

# EFEITO DA SALINIDADE SOB PARÂMETROS DE FLUORESCÊNCIA EM *Phaseolus vulgaris*

## EFFECT OF SALINITY UNDER FLUORESCENCE PARAMETERS IN *Phaseolus vulgaris*

Ilisandra Zanandrea<sup>1\*</sup>; Fernanda de Lima Nassi<sup>1</sup>; Andreia Carina Turchetto<sup>1</sup>; Eugênia Jacira Bolacel Braga<sup>2</sup>; José Antonio Peters<sup>2</sup>; Marcos Antonio Bacarin<sup>2,3</sup>.

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi identificar a relação entre a salinidade e parâmetros de cinética fluorescência das clorofilas em duas cultivares de feijão: *Expedito* e *Carioca*. As plantas foram cultivadas em vasos com areia e solução nutritiva de Hoagland. Aos 30 dias após a germinação realizou-se a aplicação de soluções de NaCl nas concentrações de 0, 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mmol L<sup>-1</sup>, repetidas semanalmente. Aos 15 dias da aplicação do sal foram realizadas coletas de material para análise. Avaliou-se a relação  $F_v/F_m$ ,  $F_o/F_m$ ,  $qP$ ,  $qN$ ,  $NPQ$  e  $\Phi_2$ . As relações  $F_v/F_m$ ,  $F_o/F_m$  e  $F_v/F_o$  mostraram efeito significativo apenas para a variável concentração de sal, independente da cultivar. Os coeficientes não fotoquímicos  $qN$  e  $NPQ$  foram maiores para a cultivar *Expedito*, podendo indicar que esta cultivar apresenta uma maior dissipação da energia luminosa absorvida na forma de energia térmica.

Palavras-chave: clorofila, fotossíntese, crescimento, feijão.

### ABSTRACT

This work aimed to identify the relationship between salinity and chlorophylls fluorescence parameters in two cultivates of beans: *Expedito* and *Carioca*. The plants were cultivated in pots with sand and Hoagland nutritious solution. Thirty days after germination, solutions of NaCl (0, 25, 50, 75, 100, 150 and 200 mmol L<sup>-1</sup>) were weekly applied. Fifteen days after NaCl application the plant material was sampled for analysis. The relationship  $F_v/F_m$ ,  $F_o/F_m$ ,  $qP$ ,  $qN$ ,  $NPQ$  and  $\Phi_2$  was evaluated. The relationships  $F_v/F_m$ ,  $F_o/F_m$  and  $F_v/F_o$  showed significant effect only for salt concentration, independent of cultivate. The cultivar *Expedito* showed the highest non photochemical coefficients  $qN$  and  $NPQ$ . This response could indicate that this cultivar presents a bigger dissipation of the luminous energy absorbed in the thermal energy form.

Key words: chlorophyll, photosynthesis, growth, bean.

### INTRODUÇÃO

O estresse salino é fator que limita o crescimento e a produtividade das culturas. Os mecanismos de tolerância à salinidade ainda não estão bem elucidados, pelo fato deste fenômeno ser extremamente complexo, podendo envolver alterações morfológicas e de desenvolvimento, bem como processos fisiológicos e bioquímicos (NETO, 2005).

Uma elevada salinidade da água de irrigação ou do solo pode provocar problemas de fitotoxicidade e redução da absorção de alguns nutrientes. As modificações no metabolismo, induzidas pela salinidade, são conseqüências de várias respostas fisiológicas da planta, dentre as quais se destacam as modificações em balanço iônico, comportamento estomático e eficiência fotossintética. A redução da

fotossíntese em função da salinidade decorre de fechamento estomático e de inibição na atividade de fixação do carbono fotossintético (HEUER, 1997).

O estresse salino causa efeito complexo sobre o metabolismo, resultando em toxicidade iônica, déficit hídrico e desequilíbrio nutricional (WERNER & FINKELSTEIN, 1995). Essa provável ação fitotóxica do NaCl é, em parte, causada por desequilíbrio de aquisição de nutrientes pelas raízes. Embora as respostas fisiológicas das plantas ao estresse salino tenham sido exaustivamente estudadas, o estresse salino sobre raízes é pouco conhecido (HALPERIN & LYNCH, 2003).

Os efeitos indiretos da salinidade ocorrem devido à concentração elevada de sódio ou outros cátions na solução, que interferem nas condições físicas do solo ou na disponibilidade de outros elementos, afetando o indiretamente o desenvolvimento das plantas. Em muitos casos a concentração de sais não atinge níveis osmóticos ou tóxicos capazes de prejudicar a absorção de água pelas plantas, no entanto, a concentração de íons diversos pode provocar interferências indiretas e ser um obstáculo à boa absorção de elementos essenciais e, conseqüentemente, ao desenvolvimento de um processo metabólico normal (MEDEIROS & GHEYI, 1997).

Fatores genéticos e ambientais como temperatura, salinidade, radiação, seca, fertilidade e textura do solo entre outros, afetam o crescimento das plantas e os seus efeitos têm sido pesquisados usando medições da eficiência máxima do fotossistema II (FSII) estimada através da razão entre a fluorescência variável e a máxima ( $F_v/F_m$ ) (HAVAUX et al., 1988). Essa relação  $F_v/F_m$  expressa o rendimento quântico dos processos fotoquímicos desse fotossistema (LAZÁK, 1999), ou seja, a eficiência relativa da captura de energia luminosa pelo FSII (PEREIRA, 2001).

A fotossíntese ocupa uma posição central na biossíntese de plantas fornecendo uma ligação entre o metabolismo interno da planta e o ambiente externo. Parte da energia luminosa absorvida pelos pigmentos cloroplásticos da folha durante a fotossíntese é emitida como fluorescência (GLYNN et al., 2003).

O uso de parâmetros de fluorescência tem sido difundido principalmente no estudo de fotossíntese por ser um método que, além de não destrutivo, permite análise qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa através do fotossistema II e possíveis relações com a capacidade fotossintética (KRAUSE & WEIS, 1991; ALLAHVERDIEV et al., 1998; MOUGET & TREMBLIN, 2002; NETTO et al., 2005). Esta técnica tem permitido um aumento

<sup>1</sup> Bióloga, Mestrando do Programa de Pós-graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Pelotas, Instituto de Biologia, Departamento de Botânica, Campus Universitário, Pelotas-RS, 96010-900 (e-mail: dandajs@gmail.com), apoio financeiro CAPES.

<sup>2</sup> Prof. Departamento de Botânica, Universidade Federal de Pelotas, Instituto de Biologia, Campus Universitário, Pelotas-RS, 96010-900

<sup>3</sup> Bolsista CNPq (Produtividade em Pesquisa)

(Recebido para Publicação em 27/10/2005, Aprovado em 29/05/2006)

no conhecimento dos processos fotoquímicos e não fotoquímicos que ocorrem na membrana dos tilacóides dos cloroplastos (ROHÁČEK, 2002), além de possibilitar o estudo de características relacionadas à capacidade de absorção e transferência da energia luminosa na cadeia de transporte de elétrons, sendo possível também estudos das mudanças conformacionais dos tilacóides (KRAUSE & WEIS, 1991).

A avaliação durante todo o ciclo de desenvolvimento das plantas possibilita informações mais precisas, tais como variações nos parâmetros de fluorescência com as mudanças nos estádios de desenvolvimento das plantas (BACARIN & MOSQUIN, 2002). Mudanças no rendimento de fluorescência resultam de variações nas taxas de conversão da energia fotoquímica e não fotoquímica dissipada (MOUGET & TREMBLIN, 2002).

O uso dos parâmetros de fluorescência permite avaliar o efeito de vários tipos de estresses sobre a fotossíntese, entre eles a salinidade, que reduz a taxa fotossintética e o transporte de elétrons, distúrbios dirigidos pela luz via emissão de calor ou fluorescência. Há vários parâmetros de fluorescência *in vivo*, que podem ser aplicados para detectar danos ao aparato fotossintético. A relação inversa entre a fluorescência das clorofilas *in vivo* e a atividade fotossintética pode ser usada para detectar efeitos na atividade fotossintética potencial de folhas e de estresses sobre plantas (ALLAHVERDIEV et al., 1998). O declínio na produtividade observado em muitas plantas submetidas à excessiva salinidade é frequentemente associado com um decréscimo na sua capacidade fotossintética (LU & VONSHAK, 1999).

Fluorescência das clorofilas é um método usado para avaliar a salinidade, seca, calor e poluição em plantas (WEST, 1986) e tem provado ser útil na seleção genética de tolerância à salinidade (BELKHODJA et al., 1994; JIMENEZ et al., 1997). PERCIVAL & FRASER (2001) e GLYNN et al. (2003) usaram fluorescência das clorofilas como uma ferramenta para diagnosticar a identificação de plantas tolerantes ao sal.

O objetivo deste trabalho foi identificar a relação entre a salinidade e parâmetros de cinética da fluorescência das clorofilas em duas cultivares de feijão.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na casa de vegetação do Departamento de Botânica do Instituto de Biologia da UFPel. Foram colocadas 10 sementes de feijoeiro das variedades Carioca e Expedito para germinar, em cada vaso plástico, contendo 5 Kg de areia lavada. As plantas foram regadas com solução nutritiva de Hoagland modificada (TAIZ & ZEIGER, 2004), durante todo o ciclo, em dias alternados, sendo que 30 dias depois da germinação iniciou-se a aplicação de soluções de NaCl nas concentrações de 0, 25, 50, 75, 100, 150 e 200 mmol L<sup>-1</sup>. Para eliminar o excesso de sal, os vasos eram, semanalmente, irrigados exaustivamente (até percolação da água) e as soluções salinas aplicadas novamente. Quinze dias após a aplicação do sal foram realizadas as coletas e determinados os parâmetros de fluorescência.

A cinética de indução de fluorescência das clorofilas seguiu o modelo descrito por ROHÁČEK (2002), que consiste na manutenção das folhas no escuro por 15 minutos e determinado os parâmetros do estado adaptado ao escuro (EAE), ou seja,  $F_o$  (fluorescência inicial),  $F_m$  (fluorescência máxima) e as relações  $F_v/F_m$  (produção quântica máxima),  $F_o/F_m$  (produção quântica basal dos processos não

fotoquímico no fotossistema II) e  $F_v/F_o$  (eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII).

Determinados os parâmetros em EAE, as folhas foram submetidas à luz actínica por um período de 5 minutos para as determinações dos parâmetros do estado adaptado à luz (EAL), os quais permitiram a obtenção das relações:  $qN$  (coeficiente de extinção não fotoquímico),  $qP$  (coeficiente de extinção fotoquímico ou conservação de energia fotoquímica), NPQ (indicativo do excesso de dissipação de energia radiante na forma de calor no FSII) e  $\Phi_2$  (produção quântica fotoquímica efetiva do FSII em estado adaptado a luz). Todas as determinações foram realizadas com folhas não destacadas, utilizando-se fluorômetro modulado (FMS 2, Hansatech, King's Lynn, UK).

Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, no esquema fatorial 2 x 7, sendo dois genótipos e sete concentrações de sal, com três repetições por tratamento, sendo considerado como unidade experimental um vaso contendo 10 plantas, sendo que a leitura foi feita na primeira folha trifoliolada completa de uma das plantas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estado adaptado ao escuro é uma situação em que a folha encontra-se fotoquimicamente inativa, ou seja, onde todos os processos de transporte de elétrons na membrana do tilacóide estão desativados, resultando em um gradiente transtilacoidal mínimo e baixíssimas concentrações de NADPH e ATP, permitindo desta forma obtenção de valores de eficiência máxima para os processos fotoquímicos da fotossíntese (ROHÁČEK & BARTAK, 1999). Qualquer alteração de  $F_o$  (fluorescência inicial) para  $F_m$  (fluorescência máxima) é uma situação em que o aceptor  $Q_A$  fica reduzido porque a taxa da concorrente re-oxidação de  $Q_A$  pelo *pool* de plastoquinona é menor do que a taxa de redução de  $Q_A$ . Assim, estudos de fluorescência em estado adaptado ao escuro permitem a identificação da eficiência máxima de aproveitamento da energia luminosa. No presente trabalho, obtidos os parâmetros de  $F_o$  e  $F_m$  em EAE, optou-se por discutir apenas as relações  $F_v/F_m$ ;  $F_o/F_m$  e  $F_v/F_o$ , visto que as mesmas são as mais representativas do estado fotoquímico das folhas ou mesmo indicadores de estresses.

Essas relações mostraram efeito significativo apenas para a variável concentração de sal, independente da cultivar. Para estas três variáveis analisadas observou-se um ajuste quadrático significativo em função da dose de NaCl (Figura 1).

Na Figura 1A observa-se um aumento em  $F_v/F_m$  até a dose de 100 mmol L<sup>-1</sup> (0,826), com uma queda atingindo valores ajustados de 0,806 para a dose de 200 mmol L<sup>-1</sup>, valores estes similares aos encontrados para o tratamento em que não foi aplicado NaCl (0,806). Tais resultados podem indicar um aumento na eficiência fotoquímica do FSII quando doses crescentes até 100 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl são aplicadas a estes dois genótipos de feijão estudados.

Estes resultados são similares aos encontrados por BJÖRKMAN & DEMMIG (1987), que avaliaram a relação  $F_v/F_m$  em diferentes espécies e ambientes e encontraram um valor médio de 0,830, porém acima dos relatados por LI et al. (2004) que estudaram a relação  $F_v/F_m$  para 99 espécies nativas da região da Mongólia, que apresentam habitats diferentes e citam que os valores variaram de 0,57 a 0,79, com média 0,76, mas alterando-se em função do tipo de planta, mecanismo fisiológico e local de crescimento apresentando para plantas C3 um valor médio de 0,72.

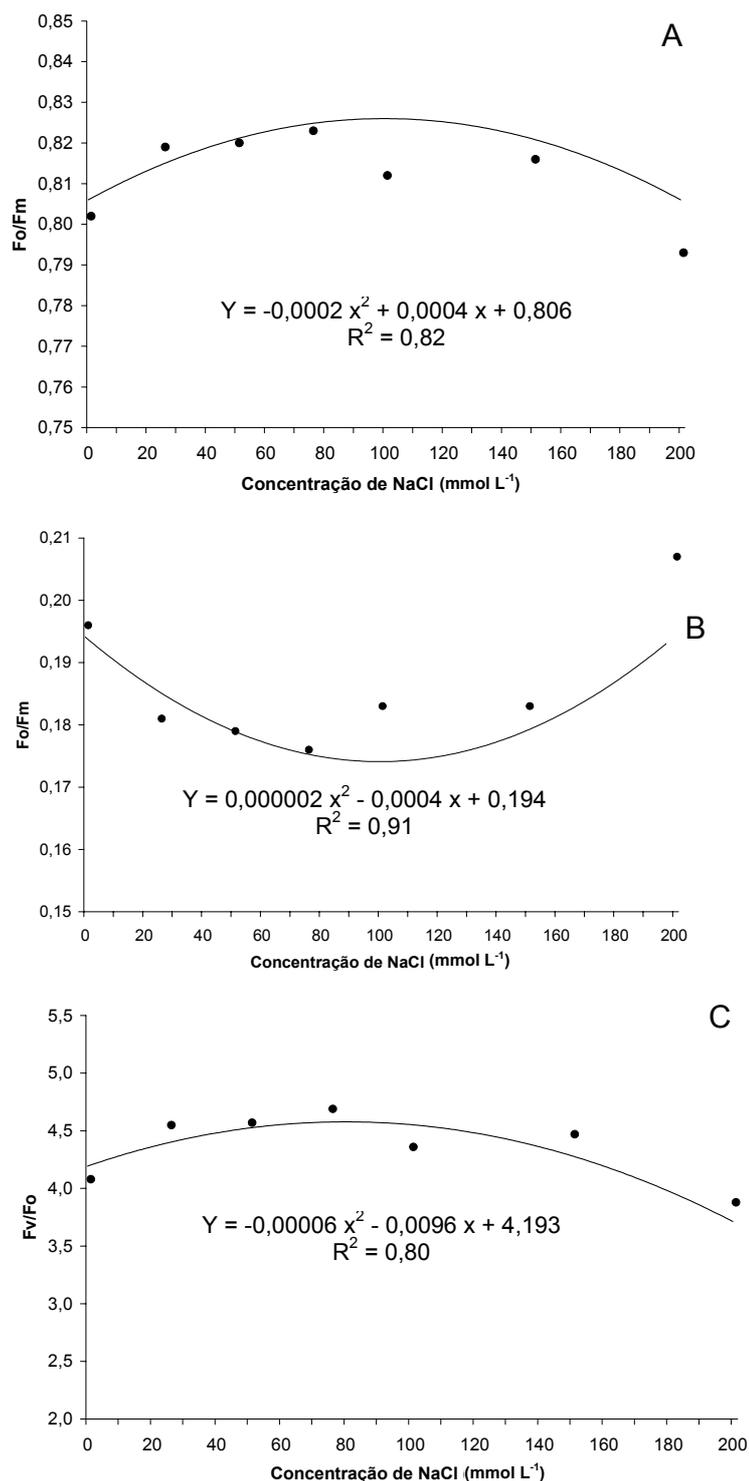


Figura 1 - Relações  $F_v/F_m$  (A),  $F_o/F_m$  (B) e  $F_v/F_o$  (C) para plantas de feijão, cultivar carioca e expedito, em função da concentração de NaCl aplicada. Círculos fechados indicam valores determinados (originais).

Tal fato se repetiu quando se analisou o parâmetro  $F_o/F_m$  (Figura 1B), que indica a produção quântica basal do processo não-fotoquímico no FSII, apresentando como componentes implícitos: a) a produção quântica mínima no estado adaptado ao escuro (DAS) ( $\Phi_{F_o}$ ); e b) a produção quântica de dissipação térmica dentro do FSII em DAS ( $\Phi_{D_o}$ ) desta forma  $F_o/F_m = \Phi_{F_o}$

+  $\Phi_{D_o}$  (ROHÁČEK & BARTÁK, 1999). Vários autores preconizam a utilização do aumento desta relação como indicativo de estresse, sugerindo valores normais, ou seja, valores preconizados como padrão, entre 0,14 e 0,20 (ROHÁČEK, 2002). Para o presente experimento identificou-se que todos os valores encontravam-se na faixa preconizada.

Alguns autores utilizam a relação  $F_v/F_o$ , como indicador da eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII e/ou da atividade fotossintética potencial (razão máxima de produção quântica dos processos concorrentes fotoquímicos e não-fotoquímicos no FSII) apresentando valores entre 4 e 6, tendo como média 4,96 quando se utiliza  $F_v/F_m = 0,832$ , indicando valores normais  $F_v = 5 F_o$ . No presente estudo verificou-se que quando se aplicou 80 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl foi obtido o maior valor (4,578) (Figura 1C), sendo que apenas em dose superior a 180 mmol L<sup>-1</sup> apresentou valores inferiores aos preconizados como normais, indicando possíveis efeitos sobre a eficiência máxima do processo fotoquímico.

GLYNN et al. (2003), trabalhando com genótipos de *Acer*, indicaram que a resposta da fluorescência das clorofilas ao aumento da salinidade foi, na maioria dos genótipos, manifestada pela redução de  $F_v/F_o$  e  $F_v/F_m$ . Alterações semelhantes ocorrem em plantas lenhosas quando submetidas a baixas temperaturas, calor, metais pesados e excesso de água. Segundo YAMANE et al. (2000), um aumento em  $F_o$  nos tecidos foliares de genótipos de *Acer* (*A. capillipes*, *A. rubrum* 'Scanlon', *A. palmatum* 'Dissectum', *A. cappadocicum* var. *sinicum*, e *A. monspessulanum*) está associado com dissociação de luz absorvida do complexo de clorofila a/b do centro de reação do FSII.

O atributo mais frequentemente medido em pesquisas de estresse é a relação  $F_v/F_m$  (relação entre a taxa de fluorescência variável e a máxima), mas isso nem sempre tem sido confiável como primeiro indicador de estresse salino. Vários estudos demonstraram que  $F_v/F_m$  não foi afetada pelo sal (BRUGNOLI & LAUTERI, 1991; BRUGNOLI & BJÖRKMAN, 1992), embora mudanças nessa relação tornaram-se muito evidentes quando a salinidade foi relacionada com um estresse por alta irradiância e alta temperatura (LARCHER et al., 1990).

O estresse salino sozinho tem pouco efeito sobre o FSII, mas quando combinado com alta incidência luminosa, induz danos (MISHRA et al., 1991; BELKHODJA et al., 1994). A ausência de mudanças na eficiência fotoquímica máxima do FSII ( $F_v/F_m$ ) sugere que o estresse salino não causa efeito fotoquímico sobre o FSII de *S. salsa*. Os resultados não mostraram grandes diferenças no  $\Phi_{PSII}$ ,  $F_v/F_m$ , qP, assim como NPQ entre o controle e os diferentes tratamentos, não induzindo aumento na susceptibilidade do PSII para fotoinibição (LU et al., 2002).

Outro parâmetro da cinética de fluorescência é a produção quântica fotoquímica efetiva do FSII ( $\Phi_2$ ), obtida quando as folhas estão sendo iluminadas. Várias definições para este parâmetro são propostas na literatura como: produção quântica atual do transporte de elétrons no FSII; eficiência de transporte de elétrons do FSII por quantum absorvido pelo complexo FSII; produção quântica da conservação de energia fotoquímica no FSII; eficiência atual de conservação de energia no FSII; eficiência quântica fotoquímica do FSII; fração de fótons absorvidos na antena do FSII utilizado em efeito fotoquímico no FSII; produção quântica fotoquímica efetiva do FSII (ROHÁČEK, 2002). Contudo este parâmetro é extremamente útil porque representa efetivamente a eficiência quântica das folhas, diferentemente da relação  $F_v/F_m$  que indica a eficiência máxima em estado adaptado ao escuro, sendo este último maior do que o primeiro, visto que se admite a relação entre estes parâmetros definida como:  $\Phi_2 = qP \times (F_v/F_m)$ . Atingido a valor de fluorescência máxima, esta é diminuída (extinta), sendo esta redução relacionada com os coeficientes de extinção: 1) não-fotoquímico (qN) que é originado: da criação do gradiente transtilacoidal de pH; dos mecanismos regulatórios que evitam

uma utilização efetiva da energia de excitação; da fotoinibição; da dissipação de energia não radiante em calor dentro dos tilacóides; fosforilação do LHClI (Complexo de captação de luz no fotossistema II); e 2) fotoquímico (qP) atribuído ao uso de energia de excitação para efeito fotoquímico - decorrentes da separação de cargas no centro de reação do FSII, que está ligado com a variação na eficiência da cadeia de transporte de elétrons, estando nesta condição a folha em um estado caracterizado pela contínua síntese de ATP, NADPH e concorrente fixação de CO<sub>2</sub>, (KRAUSE & WEIS, 1991; BARBAGALLO et al. 2003). Segundo ROHÁČEK (2002), NPQ indica o decréscimo de  $F_m$  durante a adaptação da amostra à luz actínica, demonstrando um indicador do excesso de dissipação de energia radiante no complexo antena do FSII.

Para os parâmetros de fluorescência em estado adaptado a luz (EAL) (Tabela 1) foram detectadas diferença significativa apenas para o efeito cultivar, assim pode-se inferir que nas condições deste experimento a aplicação de sal não afetou tais parâmetros.

Na Tabela 1 verifica-se que a produção quântica fotoquímica efetiva do FSII ( $\Phi_2$ ) foi maior para a cultivar Carioca, refletindo diferença nos coeficientes fotoquímico e não fotoquímico. O maior coeficiente não fotoquímico (qN e NPQ) para a cultivar Expedito provavelmente indica que estas plantas apresentaram uma maior dissipação da energia luminosa absorvida na forma de energia térmica em detrimento ao aproveitamento desta energia em efeito fotoquímico, ou seja, produção de energia química na forma de ATP e NADPH.

Tabela 1 - Parâmetros de fluorescência do estado adaptado à luz,  $\Phi_2$  (produção quântica fotoquímica efetiva do FSII), qN (quenching-não fotoquímico), qP (quenching-fotoquímico) e NPQ (indicativo do excesso de dissipação de energia radiante na forma de calor no FSII) de plantas de feijão, das cultivares Carioca e Expedito (Pelotas, UFPel, 2005).

Cultivar	$\Phi_2$	qN	qP	NPQ
Carioca	0,711 a	0,189 b	0,942 a	0,169 b
Expedito	0,667 b	0,253 a	0,921 b	0,259 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os efeitos da salinidade sobre as plantas têm sido muito estudados nos últimos anos, entretanto, os mecanismos de tolerância à salinidade ainda não estão bem elucidados. Por esse motivo, é extremamente importante que se realizem pesquisas com maior número cultivares e com tempo de aplicação maior, o que permitirá maior expressão dos mecanismos de adaptação das cultivares, para que se possa avaliar detalhadamente os efeitos desse tipo de estresse sobre as plantas.

## CONCLUSÃO

Este estudo permitiu concluir que: a concentração de sal apresentou efeito significativo sobre os parâmetros de fluorescência em estado adaptado ao escuro. Os parâmetros do estado adaptado à luz mostraram diferença entre as cultivares, sendo que a cultivar carioca apresentou um maior aproveitamento da energia luminosa. O uso de parâmetros da cinética de emissão de fluorescência pode ser utilizado para detectar danos causados por estresse salino.

## REFERÊNCIAS

- ALLAHVERDIEV, S.R.; MAVITUNA, M.; GANIEVA, R. et al. Effects of salt stress and synthetic hormone polystimuline K on photosynthetic activity of *Trianea bogotensis* Karst. **Journal of Botany**, London, v.22, p.19-23, 1998.
- BACARIN, M.A.; MOSQUIN, P.R. Cinética de emissão de fluorescência das clorofilas de dois genótipos de feijoeiro. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.26, p.705-710, 2002.
- BARBAGALLO, R.P.; OXBOROUGH, K.; PALLETT, K.E. et al. Rapid, noninvasive screening for perturbation of metabolism and plant growth using chlorophyll fluorescence imaging. **Plant Physiology**, Rockeville, v.132, p.485-493, 2003.
- BELKHODJA, R.; MORALES, F.; ABADÍA, A. et al. Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in barley (*Hordeum vulgare* L.). **Plant Physiology**, Rockeville, v.104, p.667-673, 1994.
- BJÖRKMAN, O.; DEMMIG, B. Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, New York, v.170, p.489-504, 1987.
- BRUGNOLI, E.; BJÖRKMAN O. Growth of cotton under continuous salinity stress: influence on allocation pattern, stomatal and non-stomatal components of photosynthesis and dissipation of excess light energy. **Planta**, New York, v.187, p.335-345, 1992.
- BRUGNOLI, E.; LAUTERI, M. Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity and carbon isotope discrimination of salt-tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and salt-sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C3 non-alophytes. **Plant Physiology**, Rockeville, v.95, p.628-635, 1991.
- GLYNN, P.; FRASER, C.; GILLIAN, A. Foliar salt tolerance of Acer genotypes using chlorophyll fluorescence. **Journal of Arboriculture**, Urbana, v.29, p.61-65, 2003.
- HALPERIN, S. J.; LYNCH, J. P. Effects of salinity on cytosolic Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> in root hairs of *Arabidopsis thaliana*: in vivo measurements using the fluorescent dyes SBFI and PBF1. **Journal of Experimental Botany**, London, v.54, p.2035-2043, 2003.
- HAVAUX, M.; ERNEZ, M.; LANNOYE, R. Correlation between heat tolerance and drought tolerance in cereals demonstrated by rapid chlorophyll fluorescence tests. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v.133, p.555-560, 1988.
- HEUER, B. Photosynthetic carbon metabolism of crops under salt stress. In: PESSARAKLI, M. (Ed). **Handbook of photosynthesis**. New York: Marcel Dekker, 1997. p.887-896.
- JIMENEZ, M.S.; GONZALEZ-RODRIGUEZ, A.M.; MORALES, D. et al. Evaluation of chlorophyll fluorescence as a tool for salt stress detection in roses. **Photosynthetica**, Prague, v.33, p.291-301, 1997.
- KRAUSE, G.H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basic. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p.313-349, 1991.
- LARCHER, W.; WAGNER, J.; THANMATHAWORN, A. Effects of superimposed temperature stress on in vivo chlorophyll fluorescence of *Vigna unguiculata* under saline stress. **Journal Plant Physiology**, Stuttgart, v.136, p.92-102, 1990.
- LAZÁK, D. Chlorophyll a fluorescence induction. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v.1412, p.1-28, 1999.
- LI, Y.G.; LI, L.H.; JIANG, G.M. et al. Traits of chlorophyll fluorescence in 99 plants species from the sparse-elm grassland in Hunshandak Sandland. **Photosynthetica**, Prague, v.2, p.243-249, 2004.
- LU, C.; QIU, N.; LU, Q. et al. Does salt stress lead to increased susceptibility of photosystem II to photoinhibition and changes in photosynthetic pigment composition in halophyte *Suaeda salsa* grown outdoors? **Plant Science**, Limerick, v. 63, p.1063-1068, 2002.
- LU, C.; VONSHAK, A. Characterization of PSII photochemistry in salt-adapted cells of cyanobacterium *Spirulina platensis*. **New Phytology**, Oxford, v.141, p.231-239, 1999.
- MEDEIROS, J.F.; GHEYI, H.R. Manejo do sistema solo-água-planta em solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. (Eds.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, SBEA, 1997. p.239-284.
- MISHRA, S.K.; SUBRAHMANYAM, D.; SINGHAL, G.S. Interactionship between salt and light stress on the primary process of photosynthesis. **Journal Plant Physiology**, Stuttgart, v.138, p. 92-96, 1991.
- MOUGET, J.; TREMBLIN, G. Suitability of the fluorescence monitoring system (FM, Hansatech) for measurement of photosynthetic characteristics in algae. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v.74, p.219-231, 2002.
- NETO, A.D.A. Estresse salino, estresse oxidativo e tolerância cruzada em plantas de milho. In: **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. NOGUEIRA, R.M.C.; ARAÚJO, E.L.; WILLADINO, L.G. et al. (Eds.) Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. 500 p.
- NETTO, A.T.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, G.J. et al. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.104, p.199-209, 2005.
- PERCIVAL, G.C.; FRASER, G.A. Measurement of the salinity and freezing tolerance of *Crataegus* genotypes using chlorophyll fluorescence. **Journal Arboriculture**, Urbane, v.27, p.233-245, 2001.
- PEREIRA, W. E. **Trocas gasosas, fluorescência da clorofila, crescimento e composição mineral de quatro porta-enxertos de citros submetidos a estresse por Alumínio, em Cultivo Hidropônico**. Viçosa, 2001. 123 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
- ROHÁČEK, K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. **Photosynthetica**, Prague, v.40, p.13-29, 2002.
- ROHÁČEK, K.; BARTAK, M. Technique of the modulated chlorophyll fluorescence: basics concepts, useful parameters, and some applications. **Photosynthetica**, Prague, v.37, p.339-363, 1999.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Atmed, 2004. 719p.
- WERNER, J.E.; FINKELSTEIN, R.R. Arabidopsis mutants with reduced response to NaCl and osmotic stress. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.93, p.659-666, 1995.
- WEST, D.W. Stress physiology in trees-salinity. **Acta Horticulture**, Hague, v.175, p.322-329, 1986.
- YAMANE, Y.; SHIKANAI, T.; KASHINO, Y. Reduction of Q<sub>A</sub> in the dark: another cause of fluorescence F<sub>o</sub> increases by high temperatures in higher plants. **Photosynthetica**, Prague, v. 63, p.23-34, 2000.