

# VI CONGRESSO IBÉRICO de Agro-Engenharia

5 a 7 de Setembro | 2011  
Universidade de Évora | Portugal



## Efeitos da salinidade e fertilização azotada nos parâmetros hídricos e fotossintéticos na fase inicial de desenvolvimento de Sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench)

Renato Coelho<sup>1</sup>, Nádia Castanheira<sup>2</sup>, Francisco L. Santos<sup>3</sup>,  
Dulce G. Pereira<sup>4</sup>, Maria C. Gonçalves<sup>5</sup>

<sup>1</sup> ICAAM, Universidade de Évora, Portugal, email: [rcoelho@uevora.pt](mailto:rcoelho@uevora.pt)

<sup>2</sup> Universidade de Évora, Portugal, email: [nlsc@uevora.pt](mailto:nlsc@uevora.pt)

<sup>3</sup> ICAAM, Universidade de Évora, Portugal, email: [fls@uevora.pt](mailto:fls@uevora.pt)

<sup>4</sup> Universidade de Évora, Portugal, email: [dgsp@uevora.pt](mailto:dgsp@uevora.pt)

<sup>5</sup> Instituto Nacional de Recursos Biológicos, INIA, Portugal, email: [mc.goncalves@netc.pt](mailto:mc.goncalves@netc.pt)

### Resumo

Utilizando plantas de Sorgo Sacarino, investigou-se a possibilidade de atenuação do efeito inibitório da salinidade pela aplicação de fertilização azotada. As plantas foram crescidas em solo, numa estufa, e regadas com três níveis de solução de cloreto de sódio (0, 5 e 15 g L<sup>-1</sup> NaCl) e três níveis de solução de nitrato de amónio (0, 0,4 e 0,6 g L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), num desenho experimental 3 × 3, com 4 repetições, num total de 36 vasos. De um modo geral, as plantas toleraram bem a irrigação com 5 g L<sup>-1</sup> de NaCl mas mostraram sintomas severos com a irrigação de 15 g L<sup>-1</sup>. Assim, no final do ensaio, enquanto a biomassa seca das plantas irrigadas com 5 g L<sup>-1</sup> era apenas ligeiramente inferior às regadas com água corrente, as plantas regadas com 15 g L<sup>-1</sup> tinham menos 80% de peso seco. Os parâmetros fisiológicos medidos mostraram um padrão semelhante ao da biomassa, ou seja, pouco afectados pela menor salinidade mas muito inibidos pela maior (15 g L<sup>-1</sup>). A fertilização com azoto melhorou o crescimento das plantas e alguns outros parâmetros. Conclui-se assim que, na fase inicial de desenvolvimento das plantas de sorgo (25 dias), objecto deste ensaio, o azoto beneficia o crescimento das plantas expostas ao sal, embora, com base nos valores de fotossíntese, a concentração de 0,4 g L<sup>-1</sup> seja mais benéfica que a de 0,6 g L<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** sorgo sacarino, salinidade, fertilização azotada, parâmetros fisiológicos

### Abstract

The possibility of attenuating the inhibitory effects of salt by nitrogen fertilization was investigated on *Sorghum bicolor* plants.

Plants were grown on soil, in a green-house, and watered with 3 levels of sodium chloride (0, 5 and 15 g L<sup>-1</sup> NaCl) and 3 levels of nitrogen (0, 0,4 and 0,6 g L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) on a in a 3 × 3 layout with 4 repetitions, a total of 36 pots.

In general, plants have tolerated well irrigation with 5 g L<sup>-1</sup> NaCl but showed severe symptoms at 15 g L<sup>-1</sup>. As a result, at the end of the trial, while plants irrigated with 5 g L<sup>-1</sup> NaCl had just a small reduction in biomass compared to plants irrigated with tap water, plants exposed to 15 g L<sup>-1</sup> NaCl had 80% less dry weight. The measured physiological parameters showed a similar pattern to that of biomass, i.e., little affected by low NaCl but strongly inhibited by high NaCl concentration (15 g L<sup>-1</sup>). Nitrogen fertilization improved plant growth and some other parameters.

It may be said that, at this initial stages of plant growth (25 days), scope of this research, nitrogen shows a beneficial effect on growth of plants exposed to salt, although, according to the photosynthetic data, 0,4 g L<sup>-1</sup> is more efficient than 0,6 g L<sup>-1</sup>.

**Key-words:** *Sorghum bicolor*, salinity, nitrogen fertilization, physiological parameters

## Introdução

A salinidade na água de rega é um problema grave em muitas regiões do mundo (Shannon, 1998).

A redução do crescimento das plantas é o resultado do efeito do sal quer nos potenciais hídricos e osmóticos quer directamente em diversos processos metabólicos (Läuchli e Epstein, 1990; Wang e Nil, 2000; Ramos e tal., 2009).

O sorgo apresenta uma resistência moderada à presença do sal que parece ser conseguida por meio de reduções do  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  transportado da raiz para a parte aérea (Lacerda *et al.*, 2001) ou de compartimentações de parte dos mesmos em locais específicos na raiz e na parte aérea (Lacerda *et al.*, 2001) e, ainda, acumulação solutos orgânicos nas folhas (Hasegawa *et al.*, 2000).

Utilizando plantas de Sorgo Sacarino, investigou-se a possibilidade de atenuação do efeito inibitório da salinidade pela aplicação de fertilização azotada.

## Material e Métodos

Germinaram-se (dia 0, dia juliano 183) sementes de Sorgo sacarino em vasos (3 por vaso) com cerca de 1 kg de solo de textura franca a franco-limosa. Mais tarde (7º dia) foram removidas duas plantas de cada vaso sendo retida apenas a mais vigorosa. As plantas foram então colocadas em estufa com controlo da temperatura máxima (35 °C) por evaporador ventilado.

Após 8 dias de crescimento, as plantas foram sujeitas a rega com três níveis de solução de cloreto de sódio (0, 5 e 15 g L<sup>-1</sup> NaCl, correspondendo aos valores de condutividade eléctrica de 0, 11 e 27 dSm<sup>-1</sup>, respectivamente), e três níveis de solução de nitrato de amónio (0, 0,4 e 0,6 g L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), num desenho experimental 4 × 3, com 4 repetições, num total de 48 vasos.

As regas foram aplicadas diariamente de modo a ter o solo próximo da capacidade de campo, em média 75 ml por dia, inicialmente apenas com água corrente e a partir do 8º dia alternadamente com soluções salinas (0 a 15 g L<sup>-1</sup>). As regas com soluções azotadas (0 a 0,6 g L<sup>-1</sup>) iniciaram-se no 9º dia, cada três dias, 25 ml, até ao 18º dia, num total de 100 ml. Do 18º ao 25º dia, quando se terminou o ensaio, as plantas foram regadas apenas com água corrente.

Foi medida a salinidade do solo, no 19º e 25º dias, pela preparação de extractos saturados (1:5) de amostra de solo desde a superfície até aproximadamente 5 cm de profundidade. Nos mesmos dias (19º e 25º), foi avaliado o estado fisiológico das plantas pela medição da condutância estomática ( $g_s$ ) da 3ª à 6ª folhas, a meio da folha, cerca das 10:30 h, com um porómetro de difusão (Delta T, AP4, U.K.), o teor relativo em clorofilas, nas mesmas folhas, com um medidor de clorofilas (CL-01, Hansatech Instruments, U.K.) e a taxa de fotossíntese líquida ( $A$ ) apenas na 3ª folha com um IRGA (Infra-Red Gas Analyzer, ADCpro+, U.K.), ajustado para uma radiação de 1300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e uma temperatura de 30º C e a fluorescência foliar (PEA, Hansatech Instruments, U.K.). No final do ensaio (25º dia) foi ainda medido o potencial hídrico foliar cerca das 10:30h e, após a colheita das plantas, foi medida a área foliar por digitalização das folhas e posterior análise (programa Image J), e ainda o peso fresco e o peso seco, após secagem em estufa a 80º C durante 72 horas.

Foi feita a análise estatística dos resultados com o programa SPSS v. 18 ou por regressão sequencial (“Stepwise regression”) ou por ANOVA com teste de comparação de médias (Waller-Duncan).

## Resultados e Discussão

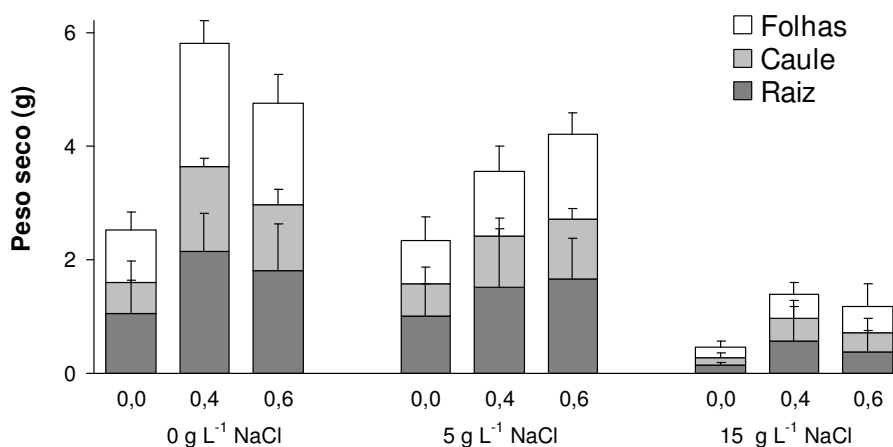
Investigou-se a resposta de plantas de Sorgo sacarino a vários níveis de sal e azoto na água de rega. Após 19 ou 25 dias de rega com as diferentes soluções de azoto e sal, o solo apresentava os valores de condutividade eléctrica mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1. Condutividade Eléctrica (CE,  $dS m^{-1}$ ) do solo regado com as diferentes soluções de NaCl 0, 5 ou 15  $g L^{-1}$  após 19 ou 25 dias. As barras mostram a média  $\pm$  desvio padrão das medições nos 12 vasos com a mesma rega salina ( $n = 12$ ).**

NaCl ( $g L^{-1}$ )	19º dia	25º dia
0	1,26 $\pm$ 0,24	0,58 $\pm$ 0,33
5	5,45 $\pm$ 0,62	3,69 $\pm$ 0,64
15	11,89 $\pm$ 1,70	9,47 $\pm$ 1,33

A salinidade média do solo decresceu cerca de 30% entre o 19º e o 25º dia, reflexo da irrigação apenas com água corrente a partir do 19º dia.

De um modo geral, as plantas toleraram bem a irrigação com 5  $g L^{-1}$  de NaCl mas mostraram sintomas severos com a irrigação de 15  $g L^{-1}$ . Assim, no final do ensaio (25º dia), enquanto a biomassa seca das plantas irrigadas com 5  $g L^{-1}$  era apenas ligeiramente inferior às regadas com água corrente, as plantas regadas com 15  $g L^{-1}$  tinham menos 80% de peso seco.



**Figura 1. Peso seco (g) da raiz, caule e folhas das plantas de sorgo sacarino após crescimento em solo regado com soluções de azoto com 0, 0,4 ou 0,6  $g L^{-1}$   $NH_4NO_3$  e soluções de NaCl 0, 5 ou 15  $g L^{-1}$  durante 25 dias. As plantas tinham 32 dias desde a germinação. As barras mostram a média  $\pm$  desvio padrão ( $n = 4$ ).**

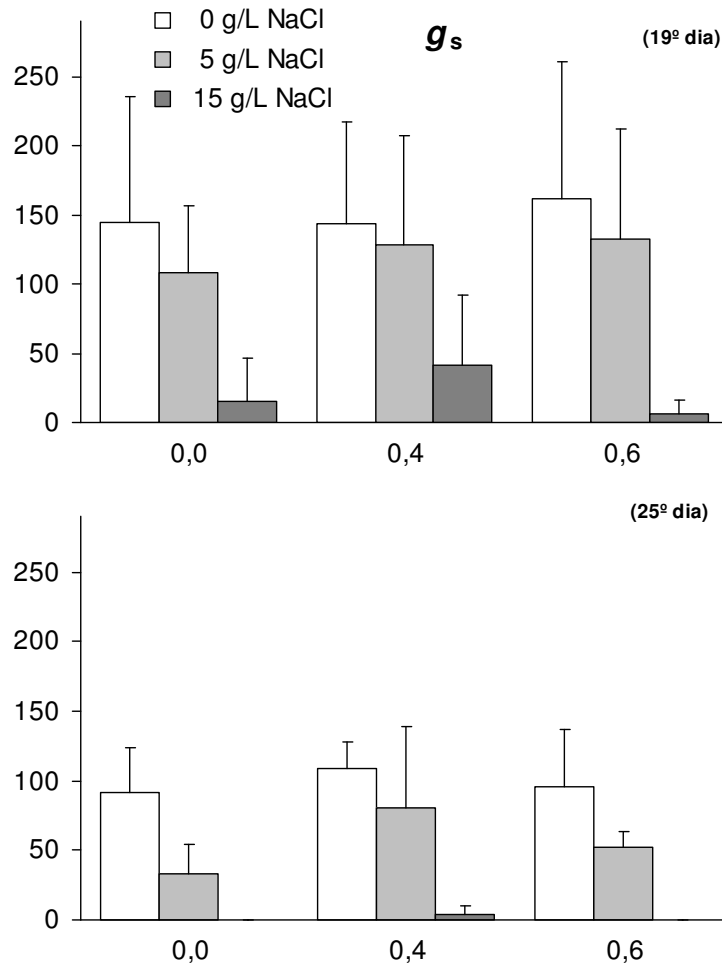
A equação 1 mostra um significativo efeito negativo da salinidade (S) mas um aumento do crescimento das plantas induzido pelo azoto (N).

$$\text{Peso seco total (g)} = 3,44 - 0,23 S + 0,29 N \quad (1)$$

A condutância estomática ( $g_s$ ) das plantas (Fig.2) também foi muito reduzida pelas altas concentrações de sal no solo, sendo apenas 10% do  $g_s$  das plantas regadas sem sal no 19º dia e praticamente 0% no 25º dia. A equação de regressão 2 resume os resultados.

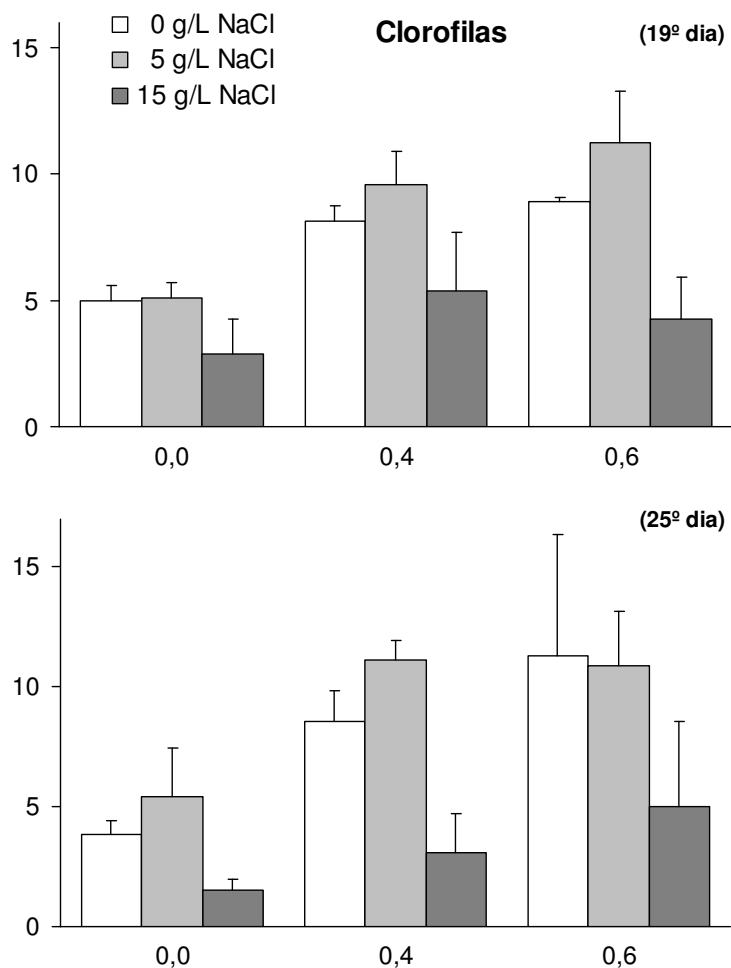
$$g_s (\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}) = 120 - 5 \text{ SD} \quad (2)$$

Ocorreu um efeito significativo da salinidade (S) com os dias (D) de exposição ao sal, mas não se observou nenhum efeito do azoto sobre a abertura dos estomas do sorgo.



**Figura 2. Condutância estomática** ( $g_s$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) das folhas de sorgo sacarino após crescimento em solo regado com soluções de azoto com 0, 0,4 ou 0,6  $\text{g L}^{-1}$   $\text{NH}_4\text{NO}_3$  e soluções de NaCl 0, 5 ou 15  $\text{g L}^{-1}$  durante 19 dias. Depois, até ao 25º dia, as plantas foram regadas apenas com água corrente. As barras mostram a média  $\pm$  desvio padrão das medições na 3ª e 6ª folhas de cada planta, por volta das 10:30 horas ( $n = 8$ ).

Nas mesmas datas, o teor relativo em clorofilas (Fig. 3) era 60% e 40%, respectivamente, relativamente às plantas regadas com água corrente. O azoto aumentou significativamente o teor em clorofilas, não havendo diferenças importantes entre as duas datas.



**Figura 3. Teor relativo em clorofilas das folhas de sorgo sacarino após crescimento em solo regado com soluções de azoto com 0, 0,4 ou 0,6 g L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> e soluções de NaCl 0, 5 ou 15 g L<sup>-1</sup> durante 19 dias. Depois, até ao 25º dia, as plantas foram regadas apenas com água corrente. As barras mostram a média ± desvio padrão das medições na 3ª e 6ª folhas de cada planta (n = 8).**

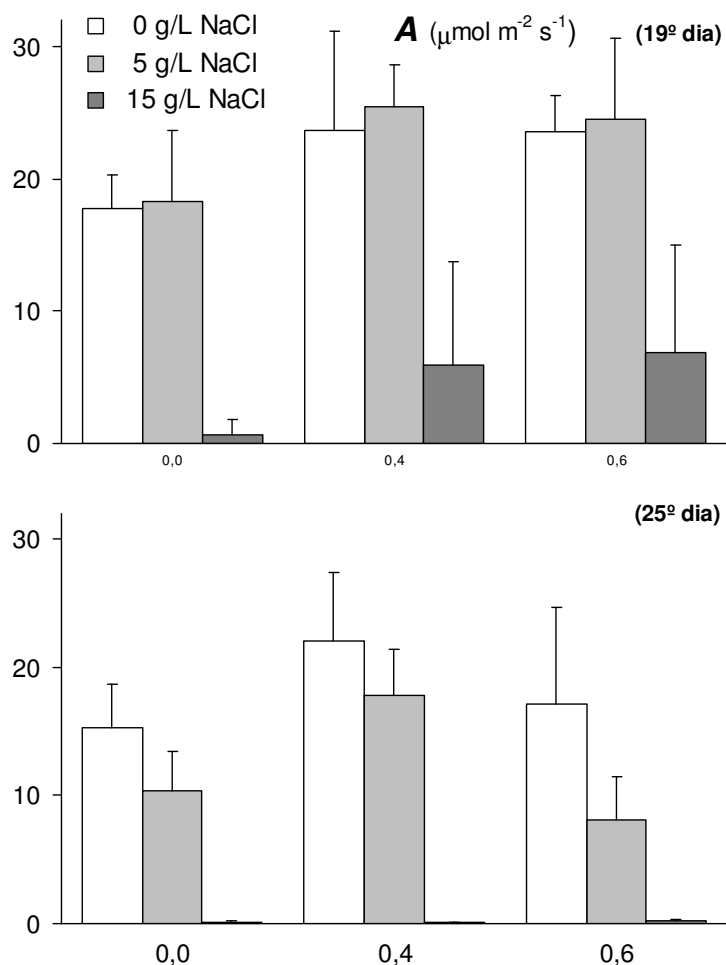
A equação de regressão 3 mostra os efeitos do sal e azoto sobre o teor em pigmentos nas folhas de sorgo.

$$\text{Teor relativo em clorofilas} = 6,02 + 0,81 N - 0,29 S \quad (3)$$

A taxa de fotossíntese líquida (A), mostrada na Fig.4, permite verificar o drástico efeito da rega com elevado teor de sal (15 g L<sup>-1</sup>) sobre a assimilação do CO<sub>2</sub>, que praticamente se anulou: A era apenas 4% ou 1%, respectivamente no 19º e 25º dia de exposição a 15 g L<sup>-1</sup> de sal, relativamente às plantas regadas com água corrente.

$$A (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) = 18,61 - 0,77 SD + 0,65 N \quad (4)$$

Observa-se um forte efeito da salinidade com o passar do tempo (SD), mas um ligeiro efeito benéfico da fertilização com azoto na primeira data (19º dia).

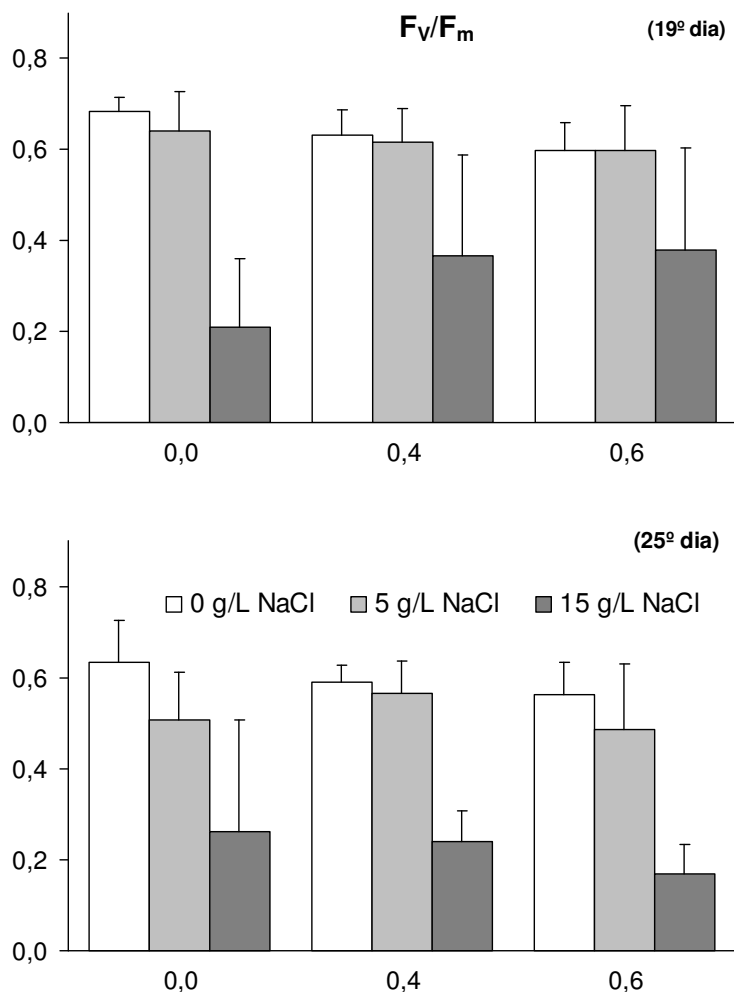


**Figura 4. Taxa de Fotossíntese líquida** ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) das folhas de sorgo sacarino após crescimento em solo regado com soluções de azoto com 0, 0,4 ou 0,6  $\text{g L}^{-1} \text{NH}_4\text{NO}_3$  e soluções de NaCl 0, 5 ou 15  $\text{g L}^{-1}$  durante 19 dias. Depois, até ao 25º dia, as plantas foram regadas apenas com água corrente. As barras mostram a média  $\pm$  desvio padrão ( $n = 4$ ).

Outro importante parâmetro relacionado com a fixação do carbono, a eficiência quântica do PSII ( $F_v/F_m$ ) foi também medido (Fig. 5).  $F_v/F_m$  foi significativamente menor (cerca de 35%) nas plantas expostas a 15  $\text{g L}^{-1}$  de NaCl, havendo um agravamento do 19º para o 25º dia, como mostra a equação de regressão.

$$F_v/F_m = 0,630 - 0,15 \text{ DS} \quad (5)$$

Os baixos valores de  $F_v/F_m$ , mesmo nas plantas regadas sem sal, reflecte o curto período de adaptação ao escuro que foi adoptado (5 minutos).

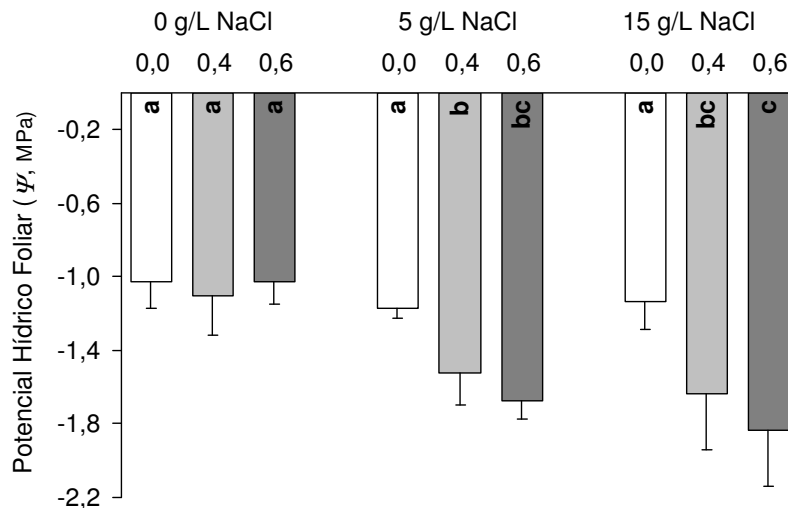


**Figura 5. Eficiência Quântica ( $F_v/F_m$ ) das folhas de sorgo sacarino após crescimento em solo regado com soluções de azoto com 0, 0,4 ou 0,6 g  $L^{-1}$   $NH_4NO_3$  e soluções de NaCl 0, 5 ou 15 g  $L^{-1}$  durante 19 dias. Depois, até ao 25º dia, as plantas foram regadas apenas com água corrente. As barras mostram a média  $\pm$  desvio padrão ( $n = 4$ ).**

Finalmente foi também medido o potencial hídrico ( $\Psi$ ) das folhas com uma câmara de pressão (Fig. 6). A equação de regressão 6 mostra uma indução do decréscimo de  $\Psi$  induzido principalmente pelo sal, mas também pelo azoto.

$$\Psi(\text{MPa}) = -0,94 - 0,03 S - 0,06 N \quad (6)$$

O potencial hídrico ( $\Psi$ ) das plantas não sujeitas a fertilização azotada não mostrou diferenças significativas entre salinidades.



**Figura 6. Potencial hídrico ( $\Psi$ , MPa) das folhas de sorgo sacarino após crescimento em solo regado com soluções de azoto com 0, 0,4 ou 0,6 g L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> e soluções de NaCl 0, 5 ou 15 g L<sup>-1</sup> durante 25 dias. As plantas tinham 32 dias desde a germinação. As barras mostram a média  $\pm$  desvio padrão ( $n = 8$ ). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre resultados ( $p < 0,05$ )**

### Conclusões

Conclui-se assim que, na fase inicial de desenvolvimento das plantas de sorgo (25 dias), objecto deste ensaio, o azoto beneficia o crescimento das plantas expostas ao sal, embora, com base nos valores de fotossíntese, a concentração de 0,4 g L<sup>-1</sup> seja mais benéfica que a de 0,6 g L<sup>-1</sup>.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a Maria Gertrudes Batista, José Lobato Condeças e Custódio José Alves o generoso apoio prestado à realização deste trabalho de investigação.

### Bibliografia

- Hasegawa P., Bressan R., Zhu J. and Bohnert H. (2000) Plant Cellular and Molecular Responses to Salinity Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 51: 463-499
- Lacerda C., Cambraia J., Cano M. e Ruiz H. (2001) Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum genotypes, under NaCl stress. Rev. Bras. Fisiol. Veg. 13, 270-274
- Läuchli A. e Epstein E. (1990) Plant response to saline and sodic conditions. In: Tani, K. K. (Ed.), Agricultural Salinity Assessment and Management. ASCE, New York, Manuals and Reports on Engineering Practice, pp. 113-137.
- Ramos T.B., Gonçalves M.C., Castanheira N.L., Martins J.C., Santos F.L., Prazeres A., Fernandes M.L. (2009) Effect of sodium and nitrogen on yield function of irrigated maize in southern Portugal. Agricultural Water Management 96, 585 – 594.
- Wang, Y., & Nil, N. (2000). Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase–oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in Amaranthus tricolor leaves during salt stress. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 75 , 623-627.