kc foram calculados em função do desenvolvimento da cultura (Martorano, 2007):

$$Kc = -0,0001(DAE)^2 + 0,0168(DAE) + 0,4269 \quad (5)$$

em que: DAE significa dias após a emergência da cultura.

Para cada uma das 10 localidades (Tabela 1; Figura 1) foram, anualmente, simulados três balanços hídricos de cultura por CAD, em escala diária, considerando as datas de semeadura de 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro, conforme indicação do zoneamento agrícola de risco climático da soja (MAPA, 2014). Para representar as cultivares dos grupos de maturação 5 e 6, indicados para a Macrorregião Sojícola 1 (microrregiões 101, 102 e 103, que compõem as áreas de produção do RS) (Embrapa, 2012), foi adotado um ciclo médio de 120 dias (Embrapa, 2010) (Tabela 1).

A irrigação foi considerada necessária sempre que, pelo BH, a água facilmente disponível do dia anterior (AFD_d) tivesse chegado próximo ao limite crítico, ou seja, AFD igual a zero. Nesse caso a lâmina de irrigação foi calculada pela diferença entre a AFD e a AFD_c, obtendo-se a água facilmente disponível do próximo dia (AFD_d) (Pereira et al., 2002).

Após determinar a necessidade de irrigação (NI) para cada safra, data de semeadura e tipo de solo (CAD), foram definidos os limites dos percentis de 25 e 75. A partir dos dados de (NI), por análise de regressão múltipla, foram obtidas as equações para a realização da interpolação ao longo do estado com base nas estações disponíveis em função das variáveis de latitude, longitude e altitude:

$$NI = a + b\phi + c\lambda + d\xi + e\phi^2 + f\lambda^2 + g\xi^2 \quad (6)$$

em que: NI é a necessidade de irrigação da soja (mm); ϕ a

latitude (graus e décimos); λ a longitude (graus e décimos); ξ a altitude (m); a é o ponto de intersecção e b, c, d, e, f e g são os coeficiente angulares de ajuste da equação. Os percentis de 25 e 75 representam o valor limite máximo de NI para 25% e 75% dos anos com menor e maior demanda de irrigação, respectivamente.

Com as equações de NI (equação 6), um SIG (ArcGIS) e modelos digitais de elevação para o RS (Shuttle Radar Topography Mission - SRTM), foram gerados os mapas de NI para o Rio Grande do Sul.

Para ponderar sobre a eficiência da referida proposta de determinação da NI na sustentação de um nível produtivo mínimo, a partir do modelo da Zona Agroecológica (Dorenbos & Kassam, 1994) calibrado (Battisti & Sentelhas, 2014), foram calculadas a produtividade potencial (PP) e a produtividade atingível (PA) com irrigação, para cada localidade e safras (Tabela 1), datas de semeadura e CADs. A partir da razão PA/PP foi determinada a eficiência climática acrescida de suplementação hídrica (ECI). A razão PA/PP foi lograda pela álgebra de mapas de PA e PP. Os mapas de

PA e PP foram obtidos com equações de regressão múltipla, como segue, e mapas de elevação digital para o Rio Grande do Sul, da mesma forma que para a NI:

$$PA \text{ ou } PP = a + b\phi + c\lambda + d\xi + e\phi^2 + f\lambda^2 + g\xi^2 \quad (7)$$

onde: PA é a produtividade atingível com irrigação; PP é a produtividade potencial; ϕ a latitude (graus e décimos); λ a longitude (graus e décimos); ξ a altitude (m); a é o ponto de intersecção e b, c, d, e, f e g são os coeficiente angulares de ajuste da equação.

Resultados e Discussão

Para auxiliar no planejamento das lavouras de soja no Rio Grande do Sul, definidas a(s) CAD(s) do solo e a(s) época(s) de semeadura para cada localidade, tem-se disponível a necessidade de irrigação suplementar com foco nos percentis 25% e 75% (Figuras 2 e 3). Todas as regiões do Rio Grande do Sul exibem necessidade de irrigação suplemen-

Figura 2. Necessidade de irrigação suplementar para a cultura da soja no estado do Rio Grande do Sul, referente 25º percentil, para as referidas datas de semeadura (15/10, 15/11 e 15/12) e capacidades máximas de água disponível no solo (CAD de 30 mm, 50 mm e 70 mm).

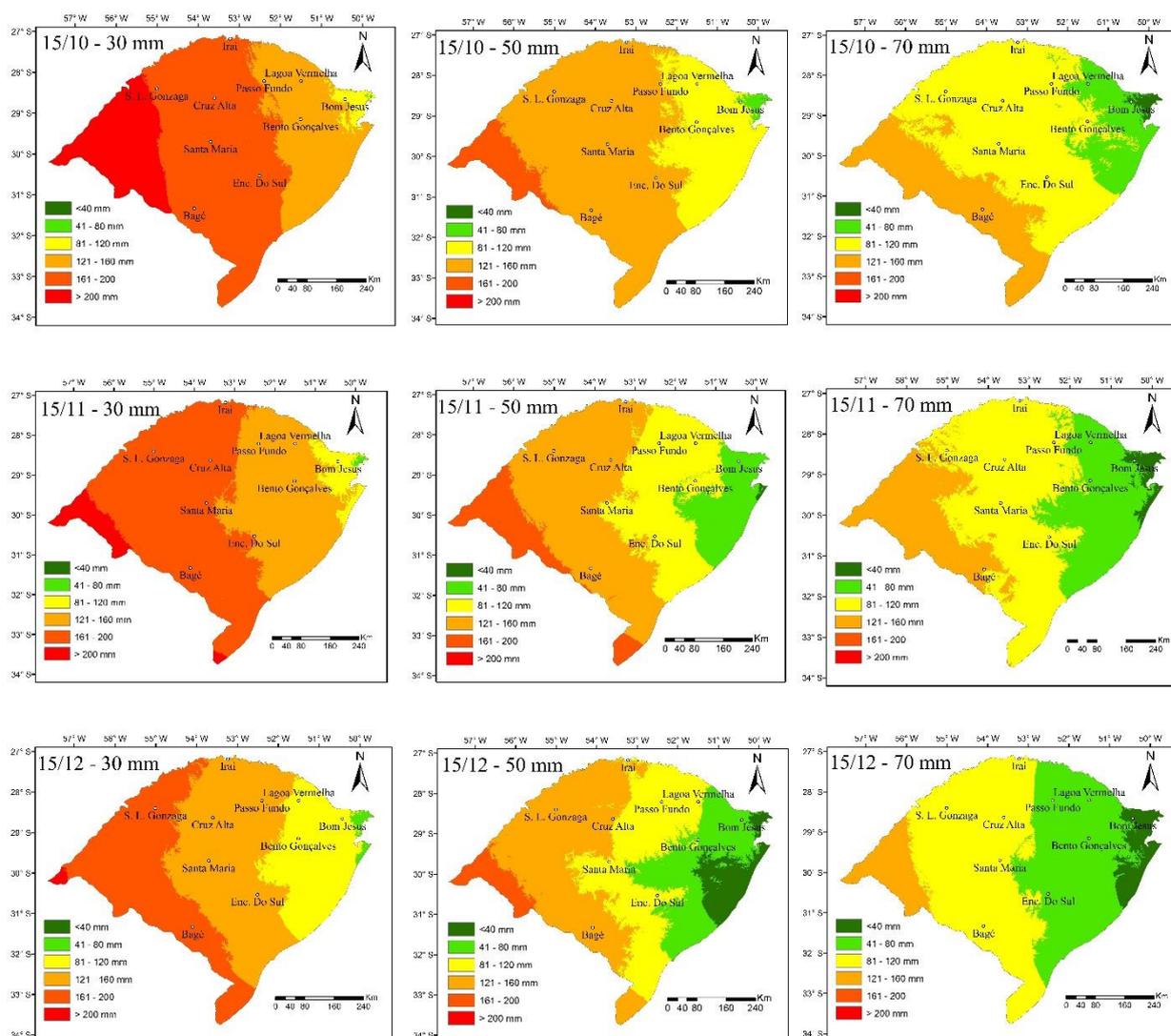
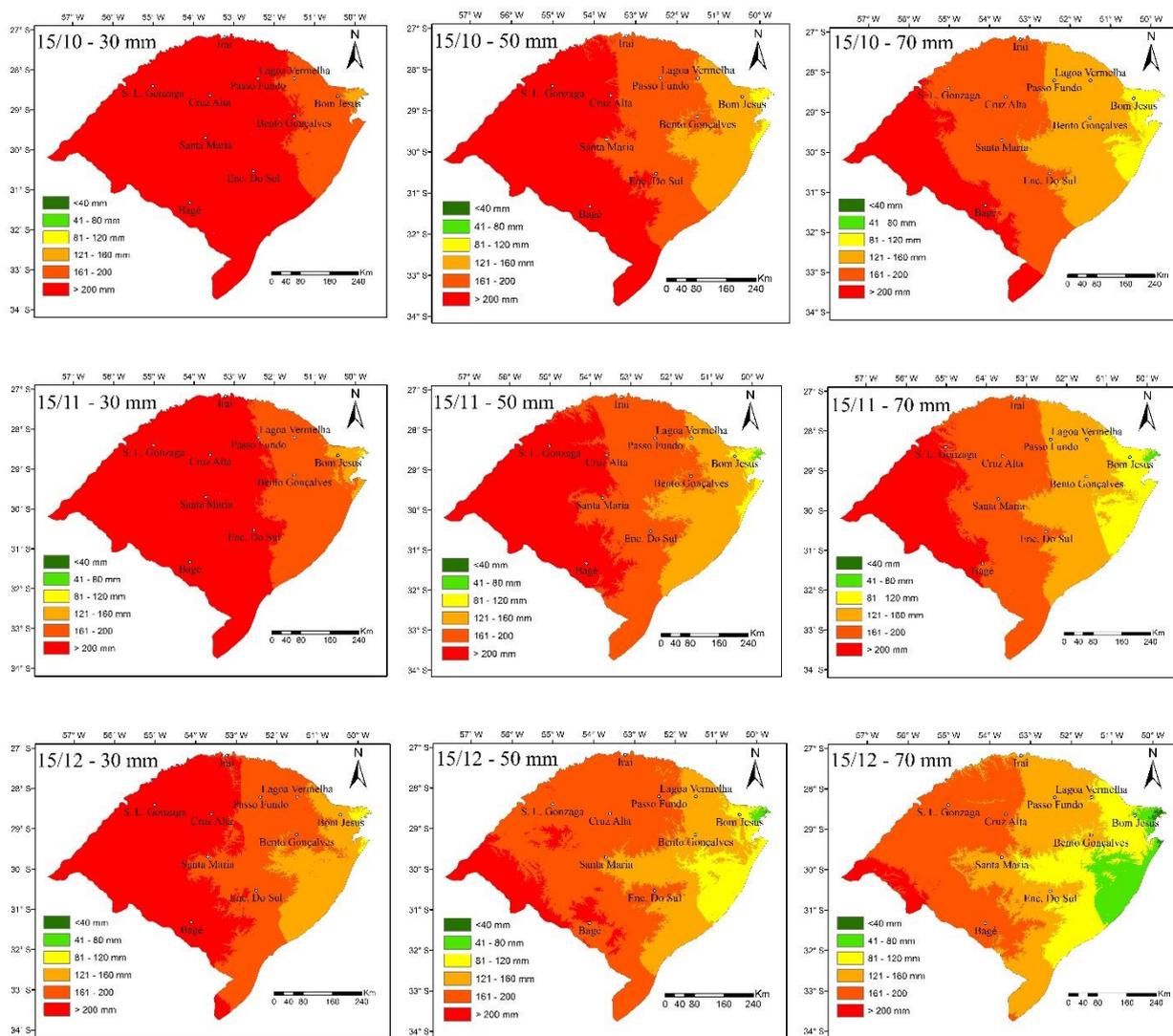


Figura 3. Necessidade de irrigação suplementar para a cultura da soja no estado do Rio Grande do Sul, referente 75° percentil, para as referidas datas de semeadura (15/10, 15/11 e 15/12) e capacidades máximas de água disponível no solo (CAD de 30 mm, 50 mm e 70 mm).



tar, variável com data de semeadura e CAD do solo, mesmo restrito aos anos meteorologicamente mais favoráveis à cultura da soja (Figura 2).

O Rio Grande do Sul exibe precipitação pluviométrica crescente de leste a oeste, com uma divisão latitudinal, próxima aos 30°, que delimita maiores acumulados anuais nas latitudes menores (Buriol et al, 2004). Acrescido a isso, Fontana & Berlato (1997) mencionam que, quando há influência do fenômeno La Niña, registram-se reduções de 80 a 120 mm sobre grande parte do Estado, de ordem crescente de leste para oeste nesses períodos, atenuando o gradiente longitudinal. Além disso, a característica térmica do RS é condicionada pela latitude e altitude, demarcando decréscimos térmicos de norte para sul, fazendo da região nordeste a mais fria e, contrariamente, as áreas da depressão central e fronteira oeste as mais quentes do Estado (Brasil, 1992). Dessa forma, áreas da metade norte do RS, com exceção da região nordeste, mais quentes e com maior demanda atmosférica (ETO) têm os maiores volumes de chuva, en-

quanto mais ao sul do Estado, onde temperatura do ar e ETO são inferiores, tem-se também menores acumulados de chuva. Essas combinações térmicas e hídricas acabam amortecendo as diferenças latitudinais, deixando mais evidentes as divisões longitudinais que estratificam o Estado quanto às necessidades de irrigação suplementar à cultura da soja, com aumentos de leste para oeste (Figuras 2 e 3).

Para semeaduras feitas em 15/12, em solo com CAD de 30 mm, o RS apresenta três zonas longitudinais distintas em relação aos dados do percentil 25%. Uma região central, demandando de 121 a 160 mm e outra a oeste necessitando de 161 a 200 mm demarcam a maior parte das áreas de produção de soja do estado (Figuras 1 e 2). Para a mesma data, mas em solos com CAD de 50 mm, grande parte das áreas de produção necessitam menos de 120 mm, sobretudo em Passo Fundo, condição essa melhorada para CAD de 70 mm, com a quase totalidade necessitando também de menos de 120 mm (Figura 2).

Em relação às principais zonas de produção de soja do

RS (Figura 1) e percentil 75%, mais uma vez a necessidade de irrigação diminui com o atraso da semeadura (Figura 3). Para semeaduras de 15/12, em solos com CAD de 70 mm, a suplementação hídrica é de 121 e 160 mm nas regiões de Passo Fundo, Lagoa Vermelha e Iraí, assim como em Santa Maria e Encruzilhada do Sul. Em direção ao oeste do RS a NI aumenta, superando os 160 mm nas regiões de Cruz Alta, São Luiz Gonzaga e Bagé (Figura 3).

Para lavouras também semeadas em 15/12, a NI passa dos 160 mm para as localidades previamente citadas, com exceção de Lagoa Vermelha, chegando aos 200 mm no oeste do Estado, quando a CAD é de 50 mm. Resultados para CAD de 30 mm confirmam necessidade de irrigação suplementar ainda maior, podendo suplantar os 200 mm em praticamente toda a metade oeste do RS (Figura 3).

Nas principais áreas de produção de soja do RS (Figura 1), semeaduras realizadas em 15/10, em solo com CAD de 30 mm, teriam uma NI de mais de 200 mm (Figura 3). Para a mesma data, em solo com CAD de 50 mm, haveria a necessidade de mais de 200 mm na metade oeste do RS. Apenas as regiões de Passo Fundo, Iraí e proximidades de Santa Maria teriam demanda pouco menor, entre os 161 e 200 mm.

A diminuição da necessidade de irrigação a partir do atraso da semeadura também foi observada por Vivan (2010), especificamente para o Planalto Médio. Ao quantificar as diferenças em necessidade de irrigação entre datas de semeadura para os meses de outubro à dezembro, os resultados apontaram que áreas semeadas em 15/12 necessitam menor lâmina de irrigação suplementar em acordo com resultados (Figura 3) ao redor dos 170 mm. Da mesma forma, Franke & Dorfman (2000) para as condições edafoclimáticas do Planalto Médio e Missões completam que as necessidades de irrigação suplementar foram máximas na semeadura de 15 de outubro, e os menores valores foram encontrados para 15 de dezembro, destacando ainda que as necessidades de irrigação suplementar foram maiores para áreas das Missões que para o Planalto Médio, em acordo com aumento longitudinal de leste para oeste do RS (Figuras 2 e 3). A coincidência da ocorrência do máximo índice de área foliar da soja, com a máxima demanda evaporativa da atmosfera em final de dezembro e início de janeiro, explica a maior parte da máxima necessidade de irrigação suplementar em semeaduras precoces.

Ao avaliarem a eficiência climática para a soja no RS, Battisti et al. (2013) verificaram que a produtividade atingível (PA) aumenta com o atraso da semeadura, de 01/10 até 21/12, um indicativo de que semeaduras tardias resultam em menores déficits hídricos e, portanto, menor necessidade de irrigação suplementar durante o ciclo da cultura.

Além disso, segundo Matzenauer et al. (2017) no RS os eventos ENOS tem maior influência nos meses de outubro a janeiro, coincidindo exatamente com a produção de soja

no estado. De acordo com seus resultados, sob influência do fenômeno La Niña a precipitação pluvial média para o RS (1961-1990) apresenta-se crescente em relação as datas de semeadura de 15/10, 15/11 e 15/12. Totais nessa condição meteorológica são de aproximadamente 460 mm, 490 mm e 520 mm, respectivamente. Sob efeito da fase ENOS oposta, de El Niño, para as mesmas datas, os resultados de Matzenauer et al. (2017) apontam para totais de chuva maiores, decrescendo com atraso da semeadura, de 630 mm (15/10), 605 mm (15/11) e 585 mm (15/12). Mesmo nessa condição meteorológica mais favorável a precipitação pluvial acumulada é inferior aos 800 mm safra⁻¹ necessários para maximizar o rendimento de grãos da soja (Zanon et al., 2016). As diferenças entre o limite (800 mm) e os acumulados descritos por Matzenauer et al. (2017), ainda que sucintamente relacionados a precipitação pluvial, corroboram para com a necessidade e lâminas de água suplementares à cultura da soja (Figuras 2 e 3).

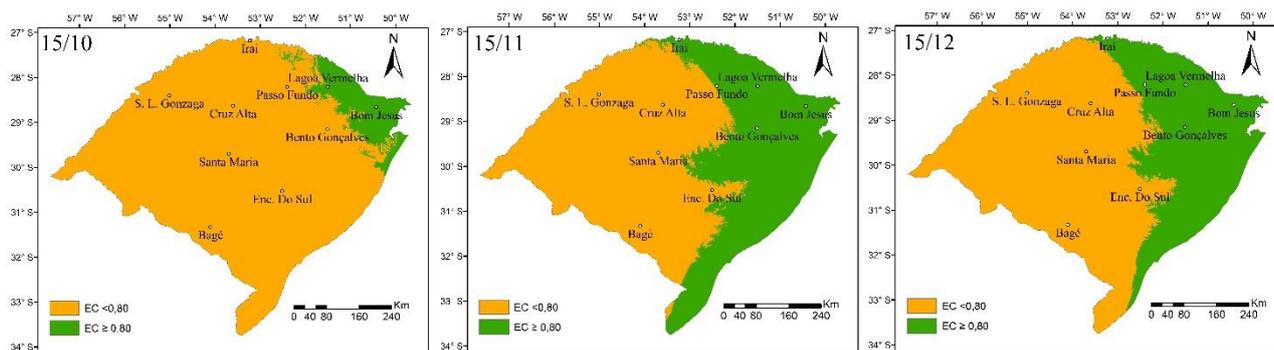
Para a data de semeadura de 15 de outubro, têm-se a menor área com ECI $\geq 0,8$, delimitando o nordeste do Estado, onde área e produção de soja são pequenas (Figuras 1 e 4). Todas as outras regiões do Rio Grande do Sul apresentaram uma ECI menor, mas acima dos 76%. O aumento das áreas com ECI $\geq 0,8$ coincidiu com o atraso da semeadura da cultura. Apesar disso, as principais áreas de produção do Estado seguiram com ECI entre 0,76 a 0,79.

Nessas áreas de produção pode-se elevar a ECI a partir de ajustes no manejo da irrigação. De acordo com Gava (2014), para soja, o déficit hídrico aplicado apenas no subperíodo de floração-formação do grão (R1-R5) afetou a produtividade tal como se o déficit tivesse ocorrido no ciclo todo, condição também observada por Dogan et al. (2007). Quando aplicado em subperíodos vegetativos ou de maturação, a escassez hídrica não reduziu a produtividade, comparativamente ao tratamento com irrigação plena. Portanto, mudanças no manejo da irrigação em relação à proposta de suplementação hídrica constituída, devem ser preferencialmente feitas para o subperíodo R1-R5 da cultura.

Cabe destacar que a produtividade atingível (PA), em kg ha⁻¹, não tem relação direta com os resultados decimais de ECI (Figura 2), pois a produtividade potencial (PP) é variável entre datas de semeadura e locais. Portanto, áreas com ECI $< 0,8$ poderão ter produtividade igual ou superior àquelas que apresentam índice ECI superior. Como média das datas de semeadura e CADs, a PP média é de 5314 kg ha⁻¹ e a PA média de 4230 kg ha⁻¹.

Mesmo em 25% dos anos, os meteorologicamente mais favoráveis (Figura 2), há a necessidade de irrigação para soja no RS, a fim de se sustentar uma ECI de pelo menos 0,76 (Figura 4), independente da CAD, a partir o atraso da semeadura. Isso confirma que em anos neutros e de La Niña (Matzenauer et al., 2017) há a necessidade de irriga-

Figura 4. Eficiência climática para a cultura da soja com manejo de irrigação suplementar para as datas de semeadura de 15 de outubro (15/10), 15 de novembro (15/11) e 15 de dezembro (15/12).



ção suplementar à cultura da soja, a qual será dispensada apenas em anos de El Niño, dependendo da intensidade do fenômeno.

Conclusões

Em função da climatologia do Rio Grande do Sul, a necessidade de irrigação suplementar para a cultura da soja apresenta variação espacial no sentido longitudinal, com aumento das lâminas de irrigação no sentido leste à oeste do Estado. Nos solos predominantemente utilizados para a produção de soja no RS (CAD de 70 mm), para que a irrigação suplementar possa ser plenamente executada em pelo menos 75% dos anos, são necessários de 121 mm a 200 mm safra⁻¹. O manejo proposto para irrigação suplementar mantém a eficiência climática em no mínimo 76%.

Referências

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. 261p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C. Drought tolerance of brazilian soybean cultivars simulated by a simple agrometeorological yield model. *Experimental Agriculture*, p.1-14, 2014.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PARKER, P.S.; NENDEL, C.; CÂMARA, G.M.S.; FARIAS, J.R.B.; BASSO, C.J. Assessment of crop-management strategies to improve soybean resilience to climate change in Southern Brazil. *Crop & Pasture Science*, v. 69, p. 154-162, 2018.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PILAU, F.G. Eficiência agrícola da produção de soja, milho e trigo no estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2008. *Ciência Rural*, v.42, p.24-30, 2012.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PILAU, F.G.; WOLLMANN, C.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*, v.43, p.390-396, 2013.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura.** Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista*

Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.7, n.1, p.119-125, 1999.

BRASIL. **Ministério da Agricultura e Reforma Agrária (MARA).** Normais Climatológicas (1961-1990). Brasília, Brasil, 1992.

BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; CHAGAS, Á.C. de. Distribuição geográfica da precipitação pluviométrica no estado do Rio Grande do Sul. *Vidya*, v.41, p.133-145, 2004.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Safras: séries históricas.** Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 03 nov. 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acomp. safra bras. grãos, v. 12 Safra 2017/18 - Décimo segundo levantamento,** Brasília, 1-148, 2018. ISSN 2318-6852

CUNHA, G.R.; HAAS, J.C.; DALMAGO, G.A.; PASINATO, A. Perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.6, n.1, p.111-119, 1998.

CUNHA, G.R.; HAAS, J.C.; MALUF, J.R.T.; CARAMORI, P.H.; ASSAD, E.D.; BRAGA, H.J.; JULLO JR, J.; LAZZAROTTO, C.; GONÇALVES, S.; WREGE, M.; BRUNETTA, D.; DOTTO, S.R.; PINTO, H.S.; BRUNINI, O.; THOMÉ, V.M.R.; ZAMPIERI, S.L.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M.B.M.; PANDOLFO, C. Zoneamento agrícola e época de semeadura para trigo no Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.9, p.400-414, 2001.

DOGAN, E.; KIRNAK, H.; COPUR, O. Deficit irrigations during soybean reproductive stages and CROPGRO-Soybean simulations under semi-arid climatic conditions. *Field Crops Research*, v.103, p.154-159, 2007.

DORENBOS, J.; KASSAM, A. M. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Estudos FAO - Irrigação e Drenagem n.33, 1994. 306p. (Traduzido por Gheyi, H.R. et al. - UFPA).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Cultivares de Soja - Regiões Sul e Central do Brasil, 2010/2011.** 2010. 62p. Embrapa Soja, Londrina, PR.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2012/2013 e 2013/2014.** In. XXXIX Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul. (Embrapa Trigo. Documentos, 107). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/soja/indicacoes_soja2012-2013.pdf. Acesso em: 03 nov. 2014.

FIETZ, C.R.; RANGEL, M.A.S. Época de semeadura da soja para a região de Dourados - MS, com base na deficiência hídrica e no fotoperíodo. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.666-672, 2008.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.5, n.1, p.127-132, 1997.

FRANKE, A.E.; DORFMAN, R. Análise probabilística das necessidades de irrigação suplementar no Rio Grande de Sul. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.2, n.2, p.109-121, 1997.

FRANKE, A.E.; DORFMAN, R. Necessidades de irrigação suplementar em soja nas condições edafoclimáticas do Planalto Médio e Missões, RS.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, n.8, p.1675-1683, 2000.

GAVA, R. **Os efeitos do estresse hídrico na cultura da soja (Glycine max (L.) Merrill)**. 2014. 123p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

MARTORANO, L.G. **Padrões de resposta da soja a condições hídrica do campo sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT**. 2007. 151 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; MALUF, J.R.T.; BARNI, N.A.; BUENO, A.C.; DIDONE, I.A.; ANJOS, C.S.; MACHADO, F.A.; SAMPAIO, M.R. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105p. (Boletim FEPAGRO, 10).

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Portarias de zoneamento agrícola de risco climático**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>. Acesso em: 03 nov. 2014.

MOTA, F.S. da; AGENDES, M.O. de O.; ALVES, E.G.P. et al. Análise agroclimática da necessidade de irrigação da soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.4, n.1, p.133-138, 1996.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B.; OYA, T. Estádios de desenvolvimento da cultura da soja. In: BONATTO, E.R. (Ed.). **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo; Passo Fundo, 2000. cap.1. p.19-44.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. 2002. 478p. Guaíba: Agropecuária.

PETRY, M.T. **Simulação da necessidade de irrigação no estado do Rio Grande do Sul para compensar perdas por deficiência hídrica de milho, soja e feijão**. 2004. 146p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

PILAU, F.G.; BATTISTI, R.; SOMAVILLA, L.; RIGHI, E.Z. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência nas localidades de Frederico Westphalen e Palmeira das Missões, RS. **Ciência Rural**, v.42, n.2, p.283-290, 2012.

PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, v.100, p.8192, 1972.

SENTELHAS, P.C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G.M.S.; FARIAS, J.R.B.; HAMPF, A.C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil - magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 153, p. 1-18, 2015.

VIVAN, G. A. **Resposta da irrigação suplementar em diferentes cenários para a cultura da soja na microrregião de Passo Fundo, RS**. 2010. 87p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ZANON, A.J.; STRECK, N.A.; GRASSINI, P. Climate and management factors influence soybean yield potential in a subtropical environment. **Agronomy Journal**, v.108, n.4, p.1447-1454, 2016.

REFERENCIAÇÃO

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**, Passo Fundo, v.26, n.2, p.317-325, dez 2018.



Requirement of supplemental irrigation and climatic efficiency for soybean crop in Rio Grande do Sul state, Brazil

Felipe Gustavo Pilau^{1(*)}, Rafael Battisti² and Genei Antonio Dalmago³

¹Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Av. Pádua Dias, 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP, Brazil. E-mail: fgpilau@usp.br

²Universidade Federal de Goiás. Escola de Agronomia. Av. Esperança, s/n, Campus Samambaia, 74690-900. Goiânia, GO. E-mail: battisti@ufg.br

³Embrapa Trigo. Rodovia BR 285, km 294, Caixa Postal 308, CEP 99050-970 Passo Fundo, RS, Brazil. E-mail: genei.dalmago@embrapa.br

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 September 2018

Accepted 26 February 2020

Index terms:

Glycine max (L.) Merrill

water deficit

sowing date

total soil water availability

ABSTRACT

The water deficit is the main cause of production variability between growing seasons in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, and irrigation is an alternative to make the soybean production more stable. Thus, the aim of this research was to quantify the requirement of supplemental irrigation (IR) and climatic efficiency for soybean in the state of Rio Grande do Sul. The IR was quantified using water balance for 33 growing seasons, for sowing date at 15/Oct, 15/Nov and 15/Dec, and with a total soil water availability (TSW) of 30, 50 and 70 mm for 10 sites used to extrapolated results for the state. The simulations were performed considering a crop cycle of 120 days between sowing and maturity. The irrigation was applied when 50% of TSW has been reached. Agro-Ecological zone model was used to quantify the climatic efficiency under irrigation management (CEi). The use of IR keep CEi above 0.76. The IR were lower for later sowing dates for the main production regions in the state. In the best scenario, being sowing date in 15/Dec with TSW of 70 mm, the IR was higher than 160 mm for 75% of the growing seasons.

© 2020 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

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*, Passo Fundo, v.26, n.2, p.317-325, dez 2018.