

SIMULAÇÃO DA NECESSIDADE HÍDRICA E ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE PARA CULTURA DO MILHO EM MUNICÍPIOS DO RS

LUCIANA MARINI KÖPP¹, MARCIA XAVIER PEITER², LUIS HUMBERTO BAHÚ BEN²,
HELENA MARIA CAMILO DE MORAES NOGUEIRA²,
RICHARD ALBERTO RODRÍGUEZ PADRÓN², ADROALDO DIAS ROBAINA¹,
TAISE CRISTINE BUSKE²

¹Universidade Federal de Pelotas, lucianakopp@gmail.com, diasrobaina@gmail.com

²Universidade Federal de Santa Maria, mpeiter@gmail.com, luishumbertoben@hotmail.com,
baxinha.camilo@gmail.com, rarpadron@gmail.com, taisecbuske@gmail.com

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.14, n.2, p. 235-246, 2015

RESUMO - A produtividade de milho é limitada no estado do Rio Grande do Sul (RS), principalmente pela deficiência hídrica. Este estudo objetivou identificar a lâmina suplementar de irrigação e avaliar sua resposta em produtividade para três municípios do RS em diferentes datas de semeadura. Foram usados dados meteorológicos de uma série de 21 anos (1992-2012), dados de solo dos três locais e informações agronômicas da cultura do milho. Foi usado o modelo WinISAREG para simular a demanda hídrica. Com o uso de uma função de produção, foram simuladas as produtividades para cada cenário estudado. Os resultados mostraram que, independente dos locais, a época de semeadura de 15/10 aumentou a produtividade, com evapotranspiração máxima (ETm) de 706 mm, enquanto a semeadura em 15/12 apresentou o menor consumo: 561mm. As lâminas de irrigação suplementar necessárias para repor 100% da ETm, buscando a obtenção da produtividade potencial da cultura, estabelecida em 12.000 kg ha⁻¹, variaram entre 508 e 338 mm para Uruguaiana, 435 e 314 mm para Bagé e 417 e 264 mm para Santa Maria, em função das datas de semeadura adotadas. Sem irrigação, a expectativa de produtividade estimada foi de 2.897 kg ha⁻¹ para Bagé, 3.844 kg ha⁻¹ para Santa Maria e 2.373 kg ha⁻¹ para Uruguaiana. Os resultados indicaram que a irrigação é uma prática que pode contribuir para obtenção de maiores índices de produtividade na região estudada e mostraram que o modelo usado auxilia a tomada de decisão quanto à viabilidade de investimentos em sistemas de irrigação para o cultivo de milho no estado do RS.

Palavras-chave: necessidade hídrica; déficit hídrico; simulação; *Zea mays* L., WinIsareg.

SIMULATION OF WATER REQUIREMENT AND ESTIMATION OF PRODUCTIVITY FOR MAIZE IN CITIES OF RIO GRANDE DO SUL

ABSTRACT - The maize crop yield is limited in the state of Rio Grande do Sul, mainly due to hydric deficit. This study aimed to identify the supplemental irrigation levels and evaluate yield response in three municipalities of the state of Rio Grande do Sul in different planting dates. Meteorological data from a series of 21 years (1992-2012), soil data from each location and agronomic information of the crop were used. The WinISAREG model was used to simulate the hydric demand. Yields were simulated using a function of production for each location. Regardless the localities, the results showed that the planting date of October 15 increased yield, with maximum evapotranspiration of 706 mm, while the planting date of December 15 had the lowest consumption of 561 mm. The supplementary irrigation level needed to replenish 100% of evapotranspiration, trying to get the yield potential of crops on 12,000 kg ha⁻¹, ranged 508-338 mm in Uruguaiana, 435-314 mm in Bagé and 417-264 mm in Santa Maria, depending on planting dates used. Without irrigation, the estimated yield expectation was 2897 kg ha⁻¹ in Bagé, 3844 kg ha⁻¹ in Santa Maria and 2373 kg ha⁻¹ in Uruguaiana. The results indicate that the irrigation is a practice that can contribute to enhance yield in the regions under study and they showed that the model used can help the decision about the viability of investments in irrigation systems in maize crop in the state of Rio Grande do Sul.

Key words: water requirement; water deficit; modeling; simulation; *Zea mays* L., WinIsareg.

A cultura do milho possui importância mundial devido ao seu uso na alimentação animal e na humana, na produção de óleos e, em alguns países, na fabricação de etanol (Silva et al., 2009). No Brasil, a cultura encontra-se entre as espécies mais cultivadas, atingindo uma área total de 15,9 milhões de hectares (Conab, 2013).

No estado do Rio Grande do Sul, a produtividade média de grãos de milho na safra 2012/2013 foi de 5.210 kg ha⁻¹ (Conab, 2013), considerando-se áreas irrigadas e não irrigadas. Por outro lado, a produtividade potencial, em área irrigada na região da Fronteira do RS, atingiu valores superiores a 12.000 kg ha⁻¹ (Pioneer, 2013).

Os municípios de Bagé e Uruguaiana possuem atividade pecuária, com produção de bovinos de corte e ovinos, gerando demanda pela produção de milho utilizado na alimentação animal. A região Central do estado, neste trabalho representada pelo município de Santa Maria, possui atividade agropecuária voltada à pequena propriedade, onde a cultura do milho aparece em destaque. Nos três municípios, a produção de milho é incipiente, tendo como causas fatores diversos, entre os quais a deficiência hídrica, que leva a frustração de safra em grande parte dos anos agrícolas. Assim, a irrigação tem despertado interesse dos produtores como estratégia de garantia de produção.

O zoneamento agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa, 2013), baseado no balanço hídrico, na disponibilidade térmica e na duração do ciclo de cultivares, indica o período de semeadura de 01/11 a 31/12 para os três municípios estudados, o que não permite que o máximo índice de área foliar coincida com o período de maior incidência de radiação solar (21/12), considerando que este é um dos itens que mais contribuem para obtenção da produtividade potencial. A disponibilidade hídrica é

também um dos fatores limitantes de produção, devendo participar do processo de escolha da data de semeadura. No entanto o balanço hídrico realizado pelo Mapa não prevê irrigação, mas apenas reposição de água através da chuva, para uma capacidade de água disponível segundo características físicas dos solos da região. Segundo Bergonci et al. (2001), a alta variabilidade interanual no rendimento do milho se deve à ocorrência de déficits hídricos causados pelas variações da precipitação pluvial, coincidindo com períodos críticos da cultura do milho para este fator. Bergamaschi et al. (2004) constataram que pode haver redução de rendimento mesmo em anos climaticamente favoráveis se o déficit hídrico ocorrer no período crítico, ou seja, da pré-floração ao início de enchimento de grãos. A quantidade e a distribuição da precipitação pluvial estão entre os principais fatores determinantes do rendimento de grãos de milho em regime de sequeiro no Sul do Brasil (Forsthofer et al., 2006).

Matzenauer et al. (2002) afirmam que toda a metade Sul e o extremo Oeste do estado do RS apresentam fortes restrições ao cultivo do milho em decorrência do déficit hídrico e que a cultura necessita, em média, entre 412 e 648 mm de água durante seu ciclo. Petry (2004), estudando 13 anos de dados meteorológicos em cinco regiões agroecológicas do RS, concluiu que a lâmina de água acumulada necessária à complementação da necessidade hídrica da cultura do milho variou com a época e com a região de cultivo.

No estado do Rio Grande do Sul, pesquisas apontam a necessidade de irrigação suplementar para obtenção de níveis satisfatórios de produção. Em experimento conduzido em Santiago, RS, Parizi (2010) concluiu que o uso da irrigação suplementar na cultura do milho proporcionou incremento de 20,4 a 95,4% na produção de grãos, quando comparada a um siste-

ma de cultivo não irrigado. Medici et al. (2014), em uma revisão sobre irrigação deficitária, mostram que em diversos estudos para diversas culturas a lâmina plena permite a obtenção das mais altas produtividades e concluem que a irrigação deficitária deveria ser usada apenas em situações de restrição hídrica. No mesmo sentido, Paredes et al. (2014), em experimento onde analisaram a produtividade da água e o índice econômico de produtividade da água, concluíram que os melhores resultados foram obtidos para os tratamentos sem déficit e com irrigação plena.

A competitividade produtiva associada à política governamental do RS, que estimula a aquisição de equipamentos de irrigação, trouxe a demanda pelo conhecimento das necessidades de irrigação suplementar, visando à obtenção de elevados níveis de produtividade. Neste sentido, existe uma escassez em pesquisas no que se refere ao milho irrigado, devido à necessidade de realização de ensaios de campo por vários anos, o que os torna morosos e onerosos (Cardoso et al., 2004). Paredes et al. (2014) enfatizam que o conhecimento da necessidade hídrica e das respostas de rendimento pode ser avaliado através de modelagem. Sendo assim, modelos de simulação tornam-se uma ferramenta interessante para obtenção desses dados, em curto prazo e a baixo custo.

O modelo de simulação WinIsareg (Teixeira et al., 1992) faz o balanço hídrico pela combinação de dados de solo-clima-cultura e é de fácil utilização (Pereira et al., 2003). Este modelo é baseado no balanço hídrico proposto por Doorenbos & Pruitt (1977) e por Doorenbos & Kassan (1979), requerendo dados climáticos, edáficos e agrônômicos.

Visando a estudar a possibilidade de produção de milho, empregando irrigação suplementar, este trabalho teve por objetivo identificar a demanda hídrica da cultura nos municípios de Bagé, Santa Maria

e Uruguaiana, para semeadura em diferentes datas, e estimar a produtividade frente aos cenários estudados.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido para os municípios de Bagé (latitude: 31,33°, longitude: -54,1°; altitude: 242 m), Santa Maria (latitude: 29,7°; longitude: 53,7°; altitude: 95 m) e Uruguaiana (latitude: 29,74°, longitude: 57,08° e altitude: 74 m), no estado do Rio Grande do Sul, com dados climáticos do período de 1992 a 2012, perfazendo 21 anos de observações meteorológicas. O clima de todos os municípios é subtropical úmido, classificação climática Cfa, segundo Köppen. Os solos adotados para este estudo, em função da sua aptidão agrícola para cultivo do milho, são classificados por Streck et al. (2008) como: Bagé – Luvisolo Hápico Órtico Típico (unidade de mapeamento Bexigoso); Santa Maria -Podzólico Vermelho Distrófico Típico (unidade de mapeamento - São Pedro); Uruguaiana – Neossolo Litólico Eutrófico Típico (unidade de mapeamento - Pedregal).

Foram estabelecidos 12 cenários pela combinação de três locais (Bagé, Santa Maria e Uruguaiana) e quatro datas de semeadura (15/09, 15/10, 15/11 e 15/12), com o objetivo de avaliar a existência de diferenças entre as demandas hídricas da cultura em diferentes locais e em diferentes épocas de cultivo.

Este trabalho foi desenvolvido a partir de dados de clima, solo e planta, usando o modelo WinIsareg para simulação, sendo adotada a condição de conforto hídrico (sem déficit) para obtenção da produtividade potencial da cultura.

Os dados de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação, insolação, velocidade do vento e umidade relativa, em base diária, foram obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pes-

quisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet, 2013). Foi feita a análise de consistência dos mesmos, descartando cinco anos de cada um dos municípios, de forma que foram utilizados apenas 16 anos.

Os dados de solo foram obtidos por observações, determinações realizadas a campo e ensaios de laboratório. Os dados necessários a serem informados ao modelo foram: capacidade de campo (%) e ponto de murcha permanente (%) em base de peso; profundidade efetivamente usada pelo sistema radicular (cm); densidade do solo (g cm^{-3}); textura do solo (% de argila, % de areia e % de silte). A profundidade efetiva, correspondente ao volume de 70% do sistema radicular, foi avaliada pela abertura de trincheira e observação visual com correspondente medida. A classificação do solo foi tomada com base em Streck et al. (2008). A duração dos estádios fenológicos adotados para o milho foram obtidos a partir da descrição apresentada por Magalhães & Durães (2006), com base em cultivares de ciclo precoce, grupo I descrito na portaria de zoneamento agrícola do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Mapa). Assim, foi considerado o ciclo de 125 dias, dividido em 20 dias de fase inicial (K_c inicial), 35 dias de desenvolvimento até o pendoamento para atingir o K_c médio por 40 dias (entre pendoamento e enchimento de grão) e 30 dias de maturação. O coeficiente de cultivo (K_c), para as diferentes fases do ciclo fenológico, foram os sugeridos no boletim FAO-56 (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), descrito por Allen et al. (1998).

Com os dados de clima, solo e planta, o modelo WinIsareg foi aplicado em quatro diferentes datas de semeadura: 15/09; 15/10; 15/11; e 15/12. As duas primeiras datas foram escolhidas, contrariando o zoneamento agrícola do Mapa (2014), buscando obter o máximo aproveitamento da energia solar, fazendo

coincidir a época de maior incidência de radiação solar com aquela de maior índice de área foliar no desenvolvimento vegetativo do milho.

Buscando a obtenção de 100% da produtividade potencial da cultura, foram simuladas, através do modelo WinIsareg, as lâminas hídricas suplementares, para complementar a chuva efetivamente aproveitada, visando a igualdade entre a evapotranspiração máxima (ET_m) e a evapotranspiração real (ET_r), para a série de 16 anos de dados.

Os resultados obtidos, relativos à lâmina de irrigação suplementar necessária, para as combinações de local e de data de semeadura para o período analisado, foram considerados como obtidos experimentalmente, permitindo desta forma a realização da análise de variância para verificar a existência de diferença entre os tratamentos. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, onde os blocos foram os anos, em arranjo bifatorial, sendo os fatores o local e a data de semeadura, ambos qualitativos.

Paralelamente, usando a metodologia proposta por Dorenboos & Kassan (1979), foi elaborada a função de produção, a partir da função simplificada de relação entre rendimento e evapotranspiração, representada na equação a seguir.

$$\left(1 - \frac{Y_r}{Y_m}\right) = K_y \times \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right) \quad (1)$$

K_y é o fator de resposta do rendimento, tabulado por Doorembos & Kassan (1979); Y_r é o rendimento real da cultura (kg ha^{-1}); Y_m é o rendimento potencial da cultura, na condição de cultivo sem restrição hídrica e com os demais fatores de produção atendidos (Kg ha^{-1}); ET_r é a evapotranspiração real (mm); e ET_m é a evapotranspiração máxima (mm) do cultivo em condição de conforto hídrico, ou seja, sem restrição de água.

Foi estimada a redução na produtividade potencial, em função dos valores simulados para as menores, as médias e as maiores lâminas suplementares de irrigação requeridas nas 12 combinações estudadas, considerando-se que: (a) a evapotranspiração real (ET_r) possa ser estimada pela diferença entre a ET_m e a lâmina suplementar de irrigação mínima, média e máxima, simulada para o período estudado (1992-2012); (b) o fator de resposta da cultura (K_y) de 1,25 para o período total de crescimento (Doorenbros & Kassan, 1979); (c) a produtividade potencial da cultura do milho no estado do RS estabelecida em 12.000 kg ha⁻¹ neste trabalho, para efeito de comparação entre municí-

pios, com base em produção obtida experimentalmente (Pioneer, 2013).

Depois de efetuadas as simulações das lâminas hídricas requeridas pelo milho para as diferentes situações simuladas e nos valores de produtividade obtidos pela função usada, os dados foram tabulados e interpretados.

Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os valores das lâminas de irrigação mínima, máxima e média requeridas, bem como o valor da ET_m média para cada data e cada local na série de dados meteorológicos estudada. Os

TABELA 1. Evapotranspiração máxima (ET_m) e lâmina de irrigação suplementar para o milho, em três locais e em quatro datas de semeadura, simuladas a partir de dados de clima, de solo e de planta.

Data de semeadura	Local	ET_m (mm)	Lâmina de irrigação suplementar		
			mínima (mm)	máxima (mm)	média (mm)
15/09	Bagé	677	176	610	426
	Santa Maria	669	204	501	347
	Uruguaiana	718	198	631	508
15/10	Bagé	701	219	608	435
	Santa Maria	683	264	591	417
	Uruguaiana	735	242	689	464
15/11	Bagé	663	157	536	412
	Santa Maria	632	206	518	346
	Uruguaiana	688	207	652	446
15/12	Bagé	567	105	399	315
	Santa Maria	531	99	384	264
	Uruguaiana	584	196	495	338
Média		654	189	551	393

valores da ET_m indicam todos os locais e épocas de cultivo como de alta a muito alta demanda evaporativa, o que é um indicativo no que se refere a potencialidade produtiva.

O valor de ET_m média obtido neste trabalho (654 mm) se assemelha ao observado por Matzenauer et al. (1983), que relacionaram o consumo hídrico do milho com a população de plantas e verificaram que, para 67.000 plantas ha^{-1} , a evapotranspiração atingiu o valor de 650 mm no ciclo. Caseiro et al. (1997) encontraram 668 mm de evapotranspiração total no ciclo e corroboram com a afirmação de Magalhães & Durães (2006), de que a quantidade de água consumida por uma lavoura de milho durante o seu ciclo está em torno de 600 mm. Os resultados deste trabalho identificam um intervalo de consumo hídrico de 531 a 735 mm, indicando uma variabilidade de 204 mm, que é decorrente da variabilidade climática entre os municípios e as datas de semeadura estudadas, apesar de todos serem clima Cfa. Apresentam-se, na Tabela 2, as variáveis normais climatológicas para as três cidades estudadas, entre os meses de cultivo do milho (setembro a março). Observa-se que Uruguaiana apresenta a temperatura média mais alta e maior insolação, que pode estar correlacionada com a maior ET_m neste município. Já Santa Maria é o município

com maior média de umidade relativa entre os três, que pode indicar menor demanda evaporativa.

De maneira geral, as épocas de semeadura que requerem maiores lâminas suplementares também têm maior variabilidade, comprovando ser essa cultura muito sensível a deficiência hídrica, o que leva a maiores instabilidades na produtividade. Os dados, obtidos por simulação, diferem daqueles obtidos por Bergamaschi et al. (2006), que observaram em experimentos de campo, na média de dez anos, no município de Eldorado do Sul (RS), a necessidade da suplementação média de 204 mm no ciclo da cultura do milho. No entanto, se aproximam dos 335 mm de lâmina suplementar aplicados por Coletto et al. (2005), em Uruguaiana (RS), no milho semeado em final de novembro e colhido na fase de grão farináceo duro, para confecção de silagem de planta inteira. Gedanken et al. (2003), utilizando o programa de simulação Ceres-Maize (DSSAT versão 3.0) para dois municípios de Minas Gerais, não observaram diferenças entre as lâminas suplementares simuladas para os locais, tendo obtido a média de 368,4 mm.

Para os três municípios (Bagé, Santa Maria e Uruguaiana), se observa que a última data de semeadura estudada (15/12) produziu as menores lâminas suplementares requeridas, confirmando ser esta a data

TABELA 2. Média das normais climatológicas (1961-1990) mensais das variáveis temperatura média, umidade relativa do ar, insolação, velocidade do vento, temperatura máxima e temperatura mínima entre os meses de setembro e março para três cidades do Rio Grande do Sul.

Cidade	Temperatura (°C)	Umidade Relativa do ar (%)	Insolação acumulada (h)	Velocidade do vento ($m.s^{-1}$)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
Bagé	21,4	67,0	201,9	2,92	27,6	16,6
Santa Maria	21,9	73,0	206,8	3,08	28,2	17,9
Uruguaiana	23,1	67,6	242,8	2,53	29,1	18,0

Fonte: Banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet,2013).

de semeadura que gera a menor deficiência hídrica; portanto, a mais recomendada para o cultivo não irrigado. Esta observação foi identificada por Nied et al. (2005), que afirmaram que as épocas de semeadura após meados de dezembro ao início de janeiro são as que apresentam as menores probabilidades de ocorrência de deficiência hídrica em todo o ciclo, para Santa Maria (RS). O Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura do milho no RS indica, para as cultivares do grupo I (precoces) e solo do tipo 2 (textura média), as datas de semeadura de: 01/12 a 31/12 para o município de Bagé; 01/11 a 20/01 para o município de Santa Maria; e 21/11 a 31/12 para o município de Uruguaiana, o que confirma as menores necessidades de irrigação suplementar geradas por simulação, uma vez que a recomendação do zoneamento é feita para áreas não irrigadas.

No entanto, buscando a obtenção de potenciais produtivos, a antecipação da semeadura para 15/10, para os três municípios estudados, pode trazer aumento de produtividade pela maior evapotranspiração potencial e pela coincidência do pleno desenvolvimento

vegetativo com a época de maior disponibilidade de radiação solar, que ocorre no solstício de verão. Silva et al. (2010) indicam que o aumento da densidade associado a antecipação da data de semeadura, em relação à sugestão do zoneamento agrícola, permite o uso mais eficiente dos recursos naturais com a possibilidade de entrada de uma segunda cultura de verão fazendo a “safrinha” ou com a disponibilização antecipada para cultivos de inverno.

Após a realização do teste de normalidade dos dados, foi realizada a análise de variância (Anova), com uso do software Assistat 7.7, que pode ser vista na Tabela 3.

A análise indicou diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade entre as lâminas suplementares requeridas para as diferentes datas de semeadura e também para os diferentes locais analisados. O delineamento experimental usado se mostrou eficiente, pois a Anova indicou que o bloqueamento encontrou diferenças que não se devem ao acaso. Assim, o delineamento conseguiu isolar o efeito dos anos, que não era objeto deste estudo. Entre as variáveis estudadas,

TABELA 3. Análise de variância em delineamento blocos ao acaso, em arranjo bifatorial, sendo fator A (local) e fator D (época de semeadura).

Causa de variação	GL	SQ	QM	F
A- Data de semeadura	3	494700,09	164900,03	171,71**
D- Local	2	275568,71	137784,35	143,47**
Interação AD	6	57070,48	9511,74	9,90**
Tratamentos	11	827339,29	75212,66	78,31**
Blocos	14	1763620,75	125972,91	131,17**
Resíduo	154	147894,28	960,35	-
Total	179	2738854,33		-

**Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). CV=7,88%.

ocorreu interação, indicando existirem combinações entre os locais e as datas de semeadura, com diferenças estatisticamente significativas. Para avaliar este efeito, foi realizado o teste de comparação de médias de Tukey a 5% para as quatro datas de semeadura e para os três locais, ambos os tratamentos qualitativos. Os resultados são apresentados na Tabela 4, que mostra para a cidade de Uruguaiana a data de 15/09 como a de maior necessidade de irrigação suplementar e a menor necessidade ocorrendo para a cidade de Santa Maria, com semeadura em 15/12, sendo a amplitude de 244 mm entre esses locais. Na média do período de estudo, em relação à variabilidade de lâminas suplementares para uma mesma cidade, observaram-se as seguintes amplitudes: Uruguaiana 170 mm; Bagé 121 mm; e Santa Maria 153mm, indicando que, em relação à demanda evapotranspirométrica, entre os três locais estudados, Uruguaiana é o município com maior potencial produtivo por apresentar a maior ETm (706 mm), superando Bagé (652mm) e Santa Maria (560 mm).

Para Uruguaiana, a produtividade simulada sem irrigação na média dos anos foi de 2.373 kg ha⁻¹,

enquanto que para Santa Maria foi de 3.844 kg ha⁻¹ e para Bagé 2.897 kg ha⁻¹. Estes resultados mostram que a melhor resposta à irrigação será obtida no município de Uruguaiana, por ser o de mais alta demanda evaporativa e o de menor produção sem irrigação.

A produtividade média esperada, sem irrigação, para as três cidades estudadas e para as quatro datas de semeadura propostas foi de 3038 kg ha⁻¹. Este valor se aproxima de 3.438 kg ha⁻¹, produtividade média do Rio Grande do Sul para o período de 1997 a 2013 (Conab, 2013).

Na Figura 1, está representada a redução esperada na produtividade potencial para cultivo sem irrigação, para cada local e datas estudadas. Pode-se observar que, nos anos com maior deficiência hídrica, quando são necessárias as maiores lâminas suplementares de irrigação, se tem em média uma redução de 74,7% em relação à produtividade potencial. Já nos melhores anos, considerados aqueles em que a lâmina suplementar de irrigação é mínima, a perda de produtividade fica em média em 35,8%. Assim, pode-se concluir que, mesmo nos melhores anos, não irrigar significa perder produtividade. A data de semeadura de 15/12, reco-

TABELA 4. Comparação de médias de lâminas de irrigação suplementar simuladas para os três locais e as quatro datas de semeadura estudados.

Data de semeadura	Local						
	Bagé		Santa Maria		Uruguaiana		
15/09	426	Ab	347	bC	508	aA	
15/10	435	Ab	417	aB	464	bA	
15/11	412	Ba	345	bC	446	bA	
15/12	314	Ba	264	cB	338	cA	
MÉDIA	397		343		439		

Teste de Tukey com $\alpha=5\%$ de probabilidade de erro. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si (maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical).

mendada pelo zoneamento climático, é aquela em que a falta de irrigação suplementar gera as menores reduções de produtividade para os três locais estudados. Uruguaiana é o município em que a falta da irrigação gera as maiores reduções de produtividade nos anos mais secos, enquanto Santa Maria apresenta as maiores reduções nos anos com menor deficiência hídrica e nas datas de semeadura de 15/09, 15/10 e 15/11.

Conclusões

Na simulação realizada, o consumo de água pela cultura do milho variou de 531 mm (Santa Maria, semeadura em 15/12) a 735 mm (Uruguaiana, semeadura em 15/10) e a lâmina suplementar média

necessária para os locais e as épocas de semeadura estudadas foi de 393 mm.

Nos anos de menor necessidade hídrica, a falta da irrigação produz redução no rendimento potencial de 35,8% e estima-se que, em 74,7% dos anos, ocorra frustração de safra.

A época de semeadura de 15/10, associada ao uso de irrigação suplementar, pode elevar os níveis de produtividade de milho nas regiões estudadas.

Para o cultivo sem irrigação, a produtividade média esperada é de 3.038 kg ha⁻¹ e a melhor data para semeadura é 15/12, pois favorece uma menor deficiência hídrica durante o período de cultivo.

Os resultados deste trabalho apontam a irrigação como forma de potencializar a produtividade e

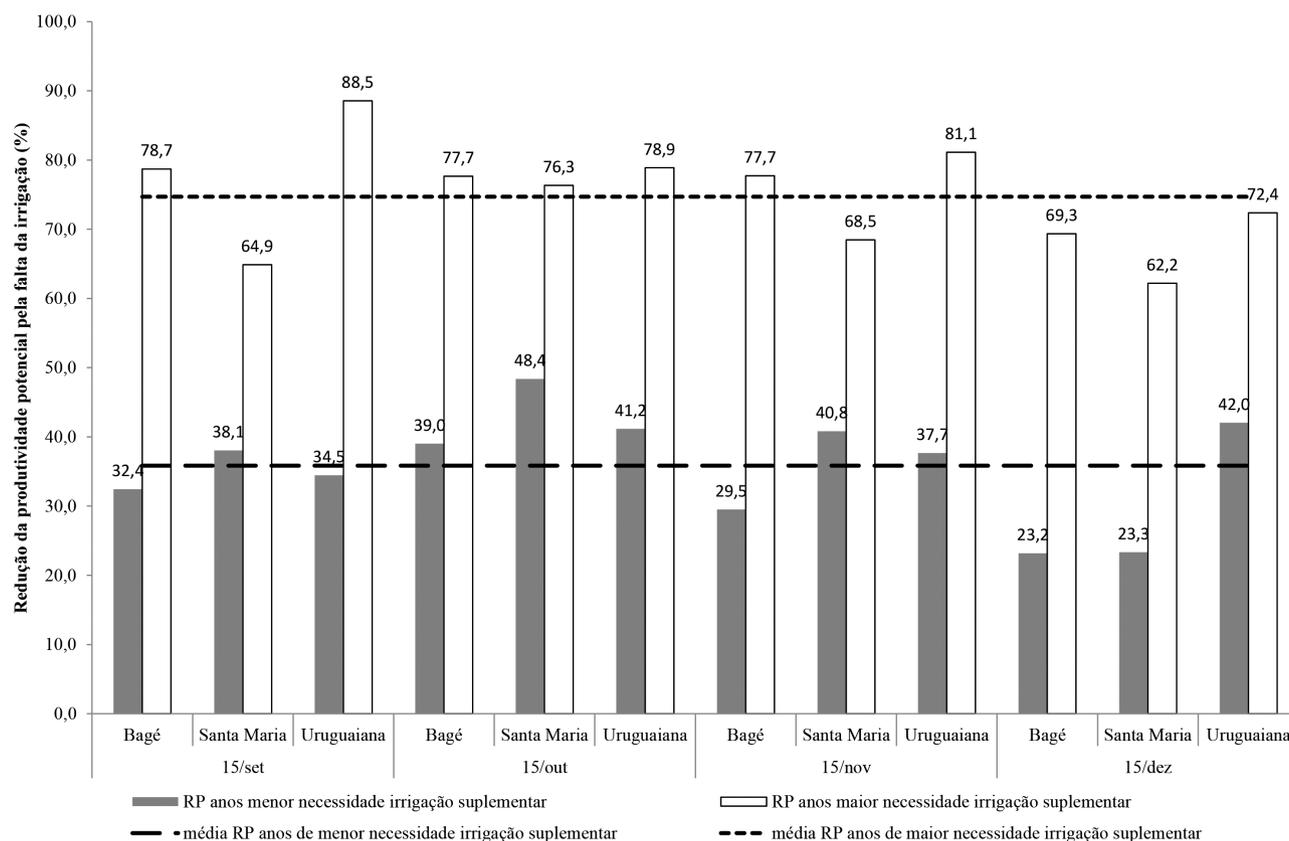


FIGURA 1. Redução da produtividade potencial em função de necessidade de irrigação suplementar na cultura do milho em diferentes municípios e datas de semeadura.

podem ser indicativos para estudo da viabilidade de investimentos em sistemas de irrigação para cultivo de milho nos municípios estudados.

Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MULLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 9, p. 831-839, set. 2004.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MULLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 2, p. 243-249, fev. 2006.
- BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A. O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, p. 949-956, 2001.
- CARDOSO, C. O.; FARIA, R. T.; FOLEGATTI, M. V. Aplicação do modelo ceres-maize na análise de estratégias de irrigação para milho “safrinha” em Londrina-PR. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 37-45, jan./abr. 2004.
- CASEIRO, E. M. F. D.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; ALBUQUERQUE, M. C. F. Influência da época da colheita e do período de armazenamento na qualidade fisiológica das sementes de soja (*Glycinemax (L.) Merrill*) de maturação precoce. **Agricultura Tropical**, Cuiaba, v. 3, n. 1, p. 48-60, 1997.
- COLETTI, L. S.; KOPP, L. M.; TOESCHER, C. F. e ANCINELO, A. G. Produtividade de cultivares de milho, sob irrigação via pivô central, em Uruguaiana-RS. 50ª Reunião Técnica Anual de Pesquisa de Milho e 33ª Reunião Técnica Anual de Pesquisa de Sorgo. **Atas e Resumos**. Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária-FEPAGRO/EMATER//RS-ASCAR. Porto Alegre, 2005. 227p.
- CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2012/13** - Décimo Segundo Levantamento-Setembro/2013. Dados de safra. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 19 nov. 2013.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Rome: FAO, 1977. 194 p. (FAO. Riego y Drenaje, n.24, 1977).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p. (FAO. Riego y Drenaje, n.33).
- FORSTHOFER, E. L.; SILVA, P. R. F.; STRIEDER, M. L.; MINETTO, T.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SUHRE, E.; SILVA, A. A. Desempenho agrônômico e econômico do milho em diferentes sistemas de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 3, p. 399-407, 2006.
- GEDANKEN, A.; MANTOVANI, E. C.; MANTOVANI, B. H. M.; COSTA, L. C.; SANS, L. M. A.; FREITAS, P. S. L. de. Utilização do modelo Ceres-Maize na avaliação de estratégias

- de irrigação na cultura do milho em duas regiões do Estado de Minas Gerais. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 439-447, 2003.
- INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa** – BDMEP. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 10 set. 2013
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 76).
- MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUARIA E ABASTECIMENTO- **Portaria 56/2013- Zoneamento agrícola de risco climático para cultura do milho no estado do Rio Grande do Sul, ano safra 2013/2014**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola/portarias-segmentadas-por-uf>. Acesso em: 21 out. 2013.
- MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S. L.; BERGAMASCHI, H. Relações entre a evapotranspiração do milho e as fórmulas de Penman e Thornthwaite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, p. 1207-1214, 1983.
- 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. 105 p. (FEPAGRO. Boletim, 10).
- MEDICI, L. O.; REINERT F.; CARVALHO, D. F.; KOZAKD, M.; AZEVEDO, R. A. What about keeping plants well watered? **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 99, p. 38-42, 2014.
- NIED, A. H.; HELDWEIN, A. B.; ESTEFANEL, V.; SILVA, J. C. da; ALBERTO, C. M. Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 995-1002, set-out, 2005.
- PAREDES, P.; RODRIGUES, G. C.; ALVES, I.; PEREIRA, L. S. Partitioning evapotranspiration, yield prediction and economic returns of maize under various irrigation management strategies. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 135, p. 27-39, 2014.
- PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas do milho e feijão através de estudo experimental e simulado**. 2010. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- PEREIRA, L. S.; R.; TEODORO; N.; RODRIGUES; L.; TEIXEIRA: Irrigation scheduling simulation: the model ISAREG. In: G. ROSSI, A.; CANCELLIERE; L.S.; PEREIRA, T.; OWEIS, M.; SHATANAWIAND A.; ZAIRI, A. (Ed.). **Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions**. Dordrecht: Kluwer, 2003. p. 161-180.
- PETRY, M. T.. **Simulação da necessidade de irrigação no Estado do Rio Grande do Sul para compensar perdas por deficiência hídrica para Milho, Soja e Feijão**. 2004. 174 f. Tese (Doutorado Ciência do Solo) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

- PIONEER. **Resultados de produtividade.** Disponível em: <http://www.pioneersementes.com.br/Milho/Central-deprodutos/Pages/Resultados.asp?typ=Milho>.2013. Acesso em 11 nov. 2013.
- SILVA, G. J.; GUIMARÃES, C. T.; PARENTONI, S. N.; RABEL, M.; LANA, U. G. P.; PAIVA, E. **Produção de haploides androgenéticos em milho.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 17 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 81).
- SILVA, P. R. F. da; PIANA, A. T.; MAASS, L. B.; SERPA, M. da S.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M.; ENDRIGO, P. C.; JANDREY, D. B. Adequação da densidade de plantas à época de semeadura em milho irrigado. **Revista de Ciências Agroveterinárias.** Lages, v. 9, n. 1p. 48-57, 2010.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO L. F. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2. ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222 p.
- TEIXEIRA, J. L.; PEREIRA, L. S. ISAREG- an irrigation scheduling model. **ICID Bulletin,** New Delhi, v. 41, n. 2, p. 29-48, 1992.