

APLICAÇÃO DE REGULADORES VEGETAIS E DE FOSFITO DE POTÁSSIO EM MUDAS DE EUCALIPTO SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA

KAROLINE SANTOS GONÇALVES¹; ANTONIO DE PÁDUA SOUSA² E EDIVALDO DOMINGUES VELINI³

¹Núcleo de Engenharia de Água e Solo, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB, Cruz das Almas, BA, karolinesg@yahoo.com.br

²Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, padua@fca.unesp.br

³Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, velini@fca.unesp.br

1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de reguladores vegetais e de fosfito de potássio em mudas de híbrido de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla* submetidas à deficiência hídrica. O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado com nove tratamentos e quatro repetições, em casa de vegetação no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia, pertencente ao Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, localizada no município de Botucatu (SP). Cada parcela experimental foi composta por um vaso contendo 5000 cm³ de solo, no qual foi transplantada uma muda no estágio de 3 a 4 pares de folhas. Quando as plantas estavam uniformes e bem aclimatadas, os tratamentos foram aplicados via pulverização foliar, utilizando 50 mL de solução com a dose específica de cada regulador vegetal e do fosfito de potássio. Cada tratamento constituiu-se de: 200 g ha⁻¹ de ácido salicílico (AS), 200 g ha⁻¹ de metil salicilato (MeS), 1000 g ha⁻¹ de ácido jasmônico (AJ), 1000 g ha⁻¹ de metil jasmonato (MeJ), 1000 g ha⁻¹ de ácido dihidro jasmônico (DHJ), 1000 g ha⁻¹ de metil dihidro jasmonato (MeDHJ), 5 L p.c. de fosfito de potássio e dois tratamentos testemunhas, sem aplicação de compostos, sendo um deles submetido à deficiência hídrica e o outro irrigado. A irrigação foi suspensa sete dias após a aplicação dos tratamentos. As variáveis avaliadas foram: taxa de transpiração, taxa de transporte de elétrons (ETR) e teor de lipoperóxidos nas folhas. Os resultados obtidos mostram que o estresse por deficiência hídrica elevou os teores de lipoperóxidos e reduziu o ETR nas folhas de eucalipto, contudo a aplicação dos reguladores vegetais e do fosfito de potássio atenuaram os efeitos do estresse hídrico nas plantas, sobretudo nos tratamentos com o AS e AJ e seus ésteres metílicos (MeS e MeJ).

Palavras-chave: *Eucalyptus*, ácido salicílico, ácido jasmônico.

GONÇALVES, K. S.; SOUSA, A. de P.; VELINI, E. D.
APPLICATION OF PLANT GROWTH REBULATORS AND POTASSIUM
PHOSPHITE ON EUCALYPTUS SEEDLINGS UNDER WATER STRESS

2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of plant growth regulators and potassium phosphite on hybrid seedlings of *Eucalyptus grandis* under water stress. The experiment was conducted using a completely randomized experimental design with nine treatments and four replicates in a greenhouse at the Center of Advanced Research in Weed Science in the Department of Plant Production and Breeding at the College of Agricultural Sciences, UNESP, Botucatu (SP). Each experimental plot consisted of a vase containing 5000 cm³ soil, in which a seedling was transplanted at 3-4 leaf stage. When plants were uniform and well acclimated, the treatments were sprayed on the leaves using 50 mL solution with the specific dose for each plant growth regulator and potassium phosphite. Each treatment consisted of 200 g ha⁻¹ salicylic acid, 200 g ha⁻¹ methyl salicylate, 1000 g ha⁻¹ jasmonic acid, 1000 g ha⁻¹ methyl jasmonate, 1000 g ha⁻¹ dihydro jasmonic acid, 1000 g ha⁻¹ methyl dihydro jasmonate, 5 L potassium phosphite and two control treatments, with no compound application, one under water stress and the other being irrigated. Irrigation was suspended seven days after treatment application. The following variables were analyzed: transpiration rate, electron transport rate (ETR) and content of lipoperoxides in the leaves. The results showed that water stress increased the levels of lipoperoxides and reduced ETR in the leaves of eucalyptus. However, application of plant growth regulators and potassium phosphite attenuated the effects of water stress in the plants, mostly in the treatments with salicylic acid and jasmonic acid and their methyl esters.

Keywords: *Eucalyptus*, salicylic acid, jasmonic acid.

3 INTRODUÇÃO

As espécies do gênero *Eucalyptus* destacam-se dentre as espécies florestais devido às características de alta produtividade, crescimento rápido e capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais. No Brasil, são muito utilizadas para o reflorestamento e o seu cultivo comercial responde por grande parte do sucesso da atividade florestal, sobretudo nos setores ligados a produção de papel, celulose e madeira.

Igualmente a outras culturas, o eucalipto está sujeito a fatores ambientais que afetam desfavoravelmente seu crescimento, desenvolvimento e produtividade, como condições adversas de radiação solar, temperatura e disponibilidade hídrica, sendo este último, o fator mais limitante, pois, segundo Taiz e Zeiger (2009), a água é o principal constituinte das plantas e uma pequena redução na disponibilidade de água no solo pode afetar drasticamente seu metabolismo.

As plantas possuem defesas constitutivas ou induzidas, que se manifestam em resposta aos estresses bióticos e abióticos e compreendem alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas. No caso de estresse por deficiência hídrica as alterações mais comuns são a redução da área foliar, o crescimento do sistema radicular e o fechamento estomático (LOPEZ; CHAUHAN; JOHANSEN, 2008), menor potencial hídrico nas folhas e redução da eficiência quântica do fotossistema II (SILVA et al., 2007), além de ajustamento osmótico, com acréscimos na síntese de açúcares e aminoácidos (CAMPOS et al., 2011).

Existem compostos orgânicos que são produzidos constitutivamente pelas plantas e tem seu nível incrementado em resposta aos estresses. Estes compostos funcionam como indutores de resistência e são chamados hormônios vegetais. As plantas produzem uma grande variedade de hormônios vegetais, e, recentemente, outros compostos que podem afetar o crescimento e o

desenvolvimento vegetal têm sido descritos, dentre eles o ácido salicílico (AS) e o ácido jasmônico (AJ).

A maioria desses hormônios vegetais possuem substâncias sintéticas análogas que, ao serem aplicadas na planta, produzem efeitos similares aos produzidos pelos hormônios. Essas substâncias são conhecidas como reguladores vegetais e em pequenas quantidades promovem, inibem ou modificam os processos fisiológicos das plantas (PESSARAKLI, 2001).

Os AS e AJ estão envolvidos na ativação das respostas de defesa das plantas sob condições de estresse, sobretudo os causados por patógenos e fatores ambientais. Evidências recentes tem sugerido que esses hormônios poderiam ter relação com a expressão de alguns genes envolvidos na defesa e na sinalização das respostas a estresses hídricos (KERBAUY, 2008).

Os resultados obtidos nos últimos anos mostram que os AS e AJ podem ser compostos promissores na redução da sensibilidade dos cultivos aos estresses abióticos, visto que em determinadas condições atenuam os efeitos adversos produzidos por distintos fatores ambientais estressantes, como a deficiência hídrica (MARDANI et al., 2012; SANCHEZ, 2008). A aplicação exógena dos jasmonatos nas plantas produz efeitos como o fechamento dos estômatos em condições de estresse e aumenta a resistência das plantas a infecções por patógenos (SANCHEZ, 2008). O AS desempenha um papel fundamental na tolerância ao estresse hídrico e interesses consideráveis têm sido focados neste ácido, devido à sua capacidade de induzir efeitos de proteção em plantas submetidas ao estresse por escassez de água (AZOOZ; YOUSSEF, 2010). Neste sentido, a aplicação exógena de AS tem sido testada em diferentes cultivos agrícolas com a finalidade de investigar a capacidade deste em atenuar os efeitos adversos causados pela deficiência hídrica, a exemplo das pesquisas desenvolvidas por Singh e Usha (2003) e Horváth et al. (2007) em trigo, Hussain et al. (2008) em girassol, Carvalho, Machado Neto e Custódio (2007) em calêndula, Mardani et al. (2012) em pepino e Durães (2006) em feijão.

O fosfito de potássio é um composto importante para a produção vegetal, inclusive de espécies arbóreas, e consiste numa fonte de nutrientes que permitem corrigir rapidamente deficiências nutricionais, melhorando o desenvolvimento das plantas e a sua atividade fisiológica, ao mesmo tempo em que estimulam a criação de mecanismos naturais de defesa.

A aplicação de reguladores vegetais, bem como do fosfito de potássio, como agentes que favorecem a tolerância a estresses abióticos, podem ajudar a conhecer o papel regulador destes compostos nos mecanismos de adaptação ao estresse hídrico. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de reguladores vegetais (ácido salicílico, metil salicilato, ácido jasmônico, metil jasmonato, ácido dihidro jasmônico e metil dihidro jasmonato) e do fosfito de potássio em mudas de híbrido de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla* submetidas à deficiência hídrica.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de outubro a dezembro de 2011, em casa de vegetação no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), pertencente ao Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, localizada no município de Botucatu (SP) com as coordenadas geográficas 22°51' 00.09"S e 48° 25' 25.89"W e altitude de 786 m. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é definido como Cwa: clima temperado quente (mesotérmico) (CUNHA; MARTINS; RICARTE, 2006).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com nove tratamentos (Tabela 1) e quatro repetições, totalizando 36 parcelas experimentais. Cada parcela experimental foi composta por um vaso plástico contendo 5000 cm³ de solo, no qual foi transplantada uma muda no estágio de 3 a 4 pares de folhas do eucalipto híbrido das espécies *E. grandis* vs. *E. urophylla*, cedidas pela empresa Duratex S/A, Lençóis Paulista – SP. Para o preenchimento dos vasos foi utilizado solo do tipo Latossolo Vermelho distrófico (LVD), com as seguintes características químicas: pH (CaCl₂) = 4; MO (g dm⁻³) = 21; SB e CTC (cmol. dm⁻³) = 5 e 75, respectivamente; e físicas: 65,4% de areia total, 30,5% de argila e 4,1% de silte, sendo classificado como de textura média. Trinta dias antes do transplante das mudas, o solo foi corrigido com a adição de calcário e no dia anterior ao transplante foi feita a fertilização com nitrogênio, fósforo e potássio realizada a partir da análise química de fertilidade do solo e utilizando para cada vaso 13 g da fórmula 04-14-08 de NPK, de acordo com as recomendações de Andrade (2004).

Após o transplante, as plantas foram mantidas em casa de vegetação e irrigadas regularmente com o auxílio de um regador, conforme a necessidade. Os tratamentos (Tabela 1) foram aplicados aproximadamente 45 dias após o transplante, quando as plantas estavam bem aclimatadas e apresentavam em média 60 cm de altura e de 3 a 4 ramificações secundárias. A aplicação foi realizada via pulverização foliar, utilizando um pulverizador manual pressurizado a CO₂ operando à pressão constante de 3,0 kgf cm⁻² e mantido a uma distância de 0,2 m das plantas.

Para a aplicação, as plantas de cada tratamento foram dispostas em 1,0 m² e a pulverização foi realizada em toda parte aérea (caule e folhas) utilizando 50 mL de solução com a dose específica de cada composto. As concentrações utilizadas dos compostos nas soluções foram calculadas com base no peso molecular, e às soluções foi adicionado o espalhante adesivo não iônico Aterbane* BR na concentração de 0,5% (v/v).

A irrigação foi suspensa sete dias após a aplicação dos tratamentos. Foram adotados dois tratamentos testemunhas, ambos sem aplicação de compostos, sendo um deles submetido à deficiência hídrica e o outro em condições normais de irrigação. Apenas na testemunha com irrigação, os vasos foram irrigados com a quantidade de água perdida pela transpiração das plantas, determinada pela diferença entre o peso do vaso no dia específico e o peso inicial (primeiro dia em que foi aplicada a deficiência hídrica).

Tabela 1. Tratamentos aplicados em mudas de *E. grandis* vs. *E. urophylla*. Botucatu – SP.

	Tratamentos	Doses
Teste + CI	Testemunha com irrigação	-
Teste + SI	Testemunha sem irrigação	-
AS + SI	Ácido Salicílico sem irrigação	200 g ha ⁻¹
MeS + SI	Metil salicilato sem irrigação	200 g ha ⁻¹
AJ + SI	Ácido jasmônico sem irrigação	1000 g ha ⁻¹
MeJ + SI	Metil jasmonato sem irrigação	1000 g ha ⁻¹
ADHJ + SI	Ácido dihidro jasmônico sem irrigação	1000 g ha ⁻¹
MeDHJ + SI	Metil dihidro jasmonato sem irrigação	1000 g ha ⁻¹
FOSF + SI	Fosfito de potássio* sem irrigação	5 L p.c. ha ⁻¹

*Produto comercial Fosway (30% P₂O₅ e 20% K₂O)

A taxa transpiratória foi mensurada pelo consumo de água das plantas, obtida pela pesagem diária de cada um dos vasos. Para garantir que o consumo de água fosse apenas pela

transpiração das plantas, os vasos foram envoltos por um saco plástico de polietileno e fechados no caule (Figura 1) com a finalidade de evitar a perda de água pela evaporação do solo. O dia da última avaliação foi determinado pelo dia em que as plantas do tratamento testemunha submetida à deficiência hídrica (Teste + SI) apresentaram características do estresse, como o princípio de murcha das folhas. Neste dia, as folhas das plantas de cada repetição foram levadas a uma câmara de circulação forçada de ar com temperatura de 60°C, até atingirem massa constante, para a determinação da biomassa seca das folhas. Concomitantemente, dez fragmentos de 2,0 cm² do limbo foliar de plantas do tratamento testemunha irrigada (Teste + CI) foram levados à mesma estufa para obtenção da biomassa seca. Obteve-se o valor médio da biomassa seca destes fragmentos de área conhecida e então, por meio da biomassa seca de cada repetição, foi possível estimar a área foliar total das plantas, o que possibilitou a padronização do consumo de água das plantas em cm³ cm⁻².

Figura 1. Plantas de *E. grandis* vs. *E. urophylla* preparadas para a análise da taxa de transpiração. Botucatu – SP.



A taxa de transporte de elétrons (ETR) foi monitorada ao final do experimento com o uso de um fluorômetro portátil (Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS5p - Opti-Sciences) realizando-se leituras na porção mediana das folhas localizadas no terço superior de cada uma das mudas, às nove horas da manhã. Para leitura do ETR utilizou-se o protocolo Yield otimizado para um estado da fotossíntese adaptado à luz, previamente ajustado com um PAR (Radiação Fotossinteticamente Ativa) de 500 Mols elétrons m⁻² s⁻¹, conforme descrito por Araldi et al. (2011). Os valores de ETR foram expressos em porcentagem do valor médio da testemunha irrigada.

Para a quantificação dos teores de lipoperóxidos foi utilizada a técnica descrita por Heath e Packer (1968). Esta técnica permite quantificar lipoperóxidos por meio da determinação de malondialdeído (MDA), um produto da peroxidação de lipídios.

Dessa forma, as amostras de lâminas foliares, foram homogêneas em 5 mL de solução contendo ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,25% e ácido tricloroacético (TCA) 10% e incubadas em banho-maria (90°C) por 60 minutos, seguido de resfriamento em gelo. O homogêneo resfriado foi então centrifugado em 10.000 g por 15 minutos a temperatura ambiente. O sobrenadante foi coletado e leituras de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 560 e 600 nm. O coeficiente de extinção molar

do malondialdeído ($155 \text{ mmol L}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) foi utilizado para o cálculo dos teores de lipoperóxidos. Os resultados foram expressos em nmol de lipoperóxidos por grama de tecido fresco.

Os dados das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 10% de probabilidade e a comparação das médias foi feita pelo do teste t a 5% de probabilidade. Os valores para DMS foram representados nos gráficos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diferenças significativas foram verificadas entre os tratamentos aplicados sobre as plantas de *E. grandis* vs. *E. urophylla* para as variáveis ETR e teor de lipoperóxidos (Tabela 2). Os tratamentos não diferiram significativamente quanto à taxa transpiratória, embora fosse observada leve redução na transpiração das plantas do tratamento testemunha sem irrigação e dos tratamentos com o AJ e o MeJ (Figura 2). Pereira (2006), Garcia (2012) e Fernandes (2012) também estudando o híbrido *E. grandis* vs. *E. urophylla* observaram reduções na taxa transpiratória das plantas quando em condições de estresse por déficit hídrico.

Segundo Paiva et al. (2005), em situação de baixa disponibilidade hídrica no solo, as plantas reduzem a perda de água ao reduzir a condutância estomática, portanto, esta é uma das primeiras linhas de defesa da planta contra a perda de água, como também é o fator mais importante de controle da fixação do carbono, reduzindo a transpiração com reflexos diretos na fotossíntese (NOGUEIRA; ALBUQUERQUE; SILVA, 2005). O controle da perda de água pelo fechamento estomático consegue manter elevado o potencial hídrico e o conteúdo relativo de água nas folhas, mas, como consequência, há restrições na condutância estomática e trocas gasosas, o que reduz a taxa de transpiração e a assimilação de CO_2 (SOUZA et al., 2004).

De acordo com Kerbauy (2008), a aplicação dos jasmonatos pode interferir na expressão de genes de defesa e na sinalização das respostas à estresses hídricos, aumentando a resistência das plantas. Neste estudo, a aplicação do AJ e MeJ pode ter interferido na percepção dos sinais de estresse, que resultou em maior eficiência no fechamento estomático e na redução da taxa de transpiração, ainda que não represente redução estatisticamente significativa em relação aos demais tratamentos.

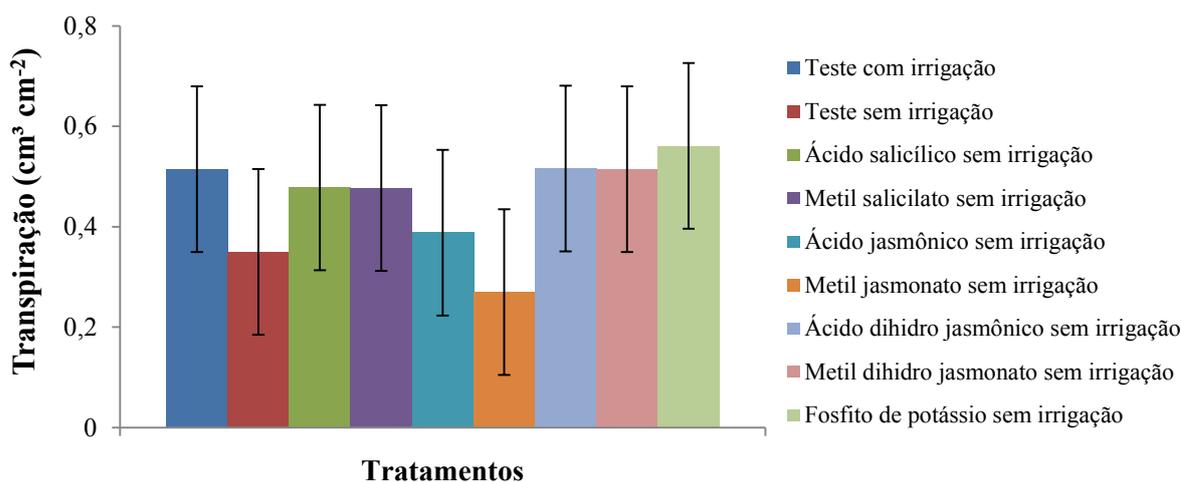
Tabela 2. Médias das variáveis avaliadas em plantas de *E. grandis* vs. *E. urophylla* submetidas à deficiência hídrica e à aplicação de reguladores vegetais e fosfito de potássio. Botucatu - SP.

Tratamentos	Transpiração ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-2}$)	ETR (%Teste+CI)	Lipoperóxidos (nmol g^{-1})	Biomassa seca (g)	Área foliar (cm^2)
Teste + CI	0,51 a	100,0 a	16,08 b	7,0 ab	866,1 ab
Teste + SI	0,35 a	63,8 b	37,89 a	6,9 ab	864,0 ab
AS + SI	0,48 a	84,0 ab	25,00 b	6,6 ab	818,3 ab
MeS + SI	0,48 a	96,4 a	20,08 b	6,6 ab	818,0 ab
AJ + SI	0,39 a	94,6 a	28,23 ab	7,6 a	939,1 a
MeJ + SI	0,27 a	93,6 a	28,02 ab	8,1 a	1010,9 a

ADHJ + SI	0,52 a	92,7 a	36,26 a	4,4 b	541,9 b
MeDHJ+SI	0,51 a	74,2 b	36,68 a	7,1 ab	882,6 ab
FOSF + SI	0,56 a	94,1 a	25,15 b	6,8 ab	842,5 ab
F _c	0,35	1,92*	1,98*	0,46	0,46
D.M.S.	0,33	17,7	11,1	3,1	386,8
C.V. (%)	71,37	19,5	38,4	44,7	44,7

* significativo a 10% de probabilidade pelo teste de F; D.M.S. - Diferença mínima significativa do teste t ($\alpha = 5\%$); C.V. - Coeficiente de variação. Médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem pelo teste t, ao nível de 5% de significância.

Figura 2. Médias da taxa de transpiração em plantas de *E. grandis* vs. *E. urophylla* submetidas à deficiência hídrica e à aplicação de reguladores vegetais e de fosfito de potássio. As barras indicam a D.M.S. do teste t ($\alpha = 5\%$). Botucatu – SP.



Houve diferença significativa na taxa de transporte de elétrons (ETR) das plantas dos tratamentos testemunha com e sem irrigação, sendo que as plantas submetidas ao déficit hídrico apresentaram redução de aproximadamente 37% na média de ETR em relação à testemunha irrigada. Corroborando com estes resultados, Longui (2007) também observou uma tendência significativa de redução do transporte de elétrons (ETR) em espécies de *Eucalyptus* sob deficiência hídrica. Segundo Kaiser (1987), em condições de deficiência hídrica, parte da inibição da fotossíntese pode ser atribuída a fatores não estomáticos em nível dos cloroplastos, sobretudo causados por problemas no transporte de elétrons.

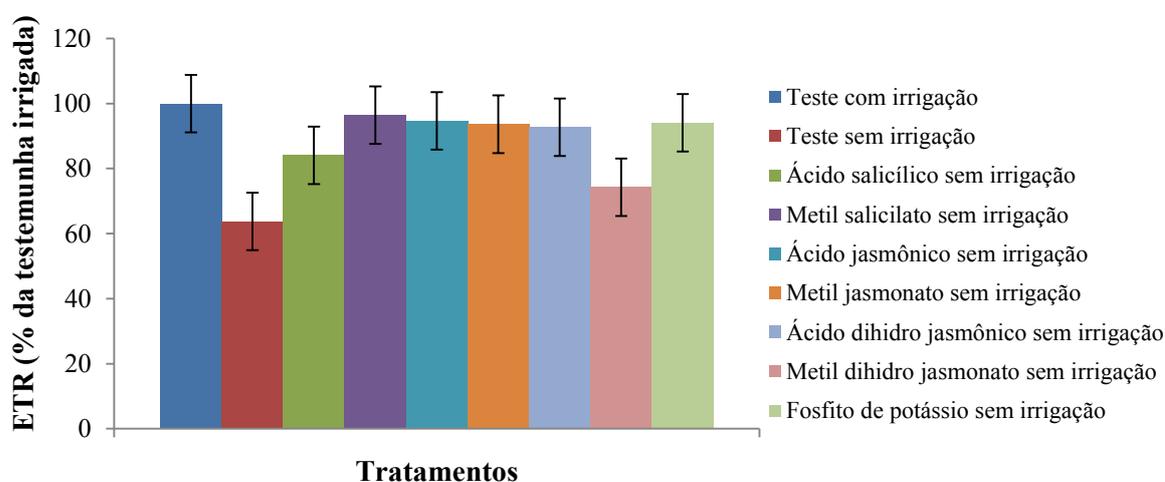
Em relação à fase de transporte de elétrons durante a fotossíntese nas plantas, tem-se que a luz é absorvida por pigmentos do complexo antena, que, ao excitarem os elétrons, transferem energia para os centros de reação dos fotossistemas II e I (YOUNG; FRANK, 1996). Quando ocorre excesso de energia, esta pode ser dissipada na forma de fluorescência (KRAUSE; WINTER, 1996). O estresse hídrico poderá promover efeitos deletérios nos cloroplastos interferindo na eficiência da fotossíntese inativando o fotossistema II (P680 ou

FSII) e a cadeia de transporte de elétrons que daria origem ao ATP e NADPH₂ (COSTA et al., 2003).

As plantas tratadas com MeDHJ e submetidas à deficiência hídrica, também apresentaram significativa inibição do transporte de elétrons, representado pela redução de aproximadamente 26% do ETR da testemunha irrigada (Figura 3), demonstrando a ineficácia deste composto em melhorar o desempenho fotossintético das plantas sob estresse hídrico.

Nos demais tratamentos com os reguladores vegetais e o fosfito de potássio, não foram verificadas reduções significativas no ETR, e mesmo em condições de limitada disponibilidade hídrica, as plantas preservaram o ETR estatisticamente iguais à testemunha irrigada (Teste + CI) (Figura 3). Khan, Prithiviraj e Smith (2003) avaliando o efeito da aplicação foliar de AS em plantas de milho e soja, cultivadas em casa de vegetação, observaram aumentos na taxa fotossintética das plantas, enquanto Durães (2006) não observou diferença significativa de ETR em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) com e sem aplicação de AS e submetidas ao déficit hídrico, no entanto, após o período de estresse, quando as plantas foram irrigadas, o autor verificou respostas crescentes de ETR. Andrade (2011) verificou redução na fotossíntese líquida de mudas de café (*Coffea arabica* L.) submetidas à deficiência hídrica, independentemente do tratamento com potássio.

Figura 3. Médias da ETR em plantas de *E. grandis* vs. *E. urophylla* submetidas à deficiência hídrica e à aplicação de reguladores vegetais e de fosfito de potássio. As barras indicam a D.M.S. do teste t ($\alpha = 5\%$). Botucatu - SP.

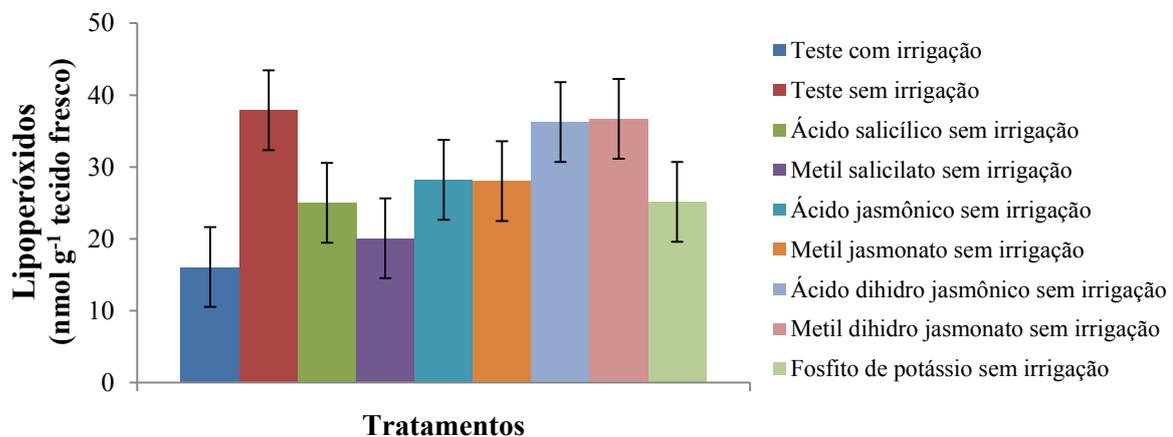


Estresses oxidativos são uma consequência comum do estresse hídrico em vegetais e a alteração nos teores de lipoperóxidos é indicador de prevalência de dano oxidativo nos tecidos (CATANEO et al., 2005). Em plantas de trigo submetidas a estresse hídrico severo Baisak et al. (1994) observaram aumento dos teores de lipoperóxidos. Na Figura 4 observa-se que o estresse causado pela deficiência hídrica aumentou a peroxidação lipídica nas folhas das plantas, embora a aplicação dos AS, MeS e do fosfito de potássio induziram a redução deste parâmetro. Martín (2009) observou incremento nos teores de lipoperóxidos nas folhas de plantas de feijão submetidas ao estresse salino, enquanto que as mesmas plantas previamente tratadas com AS apresentaram reduções nos teores de lipoperóxidos. Igualmente Agarwal et al.

(2005) observaram decréscimos no nível de peroxidação de lipídeos em plantas de trigo pulverizadas com 1 mM de AS e sob estresse hídrico moderado.

Segundo Xu et al. (2009) o AS está envolvido no desenvolvimento da resistência sistêmica adquirida (SAR), podendo ativar enzimas antioxidantes em plantas, em resposta a diferentes estresses, o que possivelmente pode ter causado a redução nos teores de lipoperóxidos em plantas sob restrição hídrica e tratadas com os AS e MeS neste experimento.

Figura 4. Médias dos teores de lipoperóxidos em plantas de *E. grandis* vs. *E. urophylla* submetidas à deficiência hídrica e à aplicação de reguladores vegetais e fosfito de potássio. As barras indicam a D.M.S. do teste t ($\alpha = 5\%$). Botucatu – SP.



As plantas dos tratamentos com o AJ e MeJ apresentaram as maiores médias de biomassa seca das folhas e área foliar, ao mesmo tempo em que apresentaram as maiores reduções na taxa de transpiração, mostrando que pode haver uma resposta de defesa das plantas tratadas com esses reguladores vegetais à estresse causado pela deficiência hídrica (Tabela 2).

Estudos com eucalipto tem comprovado que a produção de matéria seca total é linearmente proporcional à quantidade de água usada pela cultura (ALVARENGA, 1994; SASSE et al., 1996; SILVA, 2003; LOPES, 2004). Como os estômatos fecham durante os estádios iniciais do estresse hídrico, pode haver um aumento da eficiência do uso da água, mais CO₂ pode ser absorvido por unidade de água transpirada, porque o fechamento estomático inibe a transpiração mais do que diminui as concentrações intercelulares de CO₂ (TAIZ; ZEIGER, 2009).

6 CONCLUSÕES

- Nos tratamentos com a aplicação do AS e do fosfito de potássio houve atenuação dos efeitos do estresse hídrico, sendo que as taxas de transpiração e os valores de ETR foram próximos dos verificados no tratamento testemunha com irrigação e, os teores de lipoperóxidos destes tratamentos foram intermediários quando comparados com os teores dos tratamentos com e sem irrigação;

- Os tratamentos com AJ e MeJ preservaram os valores da ETR com as maiores reduções na taxa de transpiração;

- Nos tratamentos com aplicação do AJ e MeJ houve atenuação dos efeitos do estresse hídrico, sendo que os valores de ETR e os teores de lipoperóxidos destes tratamentos foram intermediários quando comparados com os teores dos tratamentos com e sem irrigação;
- Os ADHJ e o MeDHJ foram menos eficazes do que o AJ e o MeJ, respectivamente, em termos de mitigar os efeitos do estresse por deficiência hídrica;
- O estresse por deficiência hídrica elevou os teores de lipoperóxidos e reduziu a taxa de transporte de elétrons (ETR) nas folhas de *E. grandis* vs. *E. urophylla*;

7 REFERÊNCIAS

AGARWAL, S.; SAIRAM, R. K.; SRIVASTAVA, G. C.; MEENA, R. C. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 9, p. 541-550, 2005.

ALVARENGA, R. C.; BARROS, N. F. de; DANTAS, C. E. de S.; LOBÃO, D. E. V. P. Efeitos do conteúdo de água no solo e da poda de raízes sobre o crescimento de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 18, n. 2, p. 107-114, 1994.

ANDRADE, L.R.M. Corretivos e fertilizantes para culturas perenes e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado, correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2004. p. 317-366.

ANDRADE, M. A. F. de. **Relações hídricas e crescimento de plantas jovens de café sobre diferentes regimes hídricos e doses de N e K**. 2011. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Fitotecnia), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2011.

ARALDI, R.; VELINI, E. D.; GIROTTO, M.; CARBONARI, C. A.; JASPER, S. P.; TRINDADE, M. L. B. Efeitos na taxa de transporte de elétrons de plantas daninhas após aplicação de amicarbazone. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 647-653, 2011.

AZOOZ, M. M.; YOUSSEF, M. M. Evaluation of heat shock and salicylic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in hassawi wheat. **American Journal of Plant Physiology**, v. 5, n. 2, p. 56-70, 2010.

BAISAK, R.; RANA, D.; ACHARYA, P. B. B.; KAR1, M. Alterations in the activities of active oxygen scavenging enzymes of wheat leaves subjected to water stress. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 35, p. 489-495, 1994.

CAMPOS, M. K. F. CARVALHO, K. de; SOUZA, F. S. de; MARURA, C. J.; PEREIRA, L. F. P., BESPALHOK FILHO, J. C.; VIEIRA, L. G. E. Drought tolerance and antioxidant enzymatic activity in transgenic 'Swingle' citrumelo plants over-accumulating proline. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 72, n. 2, p. 242-250, 2011.

CARVALHO, P. R.; MACHADO NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C. Ácido salicílico em sementes de calêndula (*Calendula officinalis* L.) sob diferentes estresses. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 29, n. 1, p.114-124, 2007.

CATANEO, A.C.; CHAMMA, K. L.; FERREIRA, L. C.; DÉSTRO, G. F. G.; SOUSA, D. C. F. de Atividade de superóxido dismutase em plantas de soja (*glycine max* L.) cultivadas sob estresse oxidativo causado por herbicida. **Revista Brasileira de Herbicida**, Maringá, v. 4, n. 2, p.9. 2005.

COSTA, E. S.; BRESSAN-SMITH, R.; OLIVEIRA, J.G.; CAMPOSTRINI, E. Chlorophyll a fluorescence analysis in response to excitation irradiance in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. and *Vigna unguiculata* L. Walp) submitted to high temperature stress. **Photosynthetica**, Prague, v.41, p.77-82, 2003.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D.; RICARTE, R. M. Atualização da classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel - SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBMET, 2006. p. 7.

DURÃES, M. A. B. **Respostas de duas populações de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) tratadas com ácido salicílico e submetidas a estresse hídrico**. 2006. 32 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal)-Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2006.

FERNANDES, E. T. **Fotossíntese e crescimento inicial de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fitotecnia)-Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2012.

GARCIA, R. D. **Qualidade das mudas clonais de dois híbridos de eucalipto em função do manejo hídrico**. 2012. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência Florestal)-Faculdade de Ciência Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 125, p. 189-198, 1968.

HORVÁTH, E.; PÁL, M.; SZALAI, G.; PÁLDI, E.; JANDA, T. Exogenous 4-hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short-term drought and freezing stress on wheat plants. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 51, n. 3, p. 480-487, 2007.

HUSSAIN, M. M. et al. Improving drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, n. 3, p. 193-199, 2008.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. p. 452.

KHAN, W.; PRITHIVIRAJ, B.; SMITH, D. L. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 160, p. 485-492, 2003.

KRAUSE, G. H.; WINTER, K. Photoinhibition of photosynthesis in plants growing in natural tropical forest gaps: a chlorophyll fluorescence study. **Botanica Acta**, New York, v. 109, p. 456-462, 1996.

LONGUI, B. M. **Fotossíntese e relações hídricas de espécies de *Eucalyptus* sp. submetidas a diferentes regimes hídricos**. 34 f. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Produção Vegetal)-Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2007.

LOPES, J. L. W. **Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden) em diferentes substratos e lâminas de irrigação**. 2004. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

LOPEZ, F. B.; CHAUHAN, Y.S.; JOHANSEN, C. Effects of timing of drought stress on leaf area development and canopy light interception of short-duration pigeonpea. **Journal of Agronomy and Crop Science**, California, v. 178, n. 1, p. 1-7, 2008.

MARDANI, H.; BAYAT, H.; SAEIDNEJAD, A. H.; REZAIE, E. E. Assessment of salicylic acid impacts on seedling characteristic of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under water stress. **Notulae Scientia Biologicae**, Cluj-Napoca, v. 4, n. 1, p. 112-115, 2012.

MARTÍN, F. J. P. **Respuestas inducidas por ácido abscísico y ácido salicílico en las simbiosis de judía y alfalfa en estrés salino**. 2009. 395 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas)-Faculdade de Ciências, Universidade de Granada, Granada, 2009.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B.; SILVA, E. C. da. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. p. 22-31.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.

PEREIRA, M. R. R. **Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus* sp. w. (hill ex. maiden) submetidos a diferentes níveis de água no solo**. 2006. 69 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2006.

PESSARAKLI, M. **handbook of plant and crop physiology**. 2nd ed. rev. and expd. New York : Marcel Dekker, 2001. 997 p.

SANCHEZ, F. Jasmonatos: compuestos de alto valor para la agricultura: actividad biológica y ruta biosintética del ácido jasmónico en plantas. **Revista ICIDCA**, La Habana, v. 42, n. 1-3, p. 51-59, 2008.

SASSE, J.; SANDS, R.; WHITEHEAD, D.; KELLIHER, F. M. Comparative responses of cuttings and seedlings of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus globulus* to water stress. **Tree Physiology**, Oxford, v. 16, p. 287-294, 1996.

SILVA, J. C. Influência dos tratamentos silviculturais na qualidade da madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 75, p. 1-10, 2003.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. G. da; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007.

SINGH, B.; USHA, K. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 39, n. 2, p. 137-141, 2003.

SOUZA, R. P.; MACHADO, E. C.; SILVA, J. A. B.; LAGÔA, A. M. M. A.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, n. 51, p. 45-56, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

XU, Q.; ZHOU, B.; MA, C.; XU, X.; XU, J.; JIANG, Y.; LIU, C.; LI, G.; HERBERT, S. J.; HAO, L. Salicylic acid-altering *Arabidopsis* mutants response to NO₂ exposure. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 84, p. 106-111, 2009.

YOUNG, A. L.; FRANK, H. A. Energy transfer reactions involving carotenoids: quenching of chlorophyll fluorescence. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 36, p. 3-15, 1996.