

RELAÇÕES HÍDRICAS NA CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA COM ÁGUAS SALOBRAS SOB OCORRÊNCIA OU NÃO DE LIXIVIAÇÃO

José Edson Florentino de Moraes¹, Ênio Farias de França e Silva², Weliston de Oliveira Cutrim³, Anízio Honorato Godoi Neto⁴, Daniel da Costa Dantas⁵, Raquele Mendes de Lira⁶

RESUMO: O conhecimento de indicadores fisiológicos relacionados ao estado hídrico das plantas é importante para avaliar a sua resposta a condições de estresses abióticos, principalmente ocasionados pela salinidade. Objetivou-se avaliar o efeito da salinidade da água de irrigação, sob condição ou não de lixiviação, no potencial hídrico, teor relativo de água, suculência foliar e eficiência instantânea no uso da água da cana-de-açúcar. A pesquisa foi conduzida na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife - PE. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2: cinco níveis de salinidade (0,5; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 dS m⁻¹) e sob condição (fração de lixiviação 0,17) ou não de lixiviação, com quatro repetições. Foi avaliada a variedade RB92579, cultivada em lisímetros de drenagem. Foram determinados o potencial hídrico foliar (Ψ_w), suculência foliar (SF), teor relativo de água (TRA) e eficiência instantânea no uso de água (A/E). As leituras foram realizadas na folha +3 aos 90, 150, 210 dias após o corte. O incremento da salinidade da água de irrigação reduziu o Ψ_w , TRA, SF e a relação A/E em todas as datas de análise. O uso da fração de lixiviação 0,17 atenuou os efeitos deletérios dos sais às plantas.

PALAVRAS-CHAVE: *Saccharum* spp., eficiência no uso da água, potencial hídrico foliar

WATER RELATIONS IN SUGAR CANE CULTIVATED WITH BRACKISH WATERS UNDER OR NOT OCCUR LEACHING

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Engenharia Agrícola, CEP 52171-900, Recife, PE. e-mail: joseedson50@hotmail.com

² Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE. e-mail: enio.fsilva@ufrpe.br

³ Graduando, Departamento de Agronomia, UFRPE, Recife, PE. e-mail: weliston_cutrim@hotmail.com

⁴ Mestre, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE. e-mail: agrohonorato@gmail.com

⁵ Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE. e-mail: d1cdantas@hotmail.com

⁶ Prof^ª. Doutora, Departamento de Agronomia, UFRPE/UAST, Serra Talhada, PE. e-mail: raquelelira@gmail.com

ABSTRACT: The knowledge of physiological indicators related to water status of plants is important to evaluate their response to conditions of abiotic stresses, mainly caused by salinity. The objective of this study was to evaluate the effect of irrigation water salinity, under or without leaching conditions on water potential, relative water content, leaf succulence and instantaneous efficiency of sugarcane water use. The research was conducted at Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife-PE. A completely randomized design in a 5 x 2 factorial scheme was used: five levels of salinity (0.5, 2.0, 4.0, 6.0, 8, 0 dS m⁻¹) and under condition (leaching fraction 0.17) or not leaching, with four repetitions. The RB92579 variety was evaluated, the first ratoon cultivated in drainage lysimeters. Leaf water potential (Ψ_w), leaf succulence (LS) relative water content (RWC) and instantaneous efficiency in water use (A/E) were determined. The readings were performed on the leaf +3 at 90, 150, 210 days after the cut. The increment of irrigation water salinity reduced Ψ_w , TRA, SF and the A/E ratio in all analysis dates. The use of 0.17 leaching fraction attenuated the deleterious effects of plant salts.

KEYWORDS: *Saccharum* spp., water use efficiency, leaf water potential

INTRODUÇÃO

A grande demanda mundial por energias limpas e renováveis tem incentivado a busca por bioenergia e gestão no uso da água no setor agrícola. O Brasil apresenta grande potencial bioenergético, sendo o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Além disso, clima favorável faz com que o país apresente o menor custo de produção, elevada produtividade e flexibilidade de produção de açúcar ou etanol (CONAB, 2019; Yasar et al., 2019).

De acordo com a CONAB (2019) a produção total do Brasil na safra 2018/19 foi de 633,3 milhões de toneladas e uma produtividade média de 72,54 Mg ha⁻¹, com grande contribuição das lavouras do Nordeste em função da recuperação devido à melhoria das condições climáticas. Nessa região, principalmente nos tabuleiros costeiros, é comum a utilização da irrigação complementar o que proporciona melhorias na qualidade tecnológica, eficiência de uso da água, balanço líquido de carbono e, conseqüentemente na produtividade (Marin & Nassif, 2013; Dhanapal et al., 2019).

Em áreas litorâneas é comum a presença de águas salobras devido à intrusão salina, deposição pela ação das chuvas e dos ventos na forma de aerossóis, aliado ao excesso de exploração que intensifica processos de salinização e/ou sodificação dos solos trazendo

prejuízos à agricultura (Ghodrati & Ghazaryan, 2013). De acordo com Maas (1984), a cultura da cana-de-açúcar apresenta salinidade limiar de $1,7 \text{ dS m}^{-1}$, sendo classificada como moderadamente sensível a salinidade.

A presença de sais no solo limita o crescimento das plantas devido à redução do potencial osmótico da solução do solo e, diminuindo a disponibilidade de água para as plantas. Além disso, a absorção em excesso de íons como o Na^+ e Cl^- pode ocasionar fitotoxicidade (Mansour, 2014). Nessas condições, o crescimento celular, abertura estomática e a fotossíntese são reduzidos e conseqüentemente o potencial de produção da planta (Taiz et al., 2017).

O potencial de água na folha é um indicador que descreve o estado energético foliar, cujos gradientes explicam os fluxos da água no sistema solo-planta-atmosfera, assim, o declínio da disponibilidade de água no solo leva à perda da turgescência foliar (Taiz et al., 2017) e, por isso, tem sido muito utilizado em estudos das relações hídricas dos vegetais.

De acordo com Puga et al. (2016) uma das técnicas utilizadas para controle de sais no solo é o uso da fração de lixiviação, que consiste em aplicar na irrigação uma lâmina de água além da necessidade da cultura, para que os sais, provenientes da água de irrigação e/ou presentes no solo sejam lixiviados da zona radicular.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito da salinidade da água de irrigação, sob condição ou não de lixiviação, no potencial hídrico, teor relativo de água, succulência foliar e eficiência no uso da água da cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, nas coordenadas geográficas $8^{\circ}01'06''$ latitude Sul e $34^{\circ}56'49''$ longitude Oeste, altitude de 6 m conforme o sistema SIRGAS 2000 (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas).

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é As, Megatérmico Tropical (tropical úmido) (Alvares et al., 2013). A precipitação média é de $2.263,5 \text{ mm ano}^{-1}$ concentrada entre o outono e o inverno, apresentando média de 377,9 mm no mês de mais chuvoso (junho); as temperaturas máxima e mínima do ar de 29,1 e 21,8 °C, respectivamente; a umidade relativa do ar média 79,8%, insolação 2550,7 horas. O total de evapotranspiração média da região está entre 1.000 e 1.600 mm ano^{-1} (Barros, 2016; INMET, 2019).

A área experimental é composta por uma estação lisimétrica com 40 lisímetros de drenagem (1 m^3), espaçados em 1,20 m e conectados por meio de um sistema de drenagem a uma casa de coleta e medição da solução drenada. Em área anexa, encontra-se uma estação meteorológica automática (Campbell Scientific - CR1000) utilizada para manejo da irrigação.

Os lisímetros foram preenchidos com Espodossolo classificado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Santos et al. 2013), o qual corresponde a Spodosol na classificação U.S. Soil Taxonomy (Soil Survey Staff 2014), cujas características físicas são: areia = 890 g kg^{-1} , silte = 30 g kg^{-1} , argila = 80 g kg^{-1} , classe textural = arenosa, densidade do solo = $1,73 \text{ g cm}^{-3}$, densidade da partícula = $2,63 \text{ g cm}^{-3}$, umidade volumétrica (0,33 atm) = 3,02%, umidade volumétrica (15 atm) = 1,34%.

A variedade de cana-de-açúcar foi a RB92579 no segundo ciclo de cultivo (cana-soca) de novembro de 2017 a novembro de 2018, irrigada por um sistema por gotejamento, com gotejadores autocompensantes espaçados a 0,30 m e com vazão unitária de $4,1 \text{ L h}^{-1}$. Submetida a cinco níveis de salinidade da água de irrigação (CEa: 0,5; 2,0; 4,0; 6,0 e 8,0 dS m^{-1}) e duas condições de lixiviação (FL 0 e 0,17), correspondentes a 100 e 120% da evapotranspiração da cultura (ETc). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 5×2 , com quatro repetições.

Os níveis de salinidade da água foram obtidos pela adição de NaCl e $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (1 Ca:1 Na) na água de abastecimento local ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$). Aos 45 dias após o corte (DAC) iniciou-se aplicação dos tratamentos, com irrigações diárias usando as respectivas águas salinas baseadas na ETc, obtida pelo produto da evapotranspiração de referência (ETo) estimada pela equação de Penman-Monteith e o coeficiente de cultivo (Kc) conforme Allen et al. (1998).

Aos 90, 150 e 210 DAC foram realizadas análises na folha +3, que é a terceira folha da haste com bainha visível conhecida como folha TVD (Top Visible Dewlap) de acordo com a numeração proposta por Kuijper (Dillewijn, 1952). Para obtenção do potencial hídrico foliar (Ψ_w , MPa), foram coletadas folhas dos respectivos tratamentos no antemanhã e medido com uma câmara de pressão de Scholander (Scholander, 1965).

Foram coletadas folhas totalmente expandidas de cada tratamento e utilizando-se um cortador de disco com área conhecida ($2,01 \text{ cm}^2$), cortaram-se cinco discos (amostras) da secção média da folha (evitaram-se nervuras). Em seguida foram depositadas dentro de sacolas plásticas herméticas e, de imediato as amostras levadas para o laboratório para serem pesadas em balança analítica obtendo-se a biomassa fresca (BMF, g).

Posteriormente, foram colocados papel filtro em placas de petri e saturados com água deionizada onde os discos permaneceram por um período de 3 a 4 horas até atingirem o

turgor. Depois da embebição, os discos foram secos superficialmente com papel toalha e pesados para obtenção da biomassa turgida (BMT, g). Em seguida, permaneceram em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até obtenção de massa constante para determinar a massa de matéria seca (BMS, g).

O teor relativo de água (TRA, %) foi obtido conforme metodologia de Morgan (1995):

$$\text{TRA (\%)} = \left[\frac{(\text{BMF} - \text{BMS})}{(\text{BMT} - \text{BMS})} \right] \times 100 \quad (1)$$

A suculência foliar (SF, mg H₂O cm⁻²) foi determinada segundo Benincasa (2003):

$$\text{SF (mg H}_2\text{O cm}^{-2}\text{)} = \frac{\left[\frac{(\text{BMF} - \text{BMS})}{1000} \right]}{(\text{AF})} \quad (2)$$

Em que,

AF - área foliar, m²; 1000 = fator de conversão de grama em miligrama.

Foram feitas leituras da taxa fotossintética (*A*, μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) e transpiratória (*E*, mmol H₂O m⁻² s⁻¹) por meio de um Analisador de Gás Infravermelho (IRGA LI 6400, Licor, Lincoln NE, USA). As leituras foram realizadas entre as 11 e 13 horas, com densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos superiores a 1800 μm² s⁻¹.

Com as medidas de trocas gasosas, foi estimada a eficiência instantânea no uso de água (μmol CO₂ mmol H₂O) pela razão entre a taxa fotossintética líquida e a taxa transpiratória.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F (*p* ≤ 0,05). O fator quantitativo (níveis de salinidade) foi comparado mediante análise de regressão. Para todas as análises foi utilizado o software estatístico SISVAR versão 5.2 (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo (*p* < 0,01) para os fatores isolados salinidade da água de irrigação e condições de lixiviação para o potencial hídrico foliar (Ψ_w), teor relativo de água (TRA), suculência foliar (SF) e eficiência instantânea no uso de água (*A/E*), em todas as datas analisadas.

Na Figura 1A, observa-se que o aumento do teor de sais na água de irrigação reduziu linearmente o Ψ_w a taxas de 0,024; 0,035 e 0,061 MPa por incremento unitário de salinidade

independente da data avaliada, mas sempre com maior intensidade ao longo da idade da planta, promovendo reduções de 38,7, 44,2 e 60,1% aos 90, 150 e 210 DAC, respectivamente.

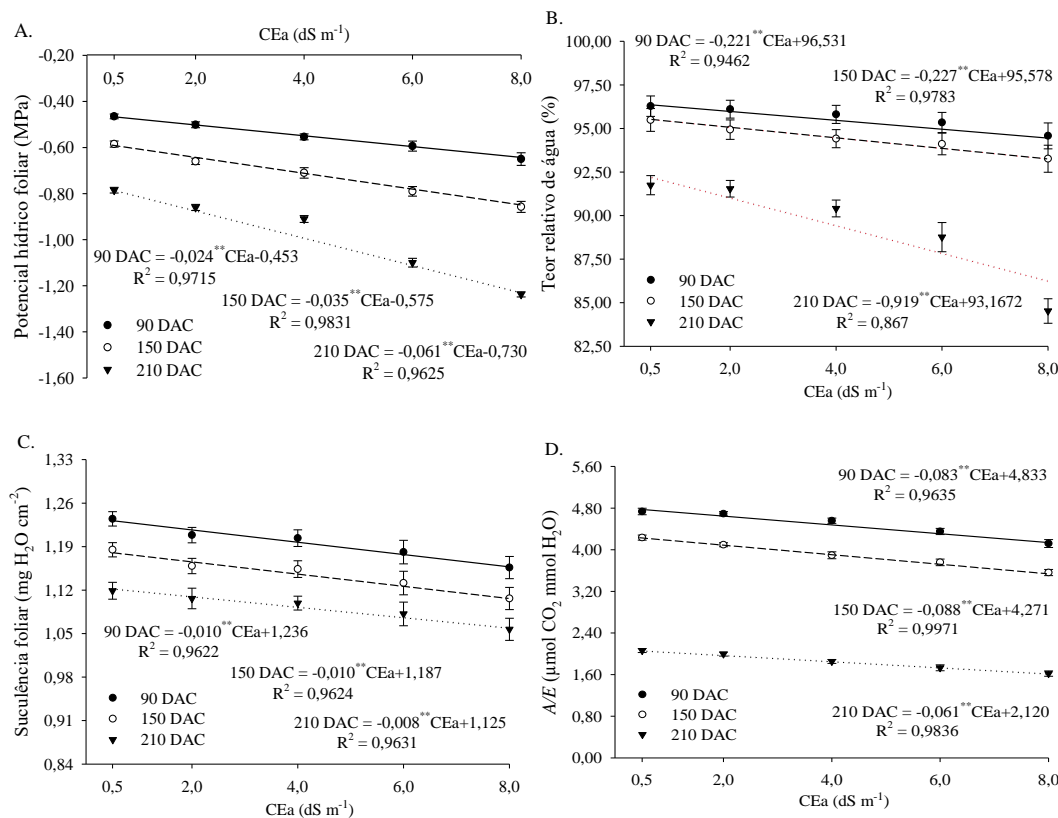


Figura 1. Potencial hídrico foliar (A), teor relativo de água (B), suculência foliar (C) e eficiência instantânea no uso de água (D) da cana-de-açúcar (RB92579) primeira soca, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação aos 90, 150 e 210 dias após o corte.

Altas concentrações de sais na interface raiz-solo reduzem absorção de água pela planta, devido ao declínio do potencial hídrico do solo, tanto pelo efeito osmótico como matricial. Além disso, a absorção de sais (Na⁺ e Cl⁻) em excesso leva a concentrações tóxicas pelo efeito iônico, interferindo na absorção de nutrientes e na fotossíntese (Munns & Tester, 2008; Mansour, 2014).

Em plantas bem hidratadas o Ψ_w varia de -0,2 a -0,9 MPa e, valores mais reduzidos indicam que as plantas encontram-se sob estresse hídrico (Taiz et al., 2017). Ainda de acordo com os autores, os primeiros processos afetados com reduções no suprimento hídrico são a expansão celular, síntese de parede e proteica. Endres et al. (2010) avaliando genótipos de cana-de-açúcar em condições de deficiência hídrica, em Coruripe, AL, verificaram valores de Ψ_w entre -1,8 a -2,0 MPa em genótipos sensíveis e -1,5 MPa em tolerantes.

Aos 90 e 150 DAC (Figura 1B) os valores médios de TRA foram superiores a 93%, mesmo nos tratamentos com maior nível salino. Silva et al. (2013) avaliando a resposta de

genótipos a deficiência hídrica, verificaram valores médios de TRA de 80% para cultivares sensíveis e 89% para as tolerantes. Rodrigues et al. (2009) observaram valores médios de TRA de 60% em genótipos sensíveis a seca e destacaram que a maioria dos genes de tolerância expressos nas cultivares tolerantes, haviam sido reprimidos nas plantas sensíveis. Estes estudos têm destacado a importância dessas variáveis como indicativos da tolerância das plantas a condições de estresse.

Foi observada uma redução mais acentuada aos 210 DAC para o TRA, com valores médios de 93 e 86% para os níveis de salinidade de 0,5 e 8,0 dS m⁻¹ (-8,1%), respectivamente, principalmente devido ao maior acúmulo de sais no solo ao longo tempo. Segundo Anitha et al. (2015) as respostas das plantas ao estresse salino são complexas, ocorrendo em redes genéticas e processos metabólicos que dependem da tolerância ao sal inerente da espécie vegetal, concentração de sal e duração da exposição.

Na Figura 1C, observa-se que o aumento no teor de sais na água de irrigação promoveu reduções de 6,1; 6,4 e 5,4% na SF aos 90, 150 e 210 DAC, respectivamente. A redução nos valores da suculência foliar e no teor relativo de água induzido pelo NaCl e CaCl₂ são indicativos de ter ocorrido um efetivo ajustamento osmótico nas plantas sob estresse. Os resultados corroboram com os obtidos por Aquino et al. (2007), avaliando o genótipo de sorgo forrageiro (CSF 18) submetidos aos mesmos níveis salinos, onde obtiveram valores médios de 1,53 e 1,37 mg H₂O cm⁻² (-11,7%).

A suculência foliar é uma característica com importantes implicações anatômicas e fisiológicas em plantas estressadas e é diretamente relacionada ao acúmulo de sais nos tecidos, de forma que espécies mais tolerantes ao estresse salino conseguem manter o conteúdo de água nos seus tecidos através da acumulação de sais em seus vacúolos (Aquino et al., 2007; Taiz et al., 2017).

Como observado para as demais variáveis, a relação *A/E* (Figura 1D) também reduziu linearmente com o incremento dos níveis de salinidade da água e com maior intensidade ao longo ciclo de cultivo, promovendo reduções de 12,99; 15,61 e 21,89% aos 90, 150 e 210 DAC, respectivamente. Silva et al. (2013) avaliando genótipos de cana-de-açúcar submetidos a deficiência hídrica na fase de crescimento inicial obtiveram valores de eficiência instantânea no uso da água variando de 3,9 a 6,7 μmol CO₂ mmol H₂O.

Na Tabela 1, se observa os valores médios para Ψ_w , TRA, SF e *A/E* para o fator isolado frações de lixiviação nas três datas avaliadas (90, 150 e 210 DAC). Em todas as datas os maiores valores dessas variáveis foram obtidos quando se adotou a FL 0,17, para o Ψ_w foram

observados aumentos de 39,1; 27,6; 29,6% em relação à condição FL 0 aos 90, 150 e 210 DAC, respectivamente.

Lira et al. (2018) observaram aumentos de até 66,28% no Ψ_w de cana-de-açúcar (RB867515) submetida a FL 0,17 em relação ao tratamento sem fração, aos 318 DAS, em Recife, PE. Esses resultados demonstram a eficiência da fração de lixiviação no controle de sais no solo, permitindo o deslocamento dos sais provenientes da água de irrigação e/ou presentes no solo para perfis mais profundos que a zona radicular (Puga et al., 2016).

Para o TRA os aumentos foram de 1,7; 2,1; 3,6% aos 90, 150 e 210 DAC, respectivamente, na condição de lixiviação de 0,17. Para a SF foram observados aumentos de 9,6; 11,0; 11,6% e para relação A/E foram de 4,1; 4,5; 8,4% aos 90, 150 e 210 DAC, respectivamente.

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão (\pm) do potencial hídrico foliar (Ψ_w), Teor relativo de água (TRA), Suculência foliar (SF), eficiência instantânea no uso de água (A/E) (D) da cana-de-açúcar (RB92579) em função das condições de lixiviação (FL 0 e 0,17) aos 90, 150 e 210 DAC

Variáveis	Frações	90 DAC	150 DAC	210 DAC
Ψ_w	FL0	-0,69 ($\pm 0,04$) b	-0,87 ($\pm 0,01$) b	-1,08 ($\pm 0,02$) b
	FL0,17	-0,42 ($\pm 0,04$) a	-0,63 ($\pm 0,01$) a	-0,76 ($\pm 0,02$) a
TRA	FL0	94,81 ($\pm 0,53$) b	93,46 ($\pm 0,57$) b	89,39 ($\pm 0,33$) b
	FL0,17	96,43 ($\pm 0,54$) a	95,43 ($\pm 0,69$) a	92,60 ($\pm 0,23$) a
SF	FL0	1,14 ($\pm 0,02$) b	1,09 ($\pm 0,02$) b	1,03 ($\pm 0,01$) b
	FL0,17	1,25 ($\pm 0,02$) a	1,21 ($\pm 0,02$) a	1,15 ($\pm 0,02$) a
A/E	FL0	4,40 ($\pm 0,13$) b	3,82 ($\pm 0,13$) b	1,78 ($\pm 0,09$) b
	FL0,17	4,58 ($\pm 0,11$) a	3,99 ($\pm 0,12$) a	1,93 ($\pm 0,08$) a

¹Dias após o corte.

CONCLUSÕES

O incremento da salinidade da água de irrigação reduziu o potencial hídrico foliar, teor relativo de água, suculência foliar e a eficiência instantânea no uso de água em todas as análises.

O uso da fração de lixiviação 0,17 atenuou os efeitos deletérios dos sais às plantas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/INCTsal).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, R. G.; Pereira, P. S.; Raes, R.; Smith, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. Irrigation and Dranaige, Paper 56.

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v.22, n.6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

Anitha, R.; Mary, P. C. N.; Savery, M. A. J. R; Sritharan, N.; Purushothaman, R. S. Differential responses of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) genotypes under salt stress condition. Plant Archive, v.15, p.1055-1060, 2015.

Aquino, A. J. S.; Lacerda, C. F.; Bezerra, M. A.; Gomes Filho, E.; Costa, R. N. T. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.961-971, 2007.

Barros, A. H. C. Agência Embrapa de Informação Tecnológica: Árvore do conhecimento: Território Mata Sul Pernambucana - Clima. Disponível: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000fbz2ztdp02wx5eo0sawqe3h6815n4.html>. Acesso em: 28 mar. 2016.

Benincasa, M. M. P. Análise de crescimento de plantas. Noções Básicas. 1.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar. v.6 - safra 2019/2020 – Primeiro levantamento. Brasília, 2019. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana> >. Acesso em: 26 mai. 2019.

Dhanapal, R.; Tayade, A. S; Bhaskaran, A. Efficient water management in sugarcane with composted coir pith and sugarcane trash under tropical Indian conditions. Sugar Tech, v.21, p.256-264, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0593-3>

Dillewijn, C. V. Botany of sugarcane. Waltham: Chronica Botanica; New York: Stechert-Hafner, 1952. 371p.

Endres, L.; Silva, J. V.; Ferreira, V. M.; Barbosa, G. V. de S. Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. *The Open Agriculture Journal*, v.4, p.31-37, 2010. <https://dx.doi.org/10.2174/1874331501004010031>

Ferreira, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, p.1039-1042, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

Ghodrati, M.; Ghazaryan, S. Agriculture water supply in semi-arid zone by underground dams. *European Journal of Experimental Biology*. v.33, p.706-711, 2013.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Normal Climatológica do Brasil 1981-2010. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologica>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

Lira, R. M. de; Silva, Ê. F. de F.; Barros, M. da S.; Gordin, L. C.; Willadino, L. G.; Barbosa, R. F. Water potential and gas exchanges in sugarcane irrigated with saline waters. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.679-682, 2018. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n10p679-682>

Maas, E. V. Crop tolerance. *California Agriculture*, v.36, p.20-21, 1984.

Mansour, M. M. F. The plasma membrane transport systems and adaptation to salinity. *Journal of Plant Physiology*, v.171, p.1787-1800, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.08.016>

Marin, F.; Nassif, D.S.P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: fisiologia, conjuntura e cenário futuro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.232-239, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200015>

Morgan, J. M. Growth and yield of wheat lines with differing osmoregulative capacity at high soil water deficit in seasons of varying evaporative demand. *Field Crops Research*, v.40, p.143-152, 1995. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)00100-Q](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)00100-Q)

Munns, R.; Tester, M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, p.651-681, 2008. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>

Puga, A. P.; Melo, L. C. A.; Abreu, C. A.; Coscione, A. R.; Paz-Ferreiro, J. Leaching and fractionation of heavy metals in mining soils amended with biochar. *Soil and Tillage Research*, v.164, p.25-33, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.01.008>

Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Lumberras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de; Araújo Filho, J. C. de; Oliveira, J. B. de; Cunha, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5ª ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 592p.

Scholander, P. F.; Hammel, H. T.; Hemmingsen, E. A.; Bradstreet, E. D. Sap pressure in vascular plants. *Science*, v.148, p.339-346, 1965. <https://doi.org/10.1126/science.148.3668.339>

Silva, M. A.; Jifon, J. L.; Santos, C. M.; Jadoski, C. J.; Silva, J. A. G. Capacidade fotossintética e eficiência no uso da água em genótipos de cana-de-açúcar sujeitos a déficit hídrico na fase inicial de crescimento. *Arquivos Brasileiros de Biologia e Tecnologia*, v.56, p.735-748, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132013000500004>

Soil Survey Staff. *Keys to soil taxonomy* (12th ed.). Washington, DC: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2014. 372p.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

Yasar, A.; Shabbir, S. A.; Tabinda, A. B.; Nazar, M.; Rasheed, R.; Mukhtar, A. M. S. Refuse-derived fuels as a renewable energy source in comparison to coal, rice husk, and sugarcane bagasse. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, v.41, p.564-572, 2019. <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1520340>