

RENDIMENTO DE ETANOL, PRODUTIVIDADE DA ÁGUA E PRODUTIVIDADE ECONÔMICA DA ÁGUA PARA MILHO E SORGO

MIGUEL CHAIBEN NETO¹; ADROALDO DIAS ROBAINA²; MARCIA XAVIER PEITER³; JHOSEFE BRUNING⁴; YESICA RAMIREZ FLORES⁵ E SILVANA ANTUNES RODRIGUES⁶

¹ Eng. Agrícola, doutor em Eng. Agrícola, Departamento de Engenharia Rural (DER), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: miguelchaiben@gmail.com.

² Eng. Agrônoma, doutor, Professora do Departamento de Engenharia Rural (DER), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail diasrobaina@gmail.com.

³ Eng. Agrônomo, doutora, Professor do Departamento de Engenharia Rural (DER), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail marcia.peiter@ufsm.br.

⁴ Eng. Agrícola, doutor em Eng. Agrícola, Departamento de Engenharia Rural (DER), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: jhosefe.b@gmail.com.

⁵ Tecnóloga em Geoprocessamento, Mestra em Eng. Agrícola, Departamento de Engenharia Rural (DER), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: yeyiramiflo@gmail.com.

⁶ Eng. Agrícola, Doutora em Eng. Agrícola, Departamento de Engenharia Rural (DER), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: rodrigues.silvana.a@gmail.com

1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da irrigação na produtividade de etanol (PE), produtividade da água (PA) e produtividade econômica da água (PEA) para produção de etanol a partir das culturas de milho e sorgo granífero. O estudo foi realizado em duas safras na área experimental do Colégio Politécnico da UFSM. O delineamento experimental foi um arranjo bifatorial em faixas com blocos ao acaso e quatro repetições. Sendo avaliadas no fator “A”, três lâminas de irrigação por aspersão: 0%, 50% e 100% da evapotranspiração de referência (ET_o), e no fator “D”, cultivares de milho e sorgo granífero. Para a determinação da produtividade das culturas, foram coletadas as plantas de cinco metros lineares. A PE de cada tratamento foi obtida pelo produto da produtividade de grãos pelo rendimento médio de etanol. O milho apresentou incremento de 60,23% e 27,37% na PE quando comparado ao sorgo nas duas safras. O uso da irrigação apresentou diferença significativa, a lâmina de 100% resultou em um incremento de 48,25% e 10,08% para a PE quando comparada com a testemunha e a lâmina de 50% da ET_o, respectivamente. A PA e a PEA apresentaram os melhores resultados na lâmina de 50% de reposição hídrica.

Palavras-chave: irrigação, eficiência do uso da água, biocombustível.

CHAIBEN NETO, M.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; BRUNING, J.; FLORES, Y. R. E RODRIGUES, S. A.

ETHANOL YIELD, WATER PRODUCTIVITY, AND ECONOMIC WATER PRODUCTIVITY FOR CORN AND SORGHUM

2 ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of irrigation on ethanol yield (EY), water productivity (WP) and economic water for ethanol production from corn and grain sorghum crops. The study was carried out in two growing seasons in the experimental area of Colégio Politécnico da UFSM. The experimental design was a two-factor arrangement in strips with randomized blocks and four replications. In the “A” factor, three sprinkler irrigation levels were evaluated: 0%, 50%, and 100% of the reference evapotranspiration (ET_o), and in the “D” factor, maize and grain sorghum cultivars. For the determination of the crop’s productivity, the plants of five linear meters were collected. The EY of each treatment was obtained by the product of grain yield by average ethanol yield. Corn presented an increase of 60.23% and 27.37% in EY when compared to sorghum in both growing seasons. The use of irrigation showed a significant difference, the water depth of 100% resulted in an increase of 48.25% and 10.08% for EY when compared to the control and the water depth of 50% of the ET_o, respectively. The WP and EWP presented the best results in the 50% water replacement depth.

Keywords: irrigation, water use efficiency, biofuel

3 INTRODUÇÃO

A matriz energética mundial está em processo de mudança, a necessidade de substituição do uso de combustíveis fósseis por fontes renováveis vem fomentando a pesquisa e o desenvolvimento de diversas culturas, técnicas e tecnologias de alto desempenho e baixo custo (ZHANG *et al.*, 2016).

Uma alternativa para mitigar os impactos ambientais e o aumento do preço dos combustíveis fósseis, sem deixar de atender novas demandas de energia, são os biocombustíveis, como o etanol, que estimulam o crescimento agrícola e proporcionam melhores condições econômicas (ECKERT *et al.*, 2018; MACEDO *et al.*, 2020).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de etanol, sendo o milho e a cana-de-açúcar as principais matérias-primas (DAR *et al.*, 2018). O país apresenta características climáticas que favorecem a produção de milho em mais de uma safra anual, aliado a isso, a cultura tem alto rendimento por área plantada, além de tecnologias de produção e pós-colheita bem estabelecidas (ECKERT *et al.*, 2018).

A cultura do sorgo tornou-se uma importante alternativa como matéria-prima na produção de etanol. É uma cultura que se adapta a diferentes condições, sendo tolerante a altas temperaturas e excessos ou déficits hídricos, apresentando período de crescimento e consumo de água menores em comparação a outras culturas, por exemplo, em condições de escassez de água, o sorgo tolera uma redução de até 25% da evapotranspiração da cultura, economizando água e aumentando a produtividade e a produção de etanol (AYDINSAKIR *et al.*, 2021).

O rendimento de etanol por tonelada de grãos das culturas de milho e sorgo granífero é vem sendo relatado em diversos estudos publicados na literatura científica. Trabalhos como os de Gumienna *et al.* (2016), Szambelan *et al.* (2018), Kumar *et al.* (2018), Kurambhatti *et al.* (2018), Kumar *et al.* (2020) e Silva e Castañeda-ayarza (2021), relatam que a produção de etanol dessas culturas pode variar de 310 a 430 L.ton⁻¹.

Em regiões onde a quantidade e distribuição das chuvas não atendem às necessidades hídricas das culturas, a utilização da irrigação como fonte

suplementar de água é uma alternativa viável para garantir a sustentabilidade de sistemas produtivos agrícolas (GAJIĆ *et al.*, 2018). Na irrigação, é frequente a ocorrência de desperdício de água devido a diversos fatores, como o manejo inadequado, disponibilidade hídrica excessiva ou restritiva e controle inadequado do escoamento superficial, gerando oportunidades para melhorar a eficiência e a produtividade da água neste setor (IBIDHI *et al.*, 2020).

Visando uma gestão eficiente na agricultura irrigada, a produtividade da água e a produtividade econômica da água são elementos de avaliação que possibilitam a qualificação da irrigação, proporcionando um uso racional dos recursos hídricos e menor custo (HAN *et al.*, 2018; CETIN; KARA, 2019). A irrigação pode reduzir os ganhos do produtor devido ao aumento dos custos com o sistema de bombeamento de água, por isso, a produtividade econômica da água é importante na definição de tecnologias que proporcionem economia de água na irrigação (CETIN; AKINCI, 2021).

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito da irrigação na produtividade de etanol, produtividade da água e produtividade econômica da água para produção de etanol a partir das culturas de milho e sorgo granífero.

4 MATERIAL E MÉTODOS

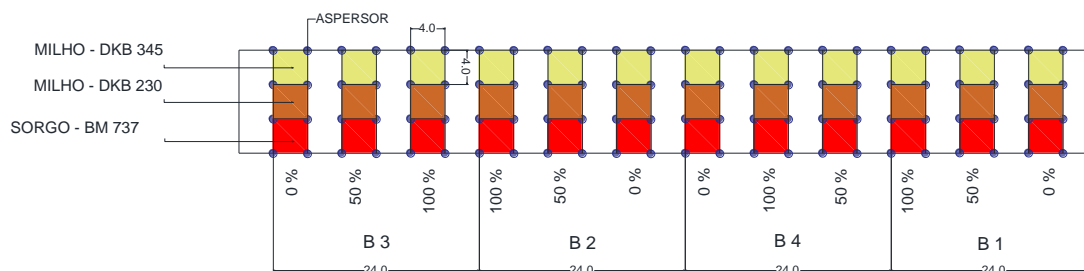
O presente estudo foi realizado em duas safras, com as semeaduras nos dias 15 de dezembro de 2019 e 17 de dezembro de 2020. A cultivar de sorgo granífero,

biomatrix BM 737 e as cultivares de milho, DKB345 IPRO3 RR e DKB230 IPRO3, foram cultivadas com densidades de semeadura de 180.000 e 90.000 plantas por hectare, respectivamente.

A área experimental está localizada no Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na região fisiográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul - RS, latitude de 29° 42' 55,20" S, longitude 53° 44' 22,60" O e altitude de 120 metros. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2006). O clima é classificado segundo Köppen (MORENO, 1961) como do tipo Cfa – subtropical úmido, sem estação seca e com temperaturas médias em torno de 16,1 °C no período do inverno e de 22,5 °C no período do verão, com precipitação anual média de 1.688 mm.

O delineamento experimental foi um arranjo bifatorial em faixas com blocos ao acaso e quatro repetições. Foram avaliadas no fator “A”, as influências de duas lâminas de irrigação: 50% e 100% da evapotranspiração de referência (ET_o) e a testemunha sem irrigação, e no fator “D”, as respostas das cultivares de milho e sorgo granífero. Cada unidade experimental foi irrigada por quatro aspersores Agrojet P5, os quais possuem um raio de alcance de quatro metros. A sobreposição aplicada foi de 100%. As unidades experimentais possuíam quatro metros de largura e quatro metros de comprimento, totalizando uma área de 16 m².

A Figura 1 apresenta o croqui da área experimental com a disposição das culturas e dos aspersores.

Figura 1. Croqui da área experimental

Fonte: Autores (2022).

A taxa de infiltração de água no solo foi de 15 mm h^{-1} , e os limites de capacidade de campo e ponto de murcha permanente do solo foram de $0,30$ e $0,16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente.

O manejo da irrigação foi determinado pelo método do balanço hídrico por meio do monitoramento de variáveis meteorológicas, e cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith. Quando ocorreu precipitação pluvial no intervalo das irrigações, foi determinada a precipitação efetiva utilizando-se a metodologia proposta por Millar (1978), a qual considera os parâmetros de classe textural do solo, a declividade da área (%) e a cobertura vegetal. Para a área experimental, foi determinada uma fração de água perdida de 30% do total precipitado.

Foi adotado um turno de rega fixo de sete dias quando a precipitação pluvial efetiva não suprisse a demanda hídrica das culturas no período. O sistema de irrigação foi calibrado a uma taxa de aplicação de 13 mm h^{-1} , determinada pelo teste de uniformidade de Christiansen (CUC). As diferentes lâminas de irrigação foram obtidas pela variação do tempo de aplicação de água, sendo que o tempo de irrigação foi determinado pela Equação 1.

$$T_i = \frac{L_n}{L_r \cdot E_f} 100 \quad (1)$$

Em que: T_i - tempo de irrigação (h); L_n - lâmina necessária (mm); L_r - lâmina de

referência (mm h^{-1}); e E_f - eficiência de aplicação (%).

Para a determinação da produtividade das culturas, foram coletadas plantas de uma área de cinco metros lineares que, posteriormente, foram trilhadas, limpas, pesadas e realizada a correção da umidade para 13%. A produtividade de etanol de cada tratamento foi obtida pelo produto da produtividade de grãos pelo rendimento médio de etanol. Assim, foi adotado o rendimento médio de etanol de 390 L ton^{-1} (KUMAR *et al.*, 2020).

Para determinar a produtividade de água, foi empregada uma metodologia que consiste em relacionar o volume total de água aplicada (precipitação efetiva + lâmina de água) com a produção total de grãos Equação 2.

$$PA = \frac{Y}{W} \quad (2)$$

Em que: PA - produtividade da água, ($\text{L.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$); Y - produtividade da cultura em litros de etanol, (L.ha^{-1}) e W - lâmina total de água aplicada durante o ciclo da cultura, (mm).

Além disso, foi determinada a produtividade econômica da água por meio da Equação 3.

$$PEA = \frac{p \cdot Y}{W} \quad (3)$$

Em que: PEA - produtividade econômica da água ($\text{R}\$.ha^{-1}.mm^{-1}$) e p - preço médio do litro de etanol ($\text{R}\$.L^{-1}$).

Para o preço de comercialização do etanol, foi obtido o valor médio de comercialização para o período de estudo, sendo esse igual a $\text{R}\$ 3,00 L^{-1}$, segundo os dados disponibilizados pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA.

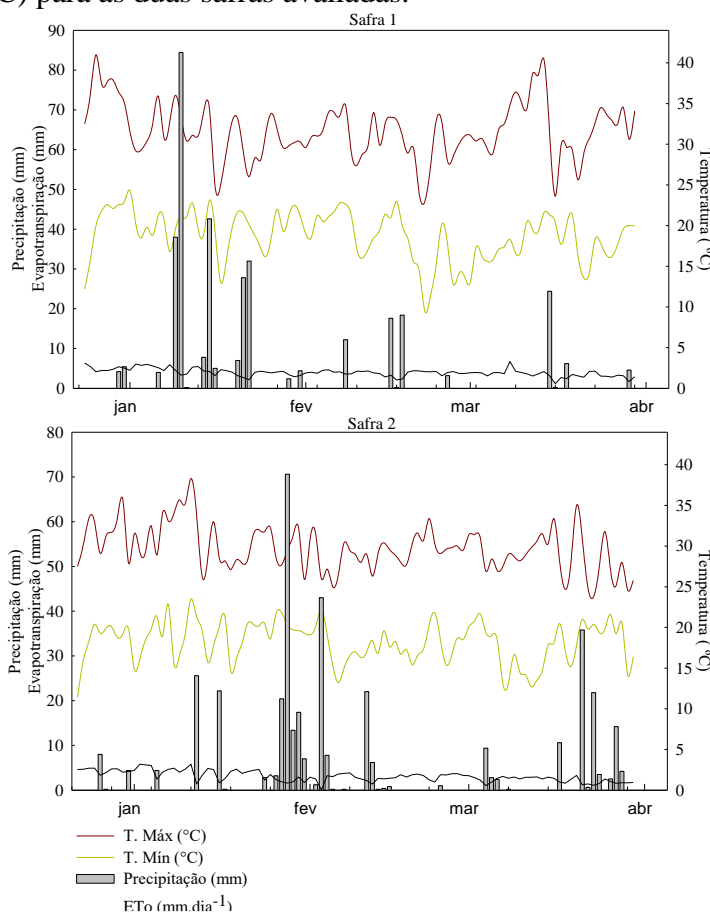
Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de probabilidade de erro com auxílio do programa Sisvar 5.6. Havendo interação

entre os fatores culturas e lâminas de irrigação, foi realizada análise de regressão e a máxima eficiência técnica. Nos casos de não interação entre os fatores, realizou-se a comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados meteorológicos de temperaturas máximas e mínimas, evapotranspiração e precipitação para as duas safras podem ser observados na Figura 2.

Figura 2. Evapotranspiração (mm), precipitação (mm), temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) para as duas safras avaliadas.



Avaliando os dados meteorológicos para as duas safras, é possível verificar que a média das temperaturas máximas e mínimas foi de 30,65 e 18,75 $^{\circ}\text{C}$, respectivamente, para a primeira safra e de 29,75 e 18,22 $^{\circ}\text{C}$,

respectivamente, para a segunda safra. A temperatura ideal para o desenvolvimento do milho está entre 10 e 32 $^{\circ}\text{C}$ (RENATO *et al.*, 2013). Já para a cultura do sorgo granífero, temperaturas abaixo de 19 $^{\circ}\text{C}$ e acima de

32,5°C reduzem o rendimento da cultura (HOFFMAN *et al.*, 2020). Portanto, verifica-se que as temperaturas observadas em ambas as safras estiveram dentro da faixa considerada ideal para as culturas milho e sorgo granífero.

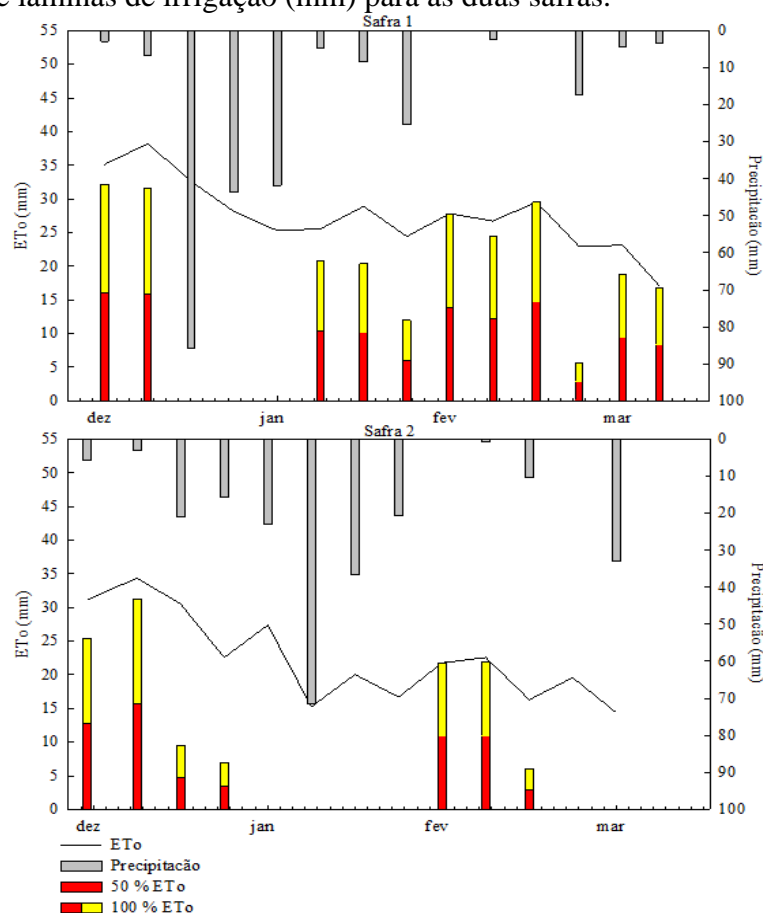
A evapotranspiração acumulada foi de 388,43 mm na safra 1 e de 304,60 mm na safra 2. Valores superiores aos encontrados nas duas safras foram observados por Niaghi *et al.* (2019), que em quatro anos de avaliações, obtiveram evapotranspiração acumulada para a cultura do milho no intervalo de 460 mm a 550 mm. Araya *et al.* (2019), corroborando com o presente estudo, verificaram uma evapotranspiração da cultura do sorgo granífero variando entre 336 mm e 469 mm.

A precipitação apresentou valores com pequena variação para os anos de experimento, na safra 1 o total acumulado

foi de 334,2 mm e na safra 2 de 377,8 mm, sendo que os eventos com maior volume de precipitações ocorreram de forma acumulada no período inicial de desenvolvimento das culturas, apresentando distribuição irregular ao longo do ciclo, necessitando, nestas condições, de um aporte de irrigação para garantir a produção.

Na primeira safra, foram necessárias onze irrigações ao longo do desenvolvimento das culturas, com lâminas totais de água aplicadas de 228,10 mm e 114,05 mm para os tratamentos com 100% e 50% de reposição de água, respectivamente. Na segunda safra, foram realizadas sete irrigações com lâminas totais de água aplicadas de 136,40 mm e 68,20 mm para os tratamentos com 100% e 50% de reposição de água, respectivamente, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3. Valores acumulados a cada sete dias de precipitação efetiva (mm), evapotranspiração (mm) e lâminas de irrigação (mm) para as duas safras.



Nas condições dos dois anos do presente estudo, as necessidades de irrigação estiveram de acordo com estudos já realizados. Araya *et al.* (2017) recomendam irrigação suplementar para a cultura do milho de 150 mm, 300 mm e 450 mm dependendo do regime hídrico de cada ano, chuvoso, normal e seco, respectivamente. Para a cultura do sorgo granífero, Araya *et al.* (2019) consideram que um volume de

irrigação suplementar de 100 a 250 mm é ideal para o rendimento da cultura.

Com a análise da variância foi possível verificar que não houve interação entre os fatores lâminas de irrigação e culturas produtoras de etanol ao nível de 5% de significância. No entanto, houve diferença significativa entre as culturas para a produtividade de etanol, produtividade da água e produtividade econômica da água nas duas safras avaliadas, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Produtividade de etanol (PE, L.ha⁻¹), produtividade da água (PA, L.ha⁻¹.mm⁻¹) e produtividade econômica da água (PEA, R\$.ha⁻¹.mm⁻¹) para as culturas do milho e sorgo granífero nas safras 1 e 2.

Culturas	SAFRA 1			SAFRA 2		
	PE	PA	PEA	PE	PA	PEA
Milho DKB 345	5.114,28a*	14,86a	44,59a	4.320,75a	12,78a	38,34a
Milho DKB 230	4.960,19 ^a	14,35a	43,07a	4.137,31a	12,44a	37,33a
Sorgo BM 737	2.003,05b	5,59b	16,77b	3.071,36b	9,15b	27,46b
**CV (%)	11,18	11,49	11,50	13,09	13,84	13,83

*Médias seguidas de letras minúsculas na vertical diferem-se significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro. **CV = coeficiente de variação.

A cultivar BM 737 de sorgo granífero apresentou resultados estatisticamente inferiores quando comparada às duas cultivares de milho nos dois anos avaliados, não havendo diferença significativa entre as variedades de milho. O milho apresentou incremento de 60,23% e 27,37% na produtividade de etanol, 61,72% e 27,44% para a produtividade da água e 62,17% e 27,42% para a produtividade econômica da água, nas safras 1 e 2, respectivamente.

Em acordo com o presente estudo, Zhang *et al.* (2018) também observaram, em duas safras, que não houve diferença significativa no rendimento de etanol para as duas cultivares de milho avaliadas. Os resultados para as duas variedades de milho foram iguais estatisticamente, havendo diferença somente entre as culturas. O

presente estudo também está em consonância com os resultados de Khalaf *et al.* (2019), que observaram, para duas variedades de sorgo forrageiro, valores de produtividade da água semelhantes.

Bhattarai *et al.* (2020), ao avaliarem a produtividade da água na produção de sorgo, milho e milho para silagem, observaram sob condições limitadas de irrigação, maiores valores para o sorgo, seguido pelo milho e por fim, o milho. No presente estudo, o qual objetivou a produção de etanol, o comportamento entre as culturas foi diferente, com o milho apresentando a melhor produtividade da água.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para a produtividade do etanol, produtividade da água e produtividade econômica da água de acordo com as diferentes lâminas de irrigação utilizadas.

Tabela 2. Produtividade de etanol (PE, L.ha⁻¹), produtividade da água (PA, L.ha⁻¹.mm⁻¹) e produtividade econômica da água (PEA, R\$.ha⁻¹.mm⁻¹) para lâminas de reposição hídrica equivalentes a 100%, 50% e 0% da evapotranspiração de referência (ET_o) nas safras 1 e 2.

Lâminas (%ET _o)	SAFRA 1			SAFRA 2		
	PE	PA	PEA	PE	PA	PEA
0	2.586,24c	11,06b	33,20b	2.713,41c	10,28b	30,85b
50	4.493,82b	12,92 ^a	38,77a	4.024,41b	12,12a	36,36a
100	4.997,46a	10,82b	32,46b	4.791,59a	11,97a	35,91a
CV (%)	11,18	11,49	11,50	13,09	13,84	13,83

*Médias seguidas de letras minúsculas na vertical diferem-se significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro. **CV = coeficiente de variação.

Na primeira safra, o uso da irrigação apresentou diferença significativa entre os tratamentos testados, e o uso de 100% da reposição de água resultou em incrementos na ordem de 48,25% e 10,08% para a produtividade do etanol quando comparada com a testemunha e a lâmina com 50% de reposição de água, respectivamente. Para a PA e a PEA, o melhor resultado foi obtido na lâmina com 50% de reposição hídrica. Quando comparada à testemunha e à lâmina com 100% de reposição de água, a PA apresentou incremento de 14,40% e 16,25%, respectivamente, enquanto para a PEA, o aumento foi respectivamente equivalente a 14,36% e 16,27%.

Na segunda safra, a produtividade de etanol apresentou o mesmo comportamento da primeira, com incremento de produtividade de 45,42% e 16,02% quando comparada a testemunha e a lâmina com 50% de reposição de água, respectivamente. No entanto, para a PA e a PEA, a diferença ocorreu entre o uso da irrigação e a condição de sequeiro, com valores próximos entre os tratamentos irrigados. Comparando os tratamentos irrigados com o sem irrigação, o aumento na PA foi de 14,69% e para a PEA de 14,64%.

Corroborando com os resultados de incremento na produtividade de etanol aqui encontrados, Aydinsakir *et al.* (2021), ao compararem tratamentos de irrigação plena com um não irrigado, observaram um aumento na produção de etanol de 56,70%

no primeiro ano e de 37,53% no segundo ano de experimento. Pang *et al.* (2018) e Zhang *et al.* (2018) também observaram acréscimos na produtividade de etanol conforme houve aumento na frequência de irrigação para as culturas de sorgo granífero e milho.

Os tratamentos com suplementação hídrica apresentaram os melhores resultados para a PA, com a irrigação intermediária obtendo os maiores valores. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Bell *et al.* (2018), que trabalhando com sorgo granífero, obtiveram produtividade máxima da água em tratamentos com lâminas de 75% e 100% da irrigação plena. Assim como neste estudo, Zou *et al.* (2021) verificaram em duas safras que as melhores produtividades da água ocorreram nas lâminas de irrigação que atendiam 66% e 77% da necessidade hídrica da cultura, sendo as piores observadas no tratamento com irrigação plena (100% de reposição hídrica).

O melhor rendimento foi obtido na lâmina com 100% de reposição de água, no entanto, a melhor PA foi observada para a lâmina com 50% de reposição hídrica, com uma redução de 10% no rendimento, estando esse valor em acordo com Kothari *et al.* (2020), que relataram que a irrigação com déficit de 20% da irrigação plena apresentou os melhores resultados para a produtividade da água, mesmo apresentando uma queda de 11% no rendimento de grãos.

Diferindo-se dos resultados encontrados no presente estudo, Chico *et al.* (2015), ao trabalharem com produção de etanol da cana-de-açúcar, observaram maiores valores de produtividade econômica da água nos tratamentos de irrigação completa, por outro lado, os menores valores estão em concordância com o presente estudo, que foram os encontrados para o tratamento não irrigado.

6 CONCLUSÃO

Quando comparada à testemunha, a lâmina de irrigação com 100% de reposição de água proporcionou um incremento de 46,8% na produtividade de etanol para as culturas.

A suplementação hídrica é necessária para uma maior produtividade de etanol e a lâmina de 50% de reposição de água

apresentou resultados 15,3% superiores às demais lâminas para a produtividade da água e produtividade econômica da água. Esses indicadores podem auxiliar na utilização de uma irrigação eficiente que reduza a quantidade de água utilizada e garanta um retorno econômico.

A cultura do milho obteve o melhor desempenho no rendimento de etanol, produtividade da água e produtividade econômica da água quando comparada com a cultura do sorgo granífero, apresentando diferença estatística significativa.

7 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

8 REFERÊNCIAS

ARAYA, A.; KISEKKA, I.; PRASAD, P.V.; GOWDA, P. H. Evaluating Optimum Limited Irrigation Management Strategies for Corn Production in the Ogallala Aquifer Region. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 143, n. 10, p. 04017041, 2017. DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001228

ARAYA, A.; GOWDA, P.H.; GOLDEN, B.; FOSTER, A.J.; AGUILAR, J.; CURRIE, R.; CIAMPITTI, I.A.; PRASAD, P.V.V. Economic value and water productivity of major irrigated crops in the Ogallala aquifer region. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 214, p. 55-63, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.11.015>

AYDINSAKIR, K.; BUYUKTAS, D.; DINÇ, N.; ERDURMUS, C.; BAYRAM, E.; YEGIN, A. B. Yield and bioethanol productivity of sorghum under surface and subsurface drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 243, p. 106452, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106452>

BELL, J. M.; SCHWARTZ, R.; MCINNES, K. J.; HOWELL, T.; MORGAN, C. L. Deficit irrigation effects on yield and yield components of grain sorghum. **Agricultural water management**, Amsterdam, v. 203, p. 289-296, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.002>

BHATTARAI, B.; SINGH, S.; WEST, C. P.; RITCHIE, G. L.; TROSTLE, C. L. Water depletion pattern and water use efficiency of forage sorghum, pearl millet, and corn under

water limiting condition. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 238, p. 106206, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106206>

CETIN, O.; AKINCI, C. Water and economic productivity using different planting and irrigation methods under dry and wet seasons for wheat. **International Journal of Agricultural Sustainability**, London, p. 1-13, 2021. <https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1999682>

CETIN, O.; KARA, A. Assesment of water productivity using different drip irrigation systems for cotton. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 223, p. 105693, 2019. [doi:https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105693](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105693)

CHICO, D.; SANTIAGO, A. D.; GARRIDO, A. Increasing efficiency in ethanol production: Water footprint and economic productivity of sugarcane ethanol under nine different water regimes in north-eastern Brazil. **Spanish journal of agricultural research**, Madrid, v. 13, n. 2, p. 7, 2015. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2015132-6057>

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – v.8, n.3 (2021) – Brasília: Conab, 2021- Terceiro levantamento, p. 1-63

DAR, R. A.; DAR, E. A.; KAUR, A.; PHUTELA, U. G. Sweet sorghum-a promising alternative feedstock for biofuel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 82, p. 4070-4090, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.066>

ECKERT, C. T.; FRIGO, E. P.; ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; CHRIST, D.; SANTOS, W. G.; BERKEMBROCK, E.; EGEWARTH, V. A. Maize ethanol production in Brazil: Characteristics and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 82, p. 3907-3912, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.082>

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

GAJIĆ, B.; KRESOVIĆ, B.; TAPANAROVA, A.; ŽIVOTIĆ, L.; TODOROVIĆ, M. Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 210, p. 224–231, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.002>

GUMIENNA, M., SZWENGIEL, A., LASIK, M., SZAMBELAN, K., MAJCHRZYCKI, D., ADAMCZYK, J., NOWAK, J., CZARNECKI, Z. Effect of corn grain variety on the bioethanol production efficiency. **Fuel**, Amsterdam, v. 164, p. 386-392, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.10.033>

HAN, X.; WEI, Z.; ZHANG, B.; HAN, C.; SONG, J. Effects of crop planting structure adjustment on water use efficiency in the irrigation area of Hei River Basin. **Water (Switzerland)**, Zurich, v. 10, n. 10, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10101305>

HOFFMAN, A. L.; KEMANIAN, A. R.; FOREST, C. E. The response of maize, sorghum, and soybean yield to growing-phase climate revealed with machine learning. **Environmental Research Letters**, Bristol v. 15, n. 9, p. 094013, 2020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7b22>.

IBIDHI, R.; SALEM, H. B. Water footprint and economic water productivity assessment of eight dairy cattle farms based on field measurement. **animal**, Amsterdam, v. 14, n. 1, p. 180-189, 2020. <https://doi.org/10.1017/S1751731119001526>.

KHALAF, A. A.; ISSAZADEH, L.; ABDULLAH, Z. A.; HASSANPOUR, J. Growth and Yield Assessment of Two Types of Sorghum-Sudangrass Hybrids as Affected by Deficit Irrigation. **International Journal of Agricultural and Biosystems. Engineering**, Wilmington, v. 13, n. 7, p. 214-218, 2019.

KOTHARI, K.; ALE, S.; BORDOVSKY, J. P.; MUNSTER, C. L. Assessing the climate change impacts on grain sorghum yield and irrigation water use under full and deficit irrigation strategies. **Transactions of the ASABE**, Michigan, v. 63, n. 1, p. 81-94, 2020. <https://doi.org/10.13031/trans.13465>.

KUMAR, D.; JUNEJA, A.; SINGH, V. Fermentation technology to improve productivity in dry grind corn process for bioethanol production. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 173, p. 66-74, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.01.014>

KUMAR, S. P. J.; KUMAR, N. S. S; CHINTAGUNTA, A. D. Bioethanol production from cereal crops and lignocelluloses rich agro-residues: prospects and challenges. **SN Applied Sciences**, Berlin, v. 2, n. 10, p. 1-11, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03471-x>.

KURAMBHATTI, C. V., KUMAR, D., RAUSCH, K. D., TUMBLESÓN, M. E., & SINGH, V. Increasing ethanol yield through fiber conversion in corn dry grind process. **Bioresource technology**, Essex, v. 270, p. 742-745, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.120>

MACEDO, A. A.; MEDEIROS, R. G.; SILVÉRIO, T. A. B.; NELSON, D. L.; OLIVEIRA, D. C. S.; DOS REIS, A. B. Possibilities and Prospects Regarding Ethanol Production from Saccharin Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **SN Applied Sciences**, Berlin, v. 2, n. 12, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03912-7>.

MILLAR, A. A. Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas. Bib. Orton IICA/CATIE, 1978.

MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.

PANG, B.; ZHANG, K.; KISEKKA, I.; BEAN, S.; ZHANG, M.; WANG, D. Evaluating effects of deficit irrigation strategies on grain sorghum attributes and biofuel production. **Journal of cereal science**, London, v. 79, p. 13-20, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.09.002>.

RENATO, N. S.; SILVA, J. B. L.; SEDIYAMA, G. C.; PEREIRA, E. G. Influência dos métodos para cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura para as culturas de milho e feijão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 382-388, 2013. DOI: 10.1590/S0102-77862013000400004.

SILVA, A.L.; CASTAÑEDA-AYARZA, J. A. Macro-environment analysis of the corn ethanol fuel development in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 135, p. 110387, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110387>

SZAMBELAN, K., NOWAK, J., SZWENGIEL, A., JELEŃ, H., & ŁUKASZEWSKI, G. Separate hydrolysis and fermentation and simultaneous saccharification and fermentation methods in bioethanol production and formation of volatile by-products from selected corn cultivars. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 118, p. 355-361, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.059>

ZHANG, J.; SONG, Y.; WANG, B.; ZHANG, X.; TAN, T. Biomass to bio-ethanol: The evaluation of hybrid Pennisetum used as raw material for bio-ethanol production compared with corn stalk by steam explosion joint use of mild chemicals. **Renewable energy**, Oxford, v. 88, p. 164-170, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.034>.

ZHANG, K.; PANG, B.; KISEKKA, I.; ZHANG, M.; ROGERS, D.; WANG, D. Effect of irrigation on physicochemical properties and bioethanol yield of drought tolerant and conventional corn. **Irrigation science**, New York, v. 36, n. 2, p. 75-85, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00271-017-0563-7>.

ZOU, Y.; SADDIQUE, Q.; ALI, A.; XU, J.; KHAN, M. I.; QING, M.; AZMAT, M.; CAI, H.; SIDDIQUE, K. H. Deficit irrigation improves maize yield and water use efficiency in a semi-arid environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 243, p. 106483, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106483>.