

## PRODUTIVIDADE DA ÁGUA COMO ESTRATÉGIA DE USO RACIONAL NA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ETANOL

Ailson Maciel de Almeida<sup>1</sup>, Rubens Duarte Coelho<sup>2</sup>, Timóteo Herculino da Silva Barros<sup>3</sup>,  
Cassio Hamilton Abreu Junior<sup>4</sup>, Adriano Bicioni Pacheco<sup>5</sup>, Arthur Carniato Sanches<sup>6</sup>

**RESUMO:** A crescente demanda por água na agricultura e os impactos das mudanças climáticas exigem estratégias para maximizar a eficiência hídrica na cana-de-açúcar. Este estudo avaliou a produtividade da água para a produção de açúcar (PAA) em oito variedades de cana submetidas a quatro níveis de reposição hídrica da necessidade hídrica da cultura sendo elas: (125%, 100%, 75%, 50% da demanda), irrigadas por gotejamento. O estudo foi conduzido no Departamento de Engenharia de Biosistemas da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) em Piracicaba-SP. Os resultados mostraram diferenças significativas entre variedades, com média de 1,43 kg/m<sup>3</sup>. A RB 96 6928 (V6) destacou-se como a mais eficiente (1,71 kg/m<sup>3</sup>), enquanto a NCO 376 (V8) foi a menos eficaz (1,24 kg/m<sup>3</sup>). A irrigação plena (RH100) maximizou a produção de bioetanol (até 13,27 m<sup>3</sup>/ha), mas variedades como V6 sofreram redução de 54,1% sob déficit hídrico (RH50), enquanto V8 mostrou maior resiliência (redução de 34,9%). Concluiu-se que a escolha varietal e o manejo hídrico são necessários para uma melhor produtividade em função da oferta de água no ambiente: a V6 se mostrou mais eficiente para condições com plena oferta de água, enquanto a V8 mostrou-se promissora em regiões com baixa disponibilidade hídrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cana de açúcar, produtividade de água, irrigação.

## WATER PRODUCTIVITY AS A STRATEGY FOR EFFICIENT SUGAR AND ETHANOL PRODUCTION

**ABSTRACT:** The growing demand for water in agriculture and the impacts of climate change require strategies to maximize water use efficiency in sugarcane. This study evaluated water productivity for sugar production (WPS) in eight sugarcane varieties subjected to four levels of

<sup>1</sup> Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

<sup>2</sup> Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ

<sup>3</sup> Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP

<sup>4</sup> Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP

<sup>5</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

<sup>6</sup> Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

water replacement based on crop water requirements (125%, 100%, 75%, and 50% of demand), irrigated by drip systems. The study was conducted at the Department of Biosystems Engineering, University of São Paulo (ESALQ/USP), in Piracicaba-SP, Brazil. Results showed significant differences among varieties, with an overall mean of 1.43 kg/m<sup>3</sup>. RB 96 6928 (V6) stood out as the most efficient (1.71 kg/m<sup>3</sup>), while NCO 376 (V8) was the least efficient (1.24 kg/m<sup>3</sup>). Full irrigation (WR100) maximized bioethanol production (up to 13.27 m<sup>3</sup>/ha), but varieties such as V6 suffered a 54.1% reduction under water deficit (WR50), while V8 showed greater resilience (34.9% reduction). It was concluded that varietal choice and water management are essential to achieving better productivity under different water availability conditions: V6 proved more efficient under full water supply, while V8 showed promise in regions with limited water availability.

**KEYWORDS:** Sugarcane, water productivity, irrigation

## INTRODUÇÃO

A crescente demanda por água e energia, somada às preocupações com as mudanças climáticas, tem impulsionado a busca por fontes renováveis capazes de reduzir a dependência do petróleo (Luiz et al., 2016; Cesconetto et al., 2018). Entre essas fontes, a cana-de-açúcar, originária do sudoeste asiático, destaca-se como uma das principais culturas energéticas, sendo o Brasil o maior produtor mundial, favorecido por condições edafoclimáticas adequadas e ampla disponibilidade de áreas cultiváveis (Donzelli et al., 2018; Oliveira et al., 2019).

A limitação hídrica é um dos principais fatores de redução da produtividade agrícola (Gonçalves et al., 2017). Na cana-de-açúcar, o estágio inicial de desenvolvimento da cana-planta é particularmente sensível ao déficit hídrico (Smith et al., 2012). A manutenção de níveis adequados de umidade do solo ao longo do ciclo é essencial para altos rendimentos, já que o crescimento vegetativo é proporcional à água evapotranspirada (Steduto et al., 2012). A necessidade hídrica da cultura varia entre 1500 e 2500 mm por ciclo (Park et al., 2005), sendo o manejo da irrigação diretamente associado às fases fenológicas de cada variedade.

O déficit hídrico ocorre quando a transpiração excede a capacidade de absorção radicular, situação recorrente em diversas culturas (Zingaretti et al., 2012). Nesse contexto, compreender a resposta varietal ao estresse hídrico é fundamental para selecionar genótipos mais adaptados e definir estratégias de manejo eficientes (Lu et al., 2016).

Para avaliar a eficiência no uso da água e o desempenho de sistemas de irrigação, diversos estudos destacam a importância de indicadores como a produtividade da água, definida pela relação entre a produção de biomassa (kg) e o volume de água consumido (mm ou m<sup>3</sup>),

considerando precipitação, irrigação ou evapotranspiração total (Rodriguez et al., 2016). Esse índice é essencial para a gestão racional dos recursos hídricos (Ayars et al., 1999), fornecendo diagnósticos precisos sobre a interação entre consumo hídrico e produtividade (Bos et al., 1993; Barbosa et al., 2015; Surendran et al., 2016).

O manejo estratégico da irrigação na cana-de-açúcar possibilita ganhos na produtividade da água e maior eficiência na produção de colmos, açúcar, biomassa e bioetanol (Prasara-a et al., 2016; Bastidas et al., 2017). Assim, a produtividade da água se consolida como indicador de sustentabilidade, permitindo estimar o retorno produtivo por volume de água utilizado e subsidiando decisões técnicas e econômicas (Inman-Bamber et al., 2004; Inman-Bamber et al., 2005; Smith et al., 2005).

Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo avaliar a produtividade da água para açúcar e bioetanol em variedades de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento, sob distintos níveis de reposição hídrica, visando contribuir para estratégias de manejo mais sustentáveis e eficientes no uso da água.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB) da ESALQ/USP, em Piracicaba-SP (22°43'30" S, 47°38'00" O, altitude de 546 m), utilizando-se uma estufa com três vãos conjugados (400 m<sup>2</sup>, pé-direito de 5,2 m) coberta com plástico transparente e laterais protegidas com tela "sombrite". Uma estufa anexa de apoio (110 m<sup>2</sup>) abrigou os sistemas de irrigação, motobombas e dataloggers.

O delineamento foi em blocos casualizados com três blocos, distribuídos nos vãos da estufa, com parcelas sub-subdivididas em esquema fatorial 4 × 4 × 8, totalizando 128 tratamentos e 384 parcelas. Cada parcela consistiu em duas touceiras cultivadas em caixas de 0,33 m<sup>3</sup> com Latossolo Vermelho-Amarelo franco-arenoso. Avaliaram-se três fatores: reposição hídrica ao longo do ciclo (4 níveis), variedade de cana-de-açúcar (8 variedades) e intensidade do déficit hídrico na fase final do ciclo (4 estratégias). A análise de variância foi realizada no software R, considerando significância de 5% e teste de Scott-Knott para comparações de médias.

A reposição hídrica foi definida com base na evapotranspiração da cultura, mantendo RH100 próximo à capacidade de campo durante todo o ciclo. Os demais níveis foram RH50 e RH75 (50% e 75% da demanda durante o crescimento dos colmos) e RH125, com aplicação diferenciada em fases do ciclo, totalizando volume equivalente ao RH75. Durante o perfilhamento inicial (~110 DAP), todas as parcelas receberam irrigação plena para garantir

estabelecimento uniforme. As oito variedades incluíram CTC 15, CTC 17, RB 86 7515, RB 92 579, RB 93 1011, RB 96 6928, IAC SP 5000 e NCO 376, representando programas de melhoramento brasileiros (RIDESA, IAC, CTC) e uma variedade sul-africana de referência internacional.

Na fase de maturação, foram aplicadas quatro estratégias de déficit hídrico: sem déficit (referência), déficit severo de curta duração (“drying-off”), déficit moderado de longa duração e déficit severo de longa duração. Nos tratamentos RH50 e RH125 não se aplicaram déficits adicionais para evitar mortalidade das plantas.

O plantio ocorreu em 31 de janeiro de 2013 pelo sistema de mudas pré-brotadas (MPB). Os minitoletes foram cultivados inicialmente em bandejas de 32 células e transplantados em 12 de março de 2013, quando apresentavam altura média de 0,30–0,40 m e três a cinco folhas expandidas. O monitoramento da umidade do solo utilizou tensiometria digital em parcelas de referência (RH100 sem déficit), com leituras a cada dois dias em profundidades de 0,10, 0,30 e 0,50 m, permitindo o manejo individualizado das demais parcelas.

A irrigação foi realizada por gotejamento, com cinco emissores por parcela (0,20 m de espaçamento, 1,6 L h<sup>-1</sup>), totalizando 8 L h<sup>-1</sup>, e o tempo de irrigação ajustado individualmente para cada variedade. A colheita ocorreu entre 16 e 27 de fevereiro de 2014 (381–392 DAP), em blocos, avaliando-se variáveis tecnológicas da cana e a biomassa total da parte aérea.

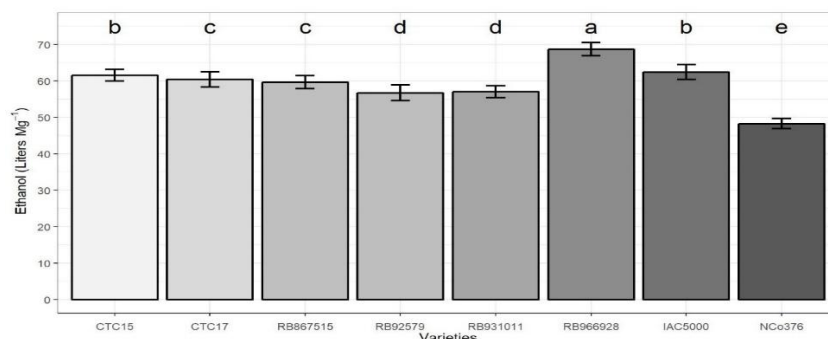
O Açúcar Total Recuperável (ATR) foi calculado a partir do teor de sacarose aparente da cana, considerando sacarose do caldo, fibra e açúcares redutores, ajustados pelos coeficientes de conversão e recuperação industrial. A produtividade da água para açúcar (PAA) foi obtida relacionando-se a produção total de açúcar em cada parcela ao volume de água aplicado. A biomassa seca total da parte aérea foi determinada pela soma da matéria seca de colmos, folhas e limbos coletados ao longo do ciclo, e a produtividade da água para biomassa (PAB) foi calculada em função do volume de irrigação. Para a produtividade da água para bioetanol de primeira geração (PABE1G), considerou-se a conversão do ATR em álcool anidro, utilizando o fator 0,5665 L de etanol por kg de ATR, seguindo metodologia análoga à da PAA.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Rendimento de Bioetanol (L/Mg)

O rendimento médio foi 59,3 L Mg<sup>-1</sup> de colmos, com diferenças significativas entre variedades (Fig. 1; Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ). A V6 (RB966928) apresentou o maior rendimento (68,7 L Mg<sup>-1</sup>), ~20 L acima da V8 (NCo376), que obteve o menor valor (48,2 L Mg<sup>-1</sup>). V1 (CTC15) e V7 (IAC5000) registraram 61,5 e 62,4 L Mg<sup>-1</sup>, respectivamente, não se diferenciando estatisticamente entre si e ficando inferiores apenas à V6. V2 e V3 ficaram

próximas da média (60,4 e 59,6 L Mg<sup>-1</sup>), enquanto V4 (56,7) e V5 (57,0 L Mg<sup>-1</sup>) situaram-se abaixo da média. Observou-se que os níveis de reposição hídrica e os manejos de maturação testados não afetaram significativamente o rendimento de bioetanol



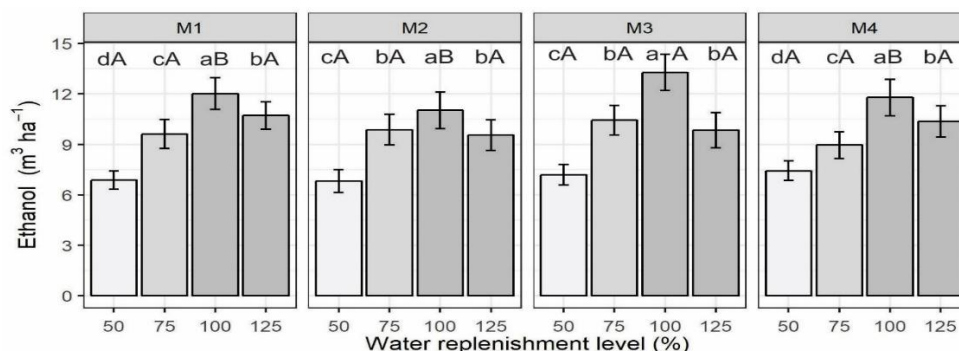
**Figura 1** – Valores de rendimento de bioetanol (L Mg<sup>-1</sup>) para as 8 variedades estudadas. \* Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott.

### Produtividade de Bioetanol (m<sup>3</sup>/ha)

A produtividade média foi de 9,74 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, com interação significativa entre reposição hídrica e maturação (Fig. 2), bem como entre variedade e reposição hídrica (Fig. 3). Esse parâmetro é fortemente influenciado pela produtividade de colmos, mais do que pela qualidade da matéria-prima.

Os valores variaram de 6,82 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (RH50 M2) a 13,27 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (RH100 M3), confirmando que maiores lâminas de irrigação resultam em maior produção. Resultados semelhantes foram relatados por Pedrozo (2014), Maschio (2011) e Leal (2012) para o rendimento bruto de açúcar.

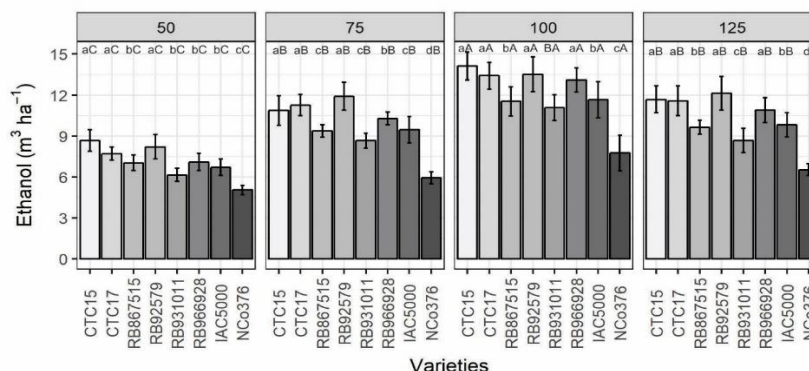
Entre os manejos, apenas a RH100 apresentou diferenças significativas entre maturações, destacando-se a combinação RH100 + M3. Nos demais níveis (RH50, RH75 e RH125), a maturação não alterou significativamente os resultados. De forma geral, a sequência de desempenho foi: RH100 > RH125 ≈ RH75 > RH50, sendo esta última considerada limitante para a produção de bioetanol.



**Figura 2** - Desdobramento dos valores de produtividade de bioetanol (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) para as 4 reposições hídricas estudadas dentro de cada tratamento de maturação. \* Reposições Hídricas identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma maturação e maturações identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma reposição hídrica diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott.

O desdobramento por variedade (Fig. 3) evidenciou respostas distintas à irrigação. V4, historicamente responsiva, apresentou altos valores mesmo sob déficit, comportamento semelhante ao de V1 e V2, que se mantiveram superiores às demais em todas as reposições.

A V6, embora líder em rendimento de bioetanol, mostrou-se sensível ao déficit: passou de 13,10 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (RH100) para 7,09 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (RH50), redução de 54,1%. Já a V8 apresentou os menores valores absolutos (7,76 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> em RH100 e 5,05 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> em RH50), mas foi a menos sensível proporcionalmente, com redução de apenas 34,9%.

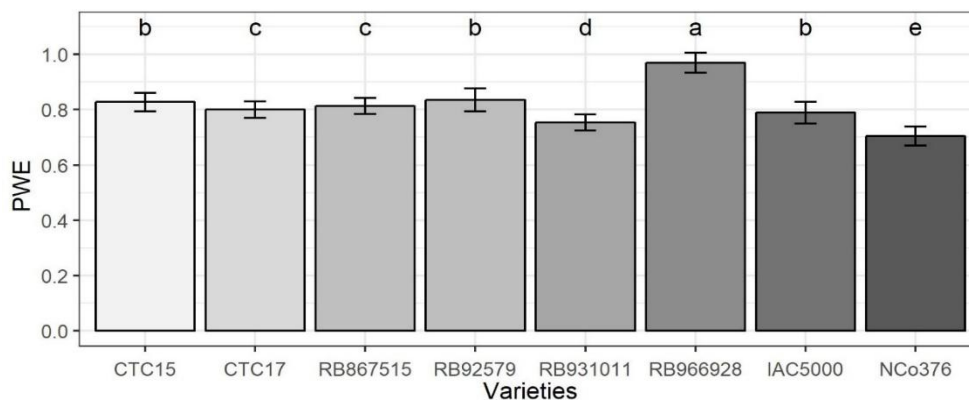


**Figura 3** - Desdobramento dos valores de produtividade de bioetanol (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de reposição hídrica. \* Variedades identificadas com letras minúsculas distintas dentro da mesma reposição hídrica e reposição hídrica identificadas com letras maiúsculas distintas para a mesma variedade diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott.

### Produtividade da água para etanol - PAE (Litros m<sup>-3</sup>)

A PAE variou significativamente entre as variedades (Fig. 4). A V6 (RB966928) apresentou a maior eficiência, sendo estatisticamente superior às demais, o que confirma sua alta capacidade de converter água em bioetanol e a torna indicada para regiões com boa disponibilidade hídrica. Em contraste, a V8 (NCo376) foi a menos eficiente, revelando baixa responsividade ao uso da água para fins energéticos.

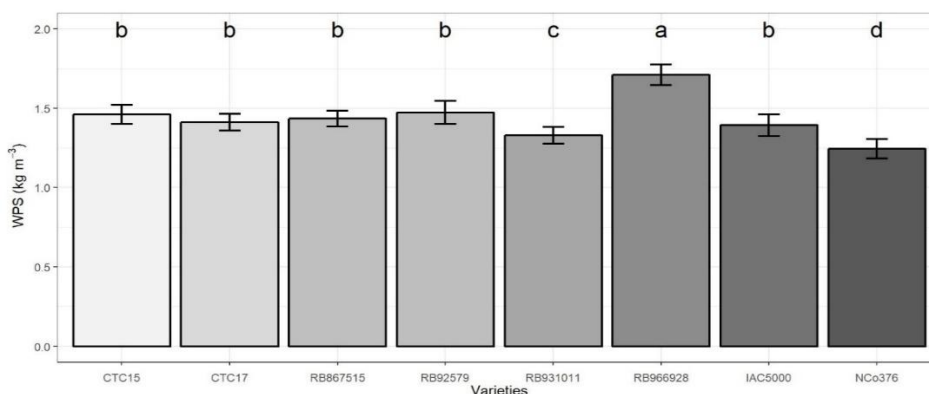
Variedades como V1 (CTC15), V7 (IAC5000) e V5 (RB931011) tiveram desempenho intermediário, com destaque para a V5, mais próxima da V6 em eficiência. Esses resultados reforçam a importância da escolha varietal visando maior eficiência hídrica, especialmente em sistemas irrigados por gotejamento.



**Figura 4** – Valores médios de produtividade da água para etanol (PAE) em litros por metro cúbico ( $L \cdot m^{-3}$ ) para as 8 variedades de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento. Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade, segundo o teste de Scott-Knott. Barras representam o erro padrão da média.

### Produtividade da água para açúcar - PAA ( $kg m^{-3}$ )

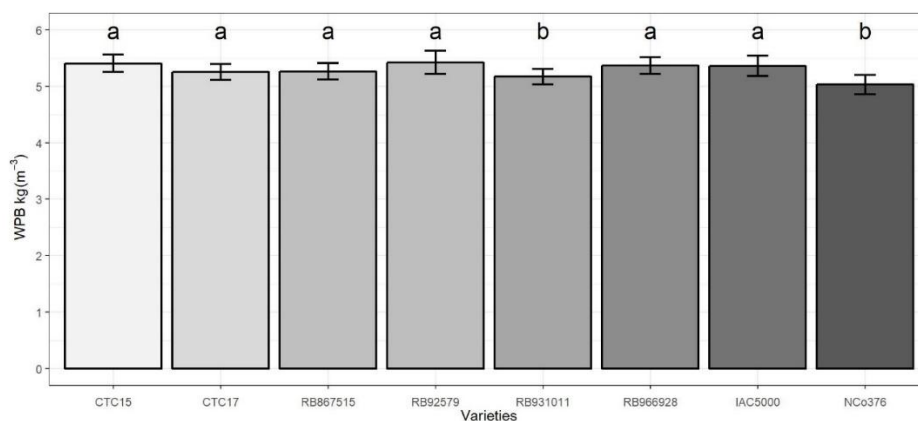
A PAA média foi de  $1,43 kg m^{-3}$ , com diferenças significativas apenas entre variedades (Fig. 5). A V6 apresentou o maior valor ( $1,71 kg m^{-3}$ ), enquanto a V8 foi a menos eficiente ( $1,24 kg m^{-3}$ ). As variedades V1, V2, V3, V4 e V7 formaram um grupo intermediário ( $1,39$ – $1,47 kg m^{-3}$ ), e a V5 obteve valor inferior ( $1,33 kg m^{-3}$ ). A análise em conjunto com a produtividade de bioetanol mostra que a V6, mais sensível ao déficit hídrico, foi também a mais responsiva ao aumento da irrigação, alcançando maior eficiência quando o volume de água foi ampliado (RH100). Em contrapartida, variedades menos sensíveis ao déficit, como V1 e V8, também foram as menos responsivas, não se destacando em PAA. No sistema de irrigação por gotejamento sob déficit (alta frequência), as plantas receberam menor volume de água, mas de forma contínua, evitando estresse hídrico e mantendo a conversão de água em açúcar praticamente estável. Assim, não houve diferenças significativas entre tratamentos de lâmina. Resultados semelhantes foram reportados por Maschio (2011), com PAA entre  $2,74$  (100% RH) e  $2,86 kg m^{-3}$  (70% RH), e por Leal (2012), com valores de  $2,10$  e  $2,13 kg m^{-3}$ , respectivamente.



**Figura 5** - Valores de produtividade da água para açúcar (PAA) em quilogramas de açúcar por metro cúbico de água aplicada para as 8 variedades estudadas. \* Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott+

### Produtividade da água para biomassa - PAB ( $\text{kg m}^{-3}$ )

A PAB média foi de  $5,29 \text{ kg m}^{-3}$ , com diferenças apenas entre variedades (Figura 6). As variedades V1, V2, V3, V4, V6 e V7 apresentaram valores semelhantes ( $5,26\text{--}5,42 \text{ kg m}^{-3}$ ), enquanto V5 ( $5,17 \text{ kg m}^{-3}$ ) e V8 ( $5,03 \text{ kg m}^{-3}$ ) mostraram menor eficiência. O desempenho reduzido de V5 está associado ao seu ciclo tardio e o de V8 à sua origem em programa estrangeiro. Esses resultados indicam que o melhoramento varietal pouco altera a eficiência fotossintética, sendo as diferenças atribuídas principalmente ao particionamento de fotoassimilados e à fenologia das variedades.



**Figura 6** - Valores de produtividade da água para biomassa total da parte aérea (PAB) em quilogramas de biomassa por metro cúbico de água aplicada para as 8 variedades estudadas. \* Variedades identificadas com letras distintas diferem entre si a um nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott

A eficiência no uso da água em cana-de-açúcar mostrou-se fortemente dependente da interação entre a variedade utilizada e o manejo da irrigação. A variedade RB966928 (V6) se destacou como a mais eficiente na conversão da água em açúcar e etanol, alcançando valores superiores de produtividade em condições de irrigação plena, embora tenha apresentado elevada sensibilidade ao déficit hídrico, com reduções de até 54,1% em WR50. Em contrapartida, a variedade NCo376 (V8), mesmo com menores valores absolutos de produtividade, apresentou maior resiliência sob estresse hídrico, reduzindo apenas 34,9% em condições limitantes (Barbosa et al., 2024). Resultados semelhantes foram relatados por Inman-Bamber & Smith (2005), que destacaram que a resposta da cana ao déficit hídrico varia conforme o genótipo, reforçando que a escolha varietal associada ao manejo hídrico adequado é determinante para a sustentabilidade da produção.

Além disso, a análise da produtividade da água confirma seu papel estratégico como indicador de eficiência e sustentabilidade. A irrigação plena (WR100) maximizou o rendimento de bioetanol ( $13,27 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), mas o sistema de gotejamento possibilitou manter bons índices mesmo sob déficits moderados (Barbosa et al., 2024). Nesse sentido, estudos anteriores já apontavam que a produtividade da água se mantém relativamente estável em sistemas de

irrigação localizada, mesmo sob restrição hídrica (Maschio, 2011; Leal, 2012). De forma complementar, Surendran et al. (2016) evidenciaram que a irrigação por gotejamento em regiões semiáridas promove ganhos expressivos em eficiência hídrica e energética, o que corrobora o potencial desse manejo. Dessa forma, o uso de indicadores como a produtividade da água se consolida como ferramenta essencial para orientar a seleção varietal e a racionalização do uso de recursos hídricos, favorecendo a sustentabilidade da produção de bioenergia (Barbosa et al., 2024; Steduto et al., 2007).

## CONCLUSÕES

O estudo demonstrou diferenças significativas na produtividade da água entre variedades de cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento. A variedade RB966928 (V6) destacou-se pela maior eficiência no uso da água para bioetanol, açúcar e biomassa, enquanto a NCo376 (V8) apresentou os menores índices. A irrigação plena (RH100) elevou a eficiência produtiva, sobretudo em variedades mais responsivas, mas o gotejamento mostrou capacidade de manter bons níveis de desempenho mesmo sob déficits moderados. Dessa forma, os indicadores de produtividade da água se consolidam como ferramentas estratégicas para orientar a seleção varietal e o manejo racional da irrigação, favorecendo a sustentabilidade da produção de bioenergia a partir da cana-de-açúcar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYARS, J. E.; PHENE, C. J.; HUTMACHER, R. B.; DAVIS, K. R.; SCHONEMAN, R. A.; VAIL, S. S.; MEAD, R. M. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. **Agricultural Water Management**, v. 42, n. 1, p. 1–27, 1999.
- BASTIDAS-OBANDO, E.; BASTIAANSEN, W. G. M.; JARMAIN, C. Estimation of transpiration fluxes from rainfed and irrigated sugarcane in South Africa using a canopy resistance and crop coefficient model. **Agricultural Water Management**, v. 181, p. 94–107, 2017.
- BOS, M. G.; MURRAY-RUST, D. H.; MERREY, D. J.; JOHNSON, H. G.; SNELLEN, W. B. Methodologies for assessing performance of irrigation and drainage management. **Irrigation and Drainage Systems**, v. 7, n. 4, p. 231–261, 1993.

CESCONETTO, L. B.; PRUSKI, F. F.; RODRIGUEZ, R. G.; MARCATTI, G. E. Potentiality of sugarcane expansion under irrigation conditions considering natural and potential water availability. **Agricultural Water Management**, v. 203, p. 162–171, 2018.

DONZELLI, J. L.; BERTOLANI, F. C.; TROMBETA, N. C. Sugarcane cultivation: soil mapping, environmental effects, and new sugarcane varieties. In: SANTOS, F.; FERRAZ, A. (Org.). **Advances in Sugarcane Biorefinery**. Nova York: Elsevier, 2018. p. 1–15.

GONÇALVES, I. Z.; BARBOSA, E. A. A.; SANTOS, L. N. S.; NAZÁRIO, A. A.; FEITOSA, D. R. C.; TUTA, N. F.; MATSURA, E. E. Water relations and productivity of sugarcane irrigated with domestic wastewater by subsurface drip. **Agricultural Water Management**, v. 185, p. 105–115, 2017.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v. 92, p. 185–202, 2005.

OLIVEIRA, D. M. S.; CHERUBIN, M. R.; FRANCO, A. L. C.; SANTOS, A. S.; GELAIN, J. G.; DIAS, N. M.; DINIZ, T. R.; ALMEIDA, A. N.; FEIGL, B. J.; DAVIES, C. A.; et al. Is the expansion of sugarcane over pasturelands a sustainable strategy for Brazil's bioenergy industry? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 102, p. 346–355, 2019.

PARK, S. E.; ROBERTSON, M. J.; INMAN-BAMBER, N. G. Decline in the growth of a sugarcane crop with age under high input conditions. **Field Crops Research**, v. 92, p. 305–320, 2005.

PRASARA-A, J.; GHEEWALA, S. H. Sustainability of sugarcane cultivation: case study of selected sites in north-eastern Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v. 134, p. 613–622, 2016.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. On the conservative behavior of biomass water productivity. **Irrigation Science**, v. 25, p. 189–207, 2007.

SURENDRAN, U.; JAYAKUMAR, M.; MARIMUTHU, S. Lowcost drip irrigation: impact on sugarcane yield, water and energy saving in semiarid tropical agro ecosystem in India. **Science of the Total Environment**, v. 573, p. 1430–1440, 2016.

ZINGARETTI, S. M.; RODRIGUES, F. A.; GRAÇA, J. P.; PEREIRA, L. M.; LOURENÇO, M. V. Sugarcane responses at water deficit conditions. In: RAINA, R. (Ed.). **Water Stress**. Rijeka: IntechOpen, 2012.