

# Água salina como alternativa para irrigação de sorgo para geração de energia no Nordeste brasileiro

Andréa Raquel Fernandes Carlos da Costa<sup>1</sup>, José Francismar de Medeiros<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pós-doutorado em Engenharia Agrícola; Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN; E-mail: andrearaquel19@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo; Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN; E-mail: jfmedeir@ufersa.edu.br

**Resumo:** Objetivou-se avaliar a produção de colmos, matéria seca, açúcar, açúcar teórico recuperável e energia pela queima da biomassa e etanol gerado de cultivares de sorgo (BRS 506 e Ponta Negra) submetidas a diferentes concentrações salinas da água de irrigação (0,8; 2,4; 3,4; e 4,8 dS m<sup>-1</sup>) e lâminas de irrigação (306, 378 e 490 mm). Os fatores estudados foram arranjados em parcelas subdivididas (4x3)x2, sendo as concentrações salinas e as lâminas em fatorial nas parcelas e as cultivares nas subdivididas e delimitados em blocos casualizados com quatro repetições. Observou-se uma redução de 16% para a produtividade de colmos e energia da lâmina 306 mm para a lâmina de 490 mm (lâmina excedente 23% da considerada potencial para a cultura). A cultivar BRS 506 apresentou redução de ATR (19,8%), rendimento de açúcar (19,8%) e colmos (11,0%), quando irrigada com água de CE = 4,8 dS m<sup>-1</sup> em relação a água de CE 0,8 dS m<sup>-1</sup>. A cultivar de sorgo Ponta Negra apresentou maior produção de matéria seca total e energia em relação a cultivar BRS 506 em todas as concentrações salinas estudadas, já a cultivar BRS 506 apresentou maior produtividade de açúcar, ATR e etanol em relação a cultivar Ponta Negra.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, lâminas de irrigação, salinidade.

## Saline water as an alternative for irrigation of sorghum for energy generation in northeast Brazil

**Abstract:** The objective of this study was to evaluate the production of stalks, dry water total, sugar, ATR and energy (biomass and ethanol) of sorghum cultivars (BRS 506 and Ponta Negra) submitted to different saline concentrations of irrigation water (0.8, 2.4, 3.4, and 4.8 dS m<sup>-1</sup>) and irrigation depths (306, 378 and 490 mm). The factors studied were arranged in subdivided plots (4x3)x3, with saline concentrations and depths slides in factorial and the cultivars in the subdivided plots, delineated in randomized blocks with four replicates. It was observed a reduction of 16% for the variables stalks yield and energy from depth 306 mm to 490 mm (exceeding 23% of the depth considered potential for crop). Only BRS 506 showed a reduction of ATR (19.8%), yield of sugar (19.8%) and stalks (11.0%) when irrigated with water of 4.8 dS m<sup>-1</sup> in relation to water of 0.8 dS m<sup>-1</sup>. The sorghum cultivar Ponta Negra presented higher dry matter sugar total and energy in relation to cultivar BRS 506 in all saline concentrations studied, the cultivar BRS 506 showed higher sugar yield, ATR and ethanol in relation to the Ponta Negra cultivar.

**Keywords:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, irrigation depths, salinity.

## Introdução

Grande parte da energia elétrica que utilizamos em nosso dia a dia é proveniente de fontes de combustíveis fósseis, que além de serem fontes energéticas não-renováveis causam implicações ambientais à natureza. Enquanto a participação estimada de energias renováveis no consumo final mundial de energia em 2014 foi de 19,2%, os combustíveis fósseis (78,3%) e a energia nuclear (2,5%) representaram 80,8% da energia utilizada no planeta (Ren 21, 2016). Nesse sentido, a humanidade tem um grande desafio à sua frente, a busca por fontes alternativas de energia, os chamados combustíveis limpos, que envolvem os bicompostíveis, em que a biomassa e o etanol figuram como destaques.

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é considerado uma promissora fonte de matéria-prima para biocombustíveis. Dentre as vantagens do sorgo destacam-se o ciclo curto, a elevada produção de biomassa, elevado potencial de produção de sacarose para conversão em etanol, eficiência energética e baixo consumo de água. Essas características permitem o cultivo do sorgo em zonas áridas e semiáridas, com uma versatilidade que facilita sua produção em diferentes épocas e regiões, garantindo oferta de matéria-prima em condições de pluviosidade baixa ou instável (Camacho et al., 2002; Mapa, 2006).

No nordeste brasileiro, o sorgo forrageiro vem se destacando por apresentar adaptabilidade às condições de estresses abióticos existentes no semiárido, sua principal utilização está na alimentação animal como alternativa ao milho para fabricação de rações, possibilitando uma redução no custo de produção (Rodrigues, 2010). O material também pode ser utilizado em usinas termelétricas para produção de energia, assim como, em indústrias que utilizam caldeiras e geram energia para consumo próprio.

O sorgo sacarino também se apresenta como alternativa promissora. Sorgo sacarino é o termo utilizado para descrever tipos de sorgo que apresentam altas concentrações de açúcar nos colmos, sendo cultivado em diversos países com a finalidade de produzir alimento, forragem para animais, fibra e energia, além disto, têm larga adaptabilidade a condições adversas, ou seja, são tolerantes à seca (Almodares & Hadi, 2009).

Desta maneira, o sorgo apresenta-se como alternativa para a produção de energia em regiões áridas e semiáridas, onde o estresse hídrico e salino limita o desenvolvimento da maioria das culturas, tanto por ser uma gramínea de comprovada resistência à seca, como

também adaptada às condições edáficas destas regiões. Assim, a utilização de água salina pode ser considerada uma opção para irrigação dessa cultura, porém é fundamental a adoção de técnicas adequadas de manejo da irrigação, visto que o controle da irrigação constitui critério essencial para o êxito da agricultura (Frizone, 1993).

A demanda por água para irrigação em regiões semiáridas tem levado a utilização da maioria das fontes hídricas disponíveis na região, obrigando os produtores a utilizarem águas com diferentes níveis de salinidade (Costa et al., 2012). Uma das alternativas para o uso dessas águas de elevada salinidade é a sua mistura com água de baixa concentração de sais, sendo este um manejo estratégico para incentivar a inserção dessas águas na produção vegetal em regiões que sofrem com estiagens prolongadas (Silva et al., 2014).

Em regiões onde a água é escassa, a otimização da irrigação, também constitui uma estratégia de manejo de irrigação fundamental. Visto que o sorgo é uma cultura que apresenta tolerância a condições de estresse hídrico, uma irrigação ótima implicaria em menores lâminas aplicadas em relação à irrigação plena sem que haja perdas significativas de produção e com a vantagem de redução dos riscos associados aos impactos ambientais adversos da irrigação plena.

Desse modo, as águas salinas como alternativa para a irrigação de sorgo no semiárido brasileiro fica condicionada a tolerância da cultura à salinidade, a mistura dessas águas com água de baixa concentração de sais, e a otimização da irrigação.

Nesse sentido, objetivou-se por meio desta pesquisa avaliar a produtividade de matéria seca total, ATR e energia (biomassa e etanol) de cultivares de sorgo submetidas a concentrações de sais da água de irrigação e lâminas de irrigação no semiárido nordestino.

## Material e Métodos

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, localizada em Alagoinha – município de Mossoró-RN, pertencente à Universidade Federal Rural do Semiárido - UFRSA, situando-se na latitude 5°03'37"S e longitude de 37°23'50"W Gr, com altitude de aproximadamente 72 m, distando 20 km da cidade de Mossoró-RN.

Mossoró encontra-se na região noroeste do Estado do Rio Grande do Norte, sendo o clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, do grupo BShw', isto é, tropical semiárido muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono,

apresentando temperatura média de 27,4 °C, precipitação pluviométrica anual muito irregular, com média de 673,9 mm e umidade relativa do ar de 68,9% (Carmo Filho & Oliveira, 1995).

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo latossólico conforme Embrapa (2013). Na Tabela 1, encontram-se os valores das análises do solo realizadas antes da instalação do experimento e da água utilizada do poço profundo. O solo do local para a camada de 0-20 cm apresentou densidade do solo igual a 1,53 g cm<sup>-3</sup>, densidade de partículas de 2,64 g cm<sup>-3</sup>, com conteúdo de areia, silte e argila de 82%, 4% e 14%, respectivamente.

A adubação do solo foi realizada parte em fundação e parte por meio da fertirrigação, utilizando-se as recomendações de IPA (2008). Para o N a dose padrão foi de 30 kg ha<sup>-1</sup>, utilizando-se como fonte a ureia via fertirrigação. Para K (K<sub>2</sub>O) e P (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) as doses foram determinadas de acordo o teor desses elementos no solo, com aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizando-se como fontes o cloreto de potássio e o superfosfato simples, via fertirrigação e fundação, respectivamente.

Os tratamentos estudados foram constituídos de três fatores, concentração de sais da água de irrigação (0,8; 2,4; 3,4; e 4,8 dS m<sup>-1</sup>), lâminas de irrigação (306, 378 e 490 mm) e cultivares de sorgo (BRS 506 e Ponta Negra), arrançados em parcelas subdivididas (4x3)x2, sendo as quatro concentrações salinas e as três lâminas em fatorial nas parcelas e as duas cultivares nas subdivididas, e delineados em blocos completamente casualizados com quatro repetições.

Para o fator concentração de sais, a água de menor concentração (0,8 dS m<sup>-1</sup>) foi proveniente de poço artesiano profundo e a água de maior concentração (4,8 dS m<sup>-1</sup>), baseada na tolerância à salinidade da cultura do sorgo para um rendimento potencial de 50% de acordo com Ayers & Westcot (1999), foi produzida previamente com a adição de sais (NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) para ficar com uma proporção molar de cargas de 7:2:1 de Na, Ca e Mg, que representa a composição média das

águas salobras do semiárido nordestino. As outras duas concentrações de sais (2,4 e 3,4 dS m<sup>-1</sup>) da água foram obtidas da mistura dessas duas águas, sendo monitoradas diariamente, com auxílio de um condutivímetro portátil.

O fator lâminas de irrigação foi determinado a partir de estimativas da evapotranspiração da cultura (80, 98 e 127%) utilizando-se o método de Penman-Monteith, proposto pela FAO (Allen et al., 2006). O sistema de irrigação utilizado no experimento foi o gotejamento, para obtenção das diferentes lâminas utilizou-se mangueiras com espaçamentos entre gotejadores (20, 30 e 40 cm) e vazões diferentes (1,2, 1,6 e 2,0 L h<sup>-1</sup>), de modo a proporcionar volumes diferentes por área durante o ciclo da cultura (306, 378 e 490 mm, respectivamente).

As irrigações eram realizadas diariamente, com base na evapotranspiração máxima da cultura (ET<sub>c</sub>), que foi estimada multiplicando-se a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) pelo coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>), conforme método proposto pela FAO 56 (Allen et al., 2006), aplicando-se a metodologia do K<sub>c</sub> dual, usando K<sub>c</sub> basais de 0,15; 0,95 e 0,35, respectivamente, para as fases fenológicas inicial, intermediária e para o final do ciclo, adotando-se como eficiência de irrigação para calcular a lâmina bruta de irrigação o efeito do coeficiente de uniformidade de 95%, sendo esta lâmina adotada para a lâmina intermediária (100%).

A ET<sub>o</sub> foi determinada a partir de dados coletados em uma estação meteorológica localizada próxima ao local do experimento.

A cultura utilizada no experimento foi o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). O plantio foi realizado manualmente, colocando-se cinco sementes por cova, com desbaste 15 dias após a semeadura, deixando-se três plantas por cova, no espaçamento em fileira dupla 1,2 x 0,3 x 0,20 m, com espaçamento médio de 0,75 m entre fileiras e 0,20 m entre plantas. As unidades experimentais foram constituídas de duas fileiras duplas de sete metros, sendo as fileiras externas de cada unidade a bordaduras, totalizando uma área útil de 3,2 m<sup>2</sup>, e um total de 144 parcelas experimentais.

**Tabela 1.** Características químicas do solo e da água de irrigação.

Solo (Profundidade 0-20 cm)										
P	K <sup>+</sup>		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Soma de Bases		Al <sup>3+</sup>	pH (H <sub>2</sub> O)	
mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>									
30	0,28		3,20	1,00	0,31	4,79		0,05	6,00	
Análise da água (Poço Profundo)										
CE	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	RAS	RAS <sub>aj</sub>
dS m <sup>-1</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>									
0,8	3,1	0,44	0,9	2,16	2,4	1,4	4,6	8,8	1,97	1,80

As cultivares de sorgo escolhidas para serem estudadas foram BRS 506 e Ponta Negra. A cultivar Ponta Negra se aproxima mais do ideal para as condições edafoclimáticas da região. Já as cultivar BRS 506, embora muito rica em sacarose, ainda não se conhece sua adaptabilidade a região.

A produtividade de colmos foi avaliada por meio da pesagem dos colmos da área útil no momento da colheita, com o auxílio de uma balança digital portátil com gancho com capacidade para pesar até 50 kg e os valores foram expressos em  $\text{Mg ha}^{-1}$ .

Para obtenção dos dados de massa de matéria seca foi realizada, na colheita, coleta da parte aérea de quatro plantas de cada parcela experimental. A parte aérea da planta foi separada em folhas, inflorescências e colmos. Após ser separado, esse material foi pesado para determinação da massa de matéria verde total. Em seguida, foram retiradas amostras dos respectivos materiais frescos e colocadas em estufa à temperatura de circulação forçada mantida em cerca de  $65^{\circ}\text{C}$ , até atingirem massa constante, para obtenção da massa de matéria seca. Levando em consideração a massa de matéria verde da planta e a umidade existente nas diferentes partes da planta, quantificou-se a produção de massa de matéria seca total (folhas, inflorescências e colmos), sendo os valores expressos em  $\text{Mg ha}^{-1}$ .

O grau Brix, % Pol do caldo, pureza, % de fibra e AR (açúcares redutores) foram determinados para cálculo do açúcar teórico recuperável (ATR), por meio de metodologias descritas em Consecana (2006). O  $^{\circ}\text{Brix}$  foi obtido a partir do caldo extraído da amostragem do colmo de cada parcela experimental, utilizando-se refratômetro digital Autopol 589, (Tecnal). O teor de sacarose aparente no caldo (Pol caldo) foi estimado utilizando-se a equação,  $x=1,093 \cdot (\text{BRIX})-9,104$ , obtida por meio da correlação entre os dados de  $^{\circ}\text{BRIX}$  e  $\text{POL}$  obtidos em parte das amostras. A percentagem de fibra (%) foi calculada pelo produto entre o percentual de matéria seca (%) e o  $^{\circ}\text{Brix}$  (%).

O açúcar teórico recuperável (ATR) foi determinado por meio de equações descritas em Consecana (2006) e a produtividade de açúcar ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) foi obtida por meio do produto entre o ATR e a produtividade de colmos.

O etanol foi calculado pela relação entre o ATR e a eficiência de fermentação e destilação, que de acordo com Consecana (2011) é de  $1,613/\text{kg}$  de ATR, para álcool hidratado.

A produção de energia levou em consideração o poder calorífico superior das cultivares de sorgo, que foi  $3782 \text{ cal g}^{-1}$  para a cultivar Ponta Negra e  $3806 \text{ cal g}^{-1}$  para a cultivar BRS 506, obtida em parte das amostras.

Os dados foram interpretados por meio de análises de variância, teste de médias e regressão, utilizando-se o Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG versão 9.0).

## Resultados e Discussão

Observou-se por meio da ANAVA efeito significativo da interação cultivares (C) e salinidade da água de irrigação (S) sobre a produtividade de colmos e produtividade de açúcar do sorgo e para as variáveis açúcar total recuperável (ATR), etanol e produção de energia a 10% de probabilidade. Verificou-se ainda que as lâminas de água influenciaram de maneira isolada a produção de energia a 0,10 de probabilidade e que houve diferença entre as cultivares estudadas para todas as variáveis analisadas (Tabela 2).

Avaliando-se a produtividade colmos, açúcar e de açúcar teórico recuperável (ATR) em função da salinidade da água de irrigação, para as diferentes cultivares de sorgo, verificou-se uma redução linear na produtividade de colmos, açúcar e ATR para a cultivar BRS 506 com o aumento da salinidade da água de irrigação (Figura 1). Os maiores valores de produtividade de colmos, açúcar e ATR da cultivar BRS 506 foram obtidos na água de  $0,81 \text{ dS m}^{-1}$  ( $34,47, 3,64$  e  $3,81 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e os menores na água com concentração salina de  $4,91 \text{ dS m}^{-1}$  ( $31,05, 3,04$  e  $3,17 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) havendo uma perda de 11% na produtividade de colmos e 19,8 % no total açúcar e ATR da maior para menor concentração salina estudada. Para a cultivar Ponta Negra não houve efeito significativo da CE da água de irrigação sobre a produtividade de colmos, açúcar e ATR, apresentado valores médios de  $33,18, 1,75$  e  $1,83 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente.

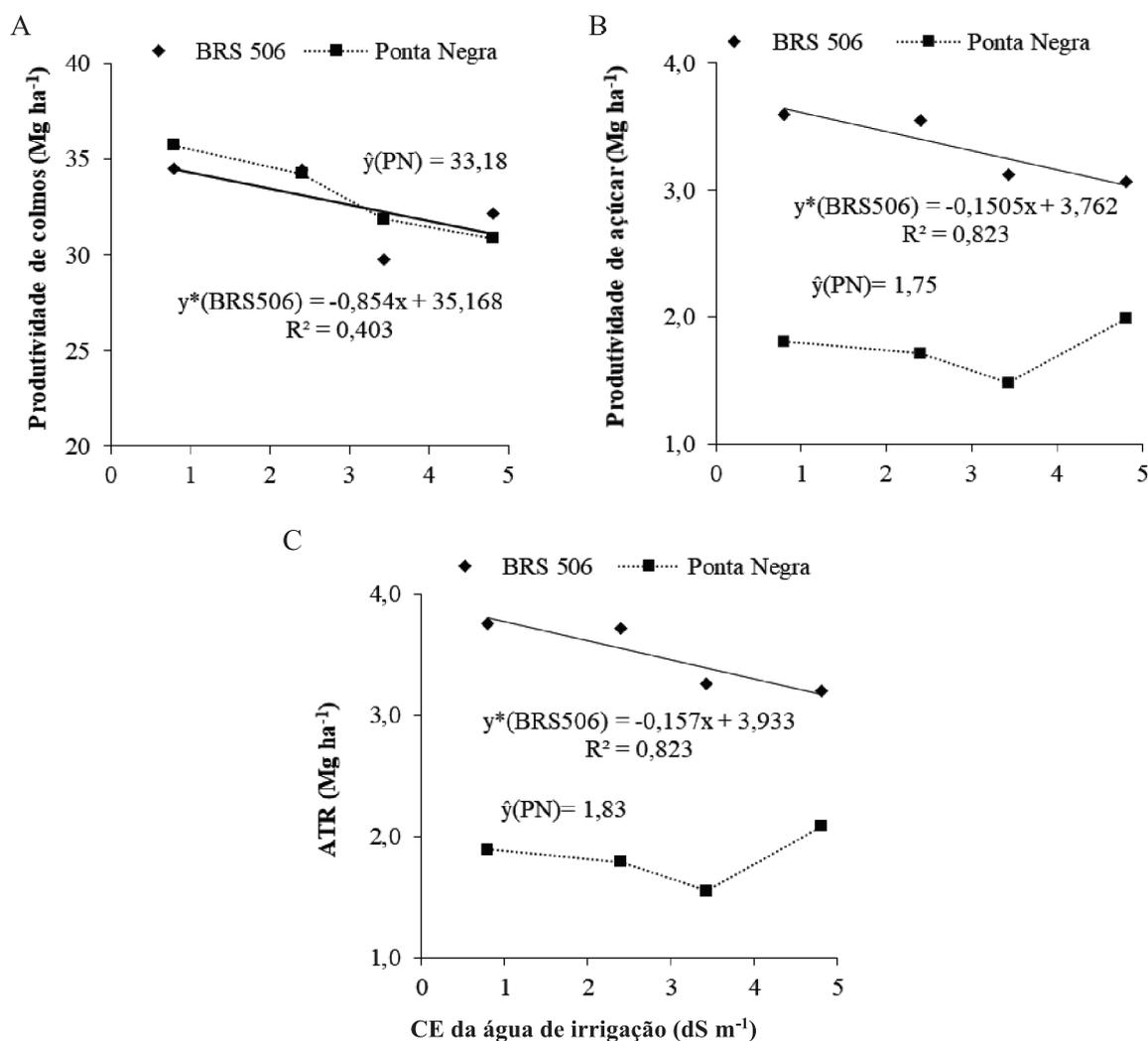
Em suma, os resultados encontrados neste estudo demonstraram que o uso de água salina reduz significativamente a produção de colmos, açúcar e ATR da cultivar de sorgo BRS 506. Embora a cultura do sorgo seja classificada como moderadamente tolerante a salinidade, podem ocorrer reduções significativas na produção em resposta à salinidade, com taxas de perdas variando em função de materiais genéticos (Coelho et al., 2014). O efeito negativo da salinidade sobre o desenvolvimento da cultivar de sorgo BRS 506 provavelmente ocorreu devido à diminuição da disponibilidade hídrica no solo, o que ocasiona queda no potencial da água da folha e conseqüentemente perda de turgescência e fechamento estomático, acarretando alterações na produção de biomassa (Munns & Tester, 2008).

**Tabela 2.** Resumo da ANOVA e valores médios de produtividade de colmos (PRODC), açúcar (PRODA), matéria seca total (PMST), açúcar teórico recuperável (ATR), etanol e produção de energia (PRODENERGIA), de cultivares de sorgo BRS-506 e Ponta Negra, em função das lâminas de água (LAM) e salinidades da água de irrigação (SAL).

Fontes de variação	GL	----- Mg ha <sup>-1</sup> -----					ETANOL L ha <sup>-1</sup>	PRODENERGIA GJ ha <sup>-1</sup>
		PRODC	PRODA	PMST	ATR			
BLOCO	2	0,96 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	
LAM	2	2,79 <sup>o</sup>	2,02 <sup>ns</sup>	3,00 <sup>o</sup>	2,02 <sup>ns</sup>	2,02 <sup>ns</sup>	3,00 <sup>o</sup>	
SAL	3	1,35 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	
LAM*SAL	6	0,50 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	1,39 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	1,39 <sup>ns</sup>	
ERRO(A)	22	---	---	---	---	---	---	
CULT	1	41,22 <sup>**</sup>	227,41 <sup>**</sup>	97,41 <sup>**</sup>	227,41 <sup>**</sup>	227,41 <sup>**</sup>	101,77 <sup>**</sup>	
CULT*SAL	3	1,78 <sup>oo</sup>	2,79 <sup>o</sup>	4,00 <sup>*</sup>	2,79 <sup>o</sup>	2,79 <sup>o</sup>	4,00 <sup>*</sup>	
CULT*LAM	2	0,96 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	
CULT*SAL*LAM	6	2,09 <sup>o</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	1,81 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	1,82 <sup>ns</sup>	
ERRO(B)	24	---	---	---	---	---	---	
Média	---	32,95	2541	32,95	2656	1570	207,07	
C.V	---	9,64	17,52	9,64	17,52	17,52	12,00	

<sup>ns</sup> não significativo, \* significativo a 5%, \*\* significativo a 1%, <sup>o</sup> significativo a 10% e <sup>oo</sup> significativo a 20% de probabilidade pelo teste F; Valores de F calculado.

**Figura 1.** Produtividade de colmos (A), açúcar (B) e ATR (C) de cultivares de sorgo (BRS 506 e Ponta Negra), em função das concentrações salinas da água de irrigação.



Porém, não houve influência para a cultivar de sorgo Ponta Negra. De acordo com Guimarães et al. (2016) é viável cultivar sorgo forrageiro em regiões semiáridas brasileiras sob irrigação com água salina.

Nem todas as cultivares são igualmente afetadas pelo mesmo nível de salinidade, pois algumas são mais tolerantes que outras e podem extrair água com mais facilidade. Plantas mais tolerantes ao meio salino aumentam a concentração salina no seu interior, de modo que permaneça um gradiente osmótico favorável para absorção de água pelas raízes, porém as plantas sensíveis à salinidade tendem a excluir os sais na solução do solo, mas não são capazes de realizar o ajuste osmótico e sofrem com decréscimo de turgor, levando as plantas ao estresse hídrico, por osmose (Dias & Blanco, 2011).

A cultivar de sorgo Ponta Negra vem se destacando como sendo a cultivar mais promissora para se desenvolver em regiões que apresentam risco de ocorrência de deficiência hídrica, altas temperaturas e condições de estresse salino. De acordo com Vale & Azevedo (2013) o sorgo Ponta Negra apresenta-se como alternativa de sustentabilidade socioeconômica para o aproveitamento de água salina, garantindo, assim, uma fonte alternativa de renda e emprego para a agricultura familiar ou para Associação de Usuários de Água na região semiárida. Já a cultivar BRS 506, embora rica em sacarose, ainda não se conhece sua adaptabilidade aos estresses abióticos existentes no semiárido.

Apesar da cultivar de sorgo BRS 506 ser mais sensível a salinidade, mesmo em condições salinas, esta cultivar apresentou maior potencial para produção de açúcar. Segundo Purcino (2011), o sorgo sacarino

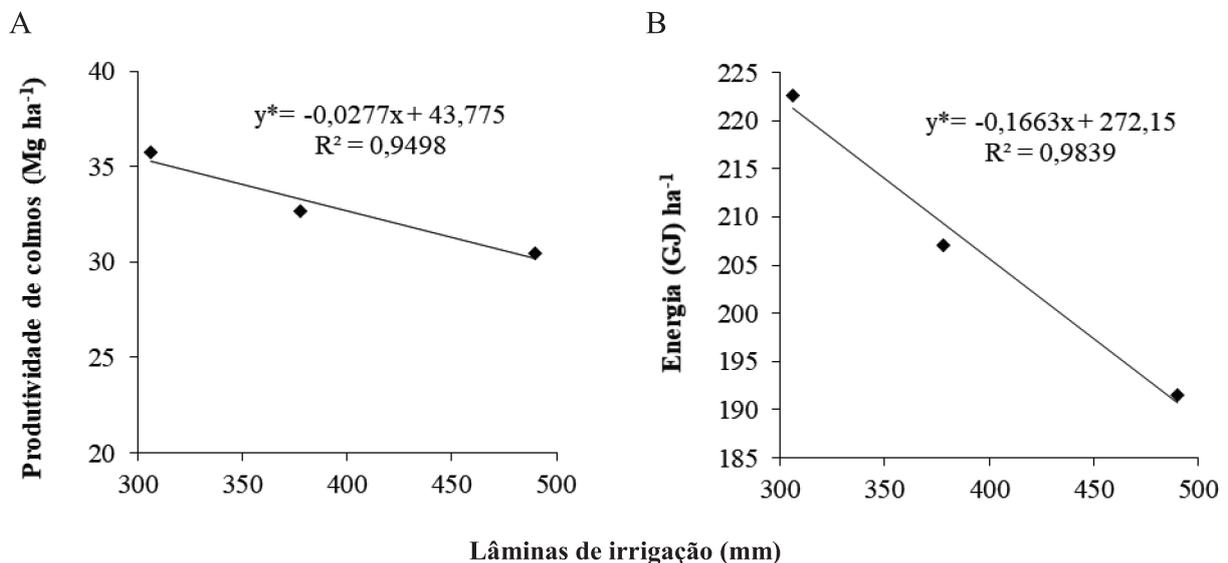
apresenta colmos com caldo semelhante ao da cana, rico em açúcares fermentescíveis, e pode servir para a produção de etanol.

As curvas de respostas de produtividade de colmos e energia em relação às lâminas de água de irrigação encontram-se na Figura 2. Observou-se uma redução linear para as variáveis com o aumento do volume de água aplicada, sendo a maior produtividade de colmos ( $35,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e de energia ( $221,3 \text{ GJ ha}^{-1}$ ) verificados na lâmina 306 mm, havendo uma redução de 16 % para as respectivas variáveis quando irrigadas com uma lâmina de 490 mm (lâmina excedente 30% da lâmina considerada potencial para a cultura).

Essa redução na produtividade de colmos e consequentemente na produção de energia se deve provavelmente a perda de nutrientes pela lavagem do solo no sentido vertical com o excesso de irrigação, carregando os nutrientes para as camadas mais profundas do perfil do solo, fora do alcance das raízes (Silva, 2012), assim, o excesso de água no solo, provoca redução do desenvolvimento vegetal, em função de desequilíbrios nutricionais provocados. Além disto, o excesso de água também reduz a percentagem de ar presente no solo e com isto o oxigênio.

Os resultados demonstram que o sorgo é um dos cereais mais indicados para as regiões de clima semiárido por tolerar altas temperaturas e produzir em condições de estresse hídrico. Isso ocorre devido a cultura do sorgo possuir mecanismos fisiológicos que a torna mais tolerante ao estresse hídrico (Lima et al., 2010), nesse sentido a produção de sorgo vem ganhando destaque em regiões onde há baixa precipitação, chuvas

**Figura 2.** Produtividade de colmos frescos (A) e energia (B), média das cultivares de sorgo (BRS 506 e Ponta Negra), em função das lâminas de irrigação.



irregulares e limitação hídrica para irrigação, com o benefício de obter esse rendimento ( $35,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) em período mais curto (100 a 120 dias) e com um custo de produção mais baixo, comparando-se por exemplo, a cana-de-açúcar que apresentou produtividade média anual no Nordeste em 2016 de  $52 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Conab, 2017).

Na Tabela 3 é apresentada a produtividade de matéria seca total, energia e etanol de plantas de sorgo, na qual se verifica diferença significativa entre as cultivares estudadas, em cada salinidade da água de irrigação.

Em relação a produtividade de matéria seca total e consequente produção total de energia do sorgo observa-se que a cultivar de sorgo Ponta Negra apresenta maior aptidão, em todas as concentrações salinas da água de irrigação estudadas. De acordo com Santos et al. (2007) a variedade de sorgo Ponta Negra se aproxima mais do ideal para as condições semiáridas nordestinas, além de ser mais precoce e apresentar alto potencial de produção de matéria seca, demonstrando o seu potencial como competidora em relação as outras cultivares. Estes resultados demonstram que a cultivar Ponta Negra apresenta uma boa performance para produção de biomassa e consequentemente para produção de energia, já que a biomassa pode ser aproveitada diretamente, por meio da combustão em fornos e caldeiras, em usinas termelétricas, como também em indústrias que utilizam caldeiras e geram energia para consumo próprio.

Além disto, verificou-se que para estas variáveis não houve diferença significativa entre as concentrações salinas da água de irrigação estudadas, apresentando valores médios de produtividade de matéria seca ( $10,70$  e  $14,84 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e produção de energia ( $177,50$  e  $234,35 \text{ GJ ha}^{-1}$ ) para as cultivares BRS 506 e Ponta negra, respectivamente. A cultivar de sorgo Ponta Negra apresentou produtividade média de matéria seca total

( $14,84 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) superior ao relatado por Vale & Azevedo (2013) ( $14,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), Aguiar et al. (2008) ( $11,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e Giacomini (2013) ( $10,85 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), em condições de campo semelhantes ao trabalho desenvolvido.

Referente a produção de etanol observou-se que cultivar de sorgo sacarino (BRS 506) apresentou maior capacidade para produção de etanol em todas as concentrações salinas estudadas. Apesar de a cultivar de sorgo BRS 506 ter sido mais sensível a salinidade, em relação por exemplo, a produtividade de açúcar e ATR, esta cultivar apresenta maior capacidade para produção de etanol, uma vez que mesmo em condições salinas apresentou maior valor médio de ATR (Figura 1C), e à medida que se aumenta o conteúdo de açúcares no caldo a conversão em etanol aumenta consideravelmente (Pereira Filho et al., 2013).

A produtividade de etanol a partir do sorgo sacarino poderia atingir níveis similares aos da cana-de-açúcar (Lima et al., 2011). O alto teor de açúcares diretamente fermentáveis contidos no colmo é comparado à cana-de-açúcar, com o benefício de obter esse rendimento em período mais curto, utilizando cultivares que variam o ciclo de 100 a 120 dias. Além disso, a elevada produção de biomassa, a antecipação da colheita em relação à cana-de-açúcar e utilização do mesmo processo industrial da cana-de-açúcar sem modificações colocam o sorgo sacarino como excelente matéria-prima para produção de etanol (Parrella et al., 2011).

Para o efeito da salinidade da água de irrigação na produtividade de etanol de cada cultivar, observou-se que para a cultivar BRS 506 houve uma tendência a diminuir com o aumento da concentração salina da água de irrigação, porém esta tendência não foi significativa, apresentando valor médio de  $2058,9 \text{ L ha}^{-1}$  e de  $1081,1 \text{ L ha}^{-1}$  para a cultivar Ponta Negra.

**Tabela 3.** Produtividade de matéria seca total, produção de energia e produtividade de etanol das cultivares de sorgo BRS 506 e Ponta negra em função das concentrações salinas da água de irrigação.

Salinidade da água expressa em CE	Produtividade de matéria seca total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )		Produção de energia ( $\text{GJ ha}^{-1}$ )		Etanol ( $\text{L ha}^{-1}$ )	
	BRS 506	PONTA NEGRA	BRS 506	PONTA NEGRA	BRS 506	PONTA NEGRA
0,8	12,22 Aa	14,80 Ab	193,4 Aa	235,8 Ab	2221,9 Aa	1118,4 Ab
2,4	10,94 Aa	15,40 Ab	173,2 Aa	245,5 Ab	2194,5 Aa	1058,8 Ab
3,4	11,34 Aa	13,55 Ab	179,5 Aa	216,0 Ab	1926,8 Aa	917,8 Ab
4,8	10,35 Aa	15,63 Ab	163,9 Aa	240,1 Ab	1892,4 Aa	1229,5 Ab

\*Medias seguidas por letras minúsculas iguais nas linhas não diferem estatisticamente entre si a 10% de probabilidade entre cultivares.

\*Medias seguidas por letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si a 10% de probabilidade entre salinidades.

## Conclusões

A redução de até 23% da lâmina considerada potencial para a cultura não prejudica o rendimento de colmos e energia do sorgo.

A cultivar de sorgo BRS 506 é mais sensível a salinidade do que a cultivar Ponta Negra.

A cultivar de sorgo Ponta Negra apresenta maior potencial para produção de biomassa seca e produção de energia total por meio da sua queima.

A cultivar de sorgo BRS 506 apresenta maior capacidade de produção de etanol mesmo em condições salinas da água de irrigação.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo auxílio financeiro necessário para realização desta pesquisa e pela concessão da bolsa de estudo.

## Literatura Citada

- Aguiar, E. M.; Lima, J. M. P.; Cunha, E. E.; Freitas, M. O.; Gouveia, H. S. A.; Melo, A.B.; Castro, O. P. C. M. Caracterização de acessos, repetibilidade e herdabilidade de características produtivas de sorgo forrageiro cultivado no litoral potiguar. In: 45ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2008. Lavras, Anais...
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith. Evapotranspiration del cultivo: Guias para a la determinacion de los requeriments de água de los cultivos. Roma: FAO, 2006, 298p. FAO, Estúdio de Riego e Drenaje Paper, 56.
- Almodares, A.; Hadi, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. African Journal of Agricultural Research, Nairobi, v.4, p.772-780, 2009.
- Ayers R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB, FAO, 1999, 153p. Estudos Irrigação e Drenagem, 29 revisado.
- Camacho, R.; Malavolta, E.; Gueireiro-Alves, J.; Camacho, T. Vegetative growth of grain sorghum in response to phosphorus nutrition, v.59, p.771-776, 2002.
- Carmo Filho, F.; Oliveira O. F. Mossoró: um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico. Mossoró: ESAM. 1995. 62p. Coleção Mossoroense, Série B.
- Coelho, D. S.; Simões, W. L.; Mendes, A. M. S.; Dantas, B. F.; Rodrigues, J. A. S.; Souza, M. A. Germinação e crescimento inicial de variedades de sorgo forrageiro submetidas ao estresse salino. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.18, p.25-30, 2014.
- Conab – Companhia Nacional de Abastecimento. Sorgo, Safra 2016/2017. Primeiro levantamento, Maio de 2017. Disponível em: <http://www.concab.gov.br>. Acesso em: 15 jun. 2017.
- Consecana – Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. Manual de Instruções. 5. ed. Piracicaba: Consecana, 2006. 112p.
- Consecana – Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar do Estado de São Paulo. 2011. Disponível em: [http://www.alcpar.org.br/consecana/circulares/circular01\\_2011.tml](http://www.alcpar.org.br/consecana/circulares/circular01_2011.tml). Acesso em 24 abril de 2017.
- Costa, A. R. F. C. da; Medeiros, J. F. de; Porto Filho, F. de Q.; Silva, J. S. da; Costa, F. G. B. Freitas, D. C. de. Produção e qualidade de melancia cultivada com água de diferentes salinidades e doses de nitrogênio. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, p.947-954, 2013.
- Dias, N. da S.; Blanco, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. Fortaleza, INCT Sal, 2010. 472p.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.
- Frizzone, J. A. Funções de resposta das culturas à irrigação. Piracicaba: ESALQ, 1993. 42p. Série Didática, 6
- Giacomini, I.; Pedroza, M. M.; Siqueira, F. L. T.; Mello, S. Q. S.; Cerqueira, F. B.; Salla, L. Uso potencial de sorgo sacarino para a produção de etanol no estado do Tocantins. Revista Agrogeoambiental, v.5, 2013.
- Guimarães, M. J. M.; Simões, W. L.; Tabosa, J. N.; Santos, J. E. dos; Willadino, L. Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.20, p.461-465, 2016.
- Ipa - Instituto Agronômico de Pernambuco. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco. 2 ed. Recife: IPA, 2008.
- Lima, A. M. de, Santos, D. T. dos; Garcia, J. C. Viabilidade econômica e arranjos produtivos. Agroenergia em Revista, v.3, 2011.
- Lima, J. M. P.; Lira, M. A.; Lima, M. L.; Sobrinho, E. E.; Freire, H. Sorgo: plante certo para colher muito. EMPARN, v.16, 2010. 24p.
- Mapa- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia. Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.
- Munns, R.; Tester, M. Mechanisms of salinity tolerance. The Annual Review of Plant Biology, v.59, p.651-681, 2008.
- Parrella, N. N. L.; Parrella, R. A. C. Sorgo sacarino: Tecnologia Agronômica e Industrial para Alimentos e Energia. Agroenergia em revista. v.2, 2011.
- Pereira Filho, I. A.; Parrela, R. A. da C.; Moreira, J. A. A.; Souza, May, A.; Souza, V. F. de S.; Cruz, J. C. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.12, p. 118-127, 2013.
- Purcino, A. A. C. Sorgo sacarino na Embrapa: histórico,

- importância e usos. *Agroenergia em revista*, 2011.
- Ren 21- Rede de Políticas de Energia Renovável para o Século 21. Relatório da situação mundial das energias renováveis (GSR). Disponível em: [http://www.reb21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21\\_GSR2016\\_KeyFindings\\_po\\_01.pdf](http://www.reb21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_KeyFindings_po_01.pdf). Acesso em 22 ago. 2017.
- Rodrigues, J. A. S. Cultivo do sorgo. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.
- Santos, F. G. dos; Rodrigues, J. A. S.; Schaffert, R. E.; Lima, J. M. P. De; Pitta, G. V. E.; Casela, C. R.; Ferreira, A. da S. BRS Ponta Negra Variedade de Sorgo Forrageiro. Sete Lagoas, MG: EMBRAPA, 2007. 6p. Comunicado Técnico, 142.
- Silva, J. L. de A.; Medeiros, J. F. de.; Alves, S. V.; Oliveira, F. de A. de.; Silva Júnior, M. da S.; Nascimento, I. B. do. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.66–72, 2014.
- Silva, L. C. F.; Maniero, M. A.; Casagrande, J. C.; Stolf, R. Controle de perdas. *Cultivar Grandes Culturas*, v.14, p.6-8, 2012.
- Vale, M. B; Azevedo, P. V. Avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo irrigados com água do lençol freático e do rejeito do dessalinizador. *Holos*, v.3, 2013.