

CRESCIMENTO E PARTIÇÃO DE MATÉRIA SECA DE MUDAS DE EUCALIPTO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA E ÁGUA DO SOLO

Paulo César Teixeira¹
José Leonardo Moraes Gonçalves²
José Carlos Arthur Junior

RESUMO

No Brasil, uma considerável porção dos plantios comerciais de eucalipto está localizada em regiões sujeitas a períodos de seca mais ou menos prolongados e, normalmente, em solos de baixa fertilidade natural, particularmente pobres em potássio (K). Assim, este trabalho teve como objetivo verificar a influência da adubação potássica e do potencial de água do solo na partição de matéria seca (MS) de mudas de eucalipto, em casa de vegetação. O experimento foi constituído de 32 tratamentos, compreendendo quatro espécies de eucalipto (*Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. camaldulensis* e o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*, quatro doses de K (0, 50, 100 e 200 mg dm⁻³) e dois regimes de umidade do solo (-0,01MPa e -0,10 MPa), no delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial, com três repetições. Foram utilizados vasos de PVC de 15 cm de diâmetro e 18 cm de altura, com fundo de isopor, contendo 3,0 dm³ de solo. Aproximadamente 20 sementes/vaso foram colocadas para germinar e, dez dias após a emergência, foi feito o desbaste, deixando-se duas plantas/vaso. O potencial de água do solo foi mantido em -0,01MPa por 40 dias. Após esse tempo, as unidades experimentais foram divididas em dois grupos, sendo o potencial de um mantido a -0,01MPa, e no outro, a -0,10 MPa. O controle da umidade do solo foi feito gravimetricamente com reposição de água até o potencial desejado. A altura das plantas foi determinada imediatamente antes do corte. Na colheita, as plantas foram separadas em caule, folhas e raízes, e determinadas a matéria seca e a área foliar. Os dados foram submetidos à análise de variância, em esquema fatorial, e submetidos a testes de Tukey e análises de regressão. A altura das mudas aumentou com a aplicação de K nas quatro espécies e foi pouco influenciada pelo déficit hídrico. Entretanto, os valores máximos estimados para altura foram maiores em plantas sem déficit hídrico. A MS de folhas média foi afetada significativamente em todas as espécies e aumentou com adição de K. A aplicação de EH nas plantas promoveu, em média, redução de 17,5%, 24,1%, 9,6% e 5,0% na produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) de *E. urophylla*, *E. grandis*, híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. camaldulensis*, respectivamente. A aplicação de K teve efeito mais significativo que o EH na produção de MSPA dessas espécies. Em média, houve aumento de 348%, 489%, 270% e 320% de MSPA respectivamente em *E. urophylla*, *E. grandis*, híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. camaldulensis*, comparando-se a MSPA obtida na dose de 0 mg dm⁻³ de K e a MSPA máxima estimada.

Palavras chave: potássio, *Eucalyptus*, água no solo, nutrição potássica

ABSTRACT

GROWTH AND DRY MATTER PARTITION OF SEEDLINGS OF EUCALYPTUS IN RESPONSE TO POTASSIUM FERTILIZATION AND SOIL WATER

In Brazil, a considerable portion of the commercial plantations of eucalypts is located in regions subject to periods of drought and, usually, in soils of low natural fertility, particularly poor in potassium (K). Thus, this work had as objective verify the influence of potassium fertilization and of soil water potential in the dry matter partition and growth of eucalyptus seedlings in greenhouse conditions. The experiment was constituted of 32 treatments, comprehending four eucalyptus species (*Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. camaldulensis* and hybrid *E. urophylla* x *E. grandis*), four doses of K (0, 50, 100 and 200 mg dm⁻³) and two soil water potential (-0,01MPa and -0,10 MPa),

¹ Embrapa Amazônia Ocidental, Rodovia AM 010, Km 29, Caixa Postal 319, Manaus, AM. E-mails: paulo@cpaa.embrapa.br, peteix@yahoo.com.br

² Departamento de Ciências Florestais, ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11 Caixa Postal 9, Piracicaba, SP. E-mail: jlmgonca@esalq.usp.br; jcarthur@yahoo.com.br

in a factorial randomized block design, with three replications. PVC containers of 15 cm of diameter and 18 cm of height, with styrofoam base, containing 3,0 dm³ of soil were used. About 20 seeds/container were placed to germinate and ten days after the emergency was done the thinning, remaining two plants/container. Soil water potential was kept in -0,01MPa for 40 days. After the experimental units were divided into two groups, and the potential, in one of them was kept to -0,01MPa, and in another one, to -0,10 MPa. Soil humidity control was done gravimetrically with water replacement until the wished potential. The height of the plants was measured immediately before the cut. In the harvest, the plants were separated in stem, leaves and roots and the dry matter and the leaf area were determined. The data were submitted to variance analysis and submitted to Tukey's tests and regression analyses. The height of the seedlings increased with K application for the four species and was little influenced by the water deficit. However, the estimated maximum values were higher in plants without water deficit than in plants with water deficit. Leaf dry matter was affected significantly in all species and increased with K addition. Water stress reduced the above-ground dry matter (AGDM) in 17,5%, 24,1%, 9,6% and 5,0% for *E. urophylla*, *E. grandis*, hybrid *E. urophylla* × *E. grandis* and *E. camaldulensis*, respectively. The application of K had a more significant effect than the water stress in the above-ground dry matter for these species. On an average, there was an increase of 348%, 489%, 270% and 320%, respectively, for *E. urophylla*, *E. grandis*, hybrid *E. urophylla* × *E. grandis* and *E. camaldulensis*, between the AGDM obtained in the dose of 0 mg dm⁻³ of K and the estimated maxim AGDM.

Key words: potassium, *Eucalyptus*, soil water, potassium nutrition

INTRODUÇÃO

A produtividade das plantações de eucalipto varia consideravelmente e numerosos fatores contribuem para isso. O sucesso no desenvolvimento tem ocorrido quando informações de experiências práticas sobre espécies e condições ambientais têm sido detalhadas e quando tais informações têm sido usadas efetivamente no desenvolvimento de estratégias de manejo (Gholz & Lima, 1997).

No Brasil, uma considerável porção dos plantios comerciais de eucalipto está localizada em regiões sujeitas a períodos de seca mais ou menos prolongados e, normalmente, em solos de baixa fertilidade natural (Barros *et al.*, 1981; Gonçalves *et al.*, 1996). Assim, o entendimento da base fisiológica da produtividade e de como os vários fatores interagem com a fisiologia das árvores é importante para o desenvolvimento e o sucesso do manejo das plantações.

O déficit hídrico afeta características relacionadas ao crescimento das plantas, incluindo a anatomia, morfologia, fisiologia e bioquímica (Kramer, 1983). Uma das maneiras pelas quais a água afeta o crescimento das plantas é pelo fechamento estomático, que reduz, em geral, a produção de matéria seca, quando há baixa baixa disponibilidade de água. O fechamento dos estômatos bloqueia o influxo de CO₂ para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, promovendo redução da produtividade (Oliva *et al.*, 1989).

O aumento da produtividade pode ser dependente do aumento na eficiência de uso de água, o que implica desenvolvimento de estratégias pela planta envolvendo redução no uso de água, aumento na produção de matéria seca (Reis & Reis, 1993) e de adequada nutrição, particularmente potássica. Estudos mostram que a fertilização é mais efetiva quando as plantas não estão sob déficit hídrico e que a irrigação é mais efetiva quando nutrientes não são limitantes (Sands & Mulligan, 1990).

Dentre os nutrientes demandados pelas diferentes espécies de *Eucalyptus*, o K tem sido um dos que tem tido maior resposta à adubação e limitado a produtividade. Além disso, são notórias as diferenças entre espécies, quanto à exigência e eficiência nutricional desse nutriente. Visando a obtenção de subsídios para a recomendação racional de adubação de K no campo e viveiro, bem como locação das espécies nas áreas de plantio, em função de suas características nutricionais e dos teores de K no solo, são de grande importância a prática o desenvolvimento de curvas de calibração de K e a determinação da eficiência nutricional de espécies de *Eucalyptus*, quando crescem sob diferentes disponibilidades de K no solo.

Levantamentos nutricionais realizados em algumas regiões do estado de São Paulo mostraram que, independentemente do material genético, a maioria das florestas avaliadas apresentavam deficiência de K (Bellote & Ferreira, 1995; Silveira *et al.*, 1995, 2000).

Segundo Bellote & Ferreira (1995) e Gonçalves & Valeri (2001), a oferta de K nesses solos é um dos fatores mais limitantes tanto para o crescimento das árvores quanto para sua adequada nutrição.

Quando o suprimento de água no solo é limitado, perda de turgor e murcha são sintomas típicos de deficiência de potássio. A menor sensibilidade de plantas ao potássio está relacionada ao papel do K^+ na regulação estomática, que é o mecanismo maior que controla o regime hídrico das plantas, e à importância do K para o potencial osmótico nos vacúolos, mantendo alto conteúdo hídrico tissular em condições mais secas. Menor sensibilidade ao estresse hídrico, em termos de produção de biomassa e rendimento, pode ser o resultado de maior concentração de K no estroma e, correspondentemente, maiores taxas de fotossíntese (Marschner, 1995).

Este trabalho teve como objetivo verificar a influência da adubação potássica e do potencial de água do solo no crescimento e na partição de matéria seca de mudas de quatro espécies de eucalipto em casa de vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciências Florestais, na ESALQ/USP, em vasos de PVC de 15 cm de diâmetro e 18 cm de altura, com fundo de isopor, com capacidade para 3,3 dm³, contendo 3,0 dm³ de solo.

O experimento foi constituído de 32 tratamentos, compreendendo quatro espécies de eucalipto (*E. urophylla*, *E. grandis*, híbrido [*E. urophylla* x *E. grandis*] e *E. camaldulensis*); quatro doses de K (0, 50, 100 e 200 mg dm⁻³ de K) e dois regimes de umidade do solo: -0,01MPa (“sem estresse hídrico”) e -0,10 MPa (“com estresse hídrico”). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial (2 x 4²) x 3, e duas plantas por unidade experimental (UE), totalizando 96 UE.

Foram utilizadas amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, textura média originária da Estação Experimental de Itatinga, pertencente à ESALQ/USP, em Itatinga-SP. As amostras de solo foram coletadas na camada superficial (0-20 cm), destorroadas, homogeneizadas, secas ao ar e passadas

em peneira de malha de 2 mm. As análises químicas e físicas foram feitas conforme Embrapa (1997), e os dados encontrados estão na Tabela 1.

Além dos tratamentos com K, aplicados imediatamente antes do plantio em todo o volume do solo (0, 50, 100 e 200 mg dm⁻³ de K), todas as amostras receberam a seguinte adubação complementar: 100 mg dm⁻³ de N (metade antes do plantio e metade em cobertura, parcelada em duas vezes, aos dois e quatro meses de idade); 300 mg dm⁻³ de P; 45 mg dm⁻³ de S; 0,82 mg dm⁻³ de B; 4,0 mg dm⁻³ de Zn; 3,66 mg dm⁻³ de Mn; 1,55 mg dm⁻³ de Fe; 1,39 mg dm⁻³ de Cu; e 0,20 mg dm⁻³ de Mo. As fontes utilizadas dos elementos foram: H₃BO₃; ZnSO₄.7H₂O; (NH₄)₂SO₄; KNO₃; Ca(H₂PO₄)₂.H₂O; KCl; MnCl₂.4H₂O; FeCl₃.6H₂O, CuSO₄.5H₂O; e NaMoO₄.2H₂O, em solução líquida.

Tabela 1. Características químicas e físicas do Latossolo Vermelho-Amarelo psamítico na profundidade de 0-20 cm

Característica	Valor
P-resina (mg dm ⁻³)	6,0
MO (g dm ⁻³)	24
pH (CaCl ₂)	3,8
K (mmol _c dm ⁻³)	0,4
Ca (mmol _c dm ⁻³)	4,0
Mg (mmol _c dm ⁻³)	1,0
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	68
Al (mmol _c dm ⁻³)	36
Soma de bases (mmol _c dm ⁻³)	5,0
CTC total (mmol _c dm ⁻³)	73
V (%)	7,0
m (%)	87
S-SO ₄ (mg dm ⁻³)	6,1
B (mg dm ⁻³)	0,62
Cu (mg dm ⁻³)	1,2
Fe (mg dm ⁻³)	88
Mn (mg dm ⁻³)	2,7
Zn (mg dm ⁻³)	6,6
Argila (g kg ⁻¹)	180
Silte (g kg ⁻¹)	60
Areia grossa (g kg ⁻¹)	50
Areia média (g kg ⁻¹)	460
Areia fina (g kg ⁻¹)	250
Areia total (g kg ⁻¹)	760
Densidade do solo (g dm ⁻³)	1,2
Densidade de partículas (g dm ⁻³)	2,6
Retenção de água a -0,01MPa (g/100g)	0,1375
Retenção de água a -0,10 MPa (g/100g)	0,1150

Posteriormente à adubação e colocação do solo nos vasos, foram semeadas aproximadamente 20 sementes por vaso. Dez dias após a emergência, foi realizado o desbaste, deixando-se duas plantas por vaso.

Inicialmente, todas as plantas foram conduzidas com a umidade do solo mantida próximo a $-0,01$ MPa, por 40 dias. Após esse período, as 96 UE foram divididas em dois grupos de 48, sendo o potencial, em um deles, mantido próximo a $-0,01$ MPa, enquanto o outro grupo passou por uma fase de transição e adaptação de uma semana, em que o potencial de água do solo (Ψ_w) foi gradativamente diminuído até $-0,1$ MPa. Ao final desta fase, o segundo grupo permaneceu com o (Ψ_w) de, aproximadamente, $-0,1$ MPa até o final do experimento. O controle do (Ψ_w) foi feito gravimetricamente. À medida que as plantas foram crescendo, foi feita estimativa da biomassa de matéria fresca, para correção do peso do vaso a ser mantido e manutenção do potencial de água desejado.

Aos seis meses de idade, o material vegetal foi colhido e separado em folhas, caule com ramos, e raízes. Os vasos foram desmontados e as raízes retiradas do solo mediante lavagem com água corrente, sobre peneira de 0,5 mm de abertura. O material vegetal colhido foi acondicionado em sacos de papel e colocados em estufa de circulação forçada de ar a 70°C por 72 h. O processamento das amostras seguiu metodologias descritas por Malavolta *et al.* (1997).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância em esquema fatorial. Foram ajustados os modelos de regressão linear, em base de raiz quadrada, relacionando as características das plantas com as doses de K. Os modelos foram ajustados para cada espécie e dentro de cada nível de água no solo. A comparação das médias obtidas para os tratamentos de EH foi realizada pelo teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados relativos ao crescimento em altura, matéria seca de folhas (MSF), de galhos (MSG), da parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR) encontram-se na Tabela 2. A análise de variância (ANOVA) mostrou comportamentos diferentes entre as diferentes variáveis estudadas (Tabela 3).

Verificou-se que a altura das plantas só foi afetada pelas doses de k e nível de água, não se observando efeito

da interação desses fatores (Tabela 3). Na média geral, *E. camaldulensis* foi a espécie que apresentou os maiores valores de altura e as demais espécies apresentaram valores estatisticamente iguais (Tabela 2). O estresse hídrico (EH) não afetou significativamente a altura de *E. urophylla*, *E. grandis* e híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*. Somente *E. camaldulensis* foi afetado, principalmente, na dose de 50 mg dm^{-3} de K. Plantas dessa espécie, sem EH, apresentaram maior altura.

A adição de K ao solo afetou a altura das quatro espécies de eucalipto, com e sem EH, com tendência semelhante numa relação raiz quadrática, alterando somente a magnitude (Tabela 4). Apesar de não haver diferença estatística entre as espécies nos tratamentos com e sem EH (com exceção do *E. camaldulensis*) (Tabela 2), o *E. grandis*, o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* e o *E. camaldulensis* apresentaram os maiores valores de altura máxima estimada para plantas sem EH comparativamente a plantas com EH (Tabela 4). *Eucalyptus urophylla* apresentou comportamento diferente, mas com altura máxima estimada de 61,5 e 64,5 cm, sem e com EH, respectivamente. Diversos autores verificaram decréscimo na altura de plantas de eucalipto submetidas a EH (Façanha *et al.*, 1983; Oliva *et al.*, 1989, Alvarenga *et al.*, 1994; Gonçalves & Passos, 2000). O EH aplicado por esses autores foi bem mais intenso que o deste trabalho, o que pode explicar essa falta de resposta da maioria das espécies. De maneira geral, todas as espécies, tiveram aumento de altura com a adição de doses crescentes de K ao solo até o valor correspondente à dose recomendada para obter a produção máxima (DR) (Tabelas 2 e 4). No Brasil, alguns estudos mostraram que plantas de eucalipto podem apresentar respostas diferentes de altura, sendo verificado aumento, decréscimo e ausência de resposta, com o aumento da dose de K (por exemplo: Novais *et al.*, 1980; Schimidt, 1995; Teixeira *et al.*, 1995; Sgarbi *et al.*, 1997; Silveira, 2000; Cicolim *et al.*, 2002). Novais *et al.* (1980), estudando a aplicação de K no crescimento inicial de mudas de *E. grandis*, não verificaram resposta de altura, sugerindo que o nível crítico de K no solo fica abaixo de $0,23 \text{ mmol dm}^{-3}$ de K quando o solo é pobre em Ca e Mg. Neste trabalho, foi verificado que o nível crítico de K no solo, para todas as espécies, encontra-se acima de $0,4 \text{ mmol dm}^{-3}$ de K.

Tabela 2. Altura, matéria seca de folhas (MSF), da parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR) de mudas de quatro espécies de eucalipto, sem e com estresse hídrico (EH), em função da adubação potássica, aos seis meses de idade

Espécie	EH	Dose de K (mg dm ⁻³)				Média
		0	50	100	200	
ALTURA (cm)						
<i>E.urophylla</i>	sem ^{1/}	47,1 a	60,0 a	61,5 a	59,8 a	57,1 a
	com ^{2/}	34,4 a	60,2 a	56,5 a	65,8 a	54,2 a
	Média	40,7 B	60,1 BC	59,0 B	62,8 B	55,7 B
<i>E.grandis</i>	sem	31,7 a	50,1 a	56,8 a	60,4 a	49,7 a
	com	25,5 a	52,8 a	52,6 a	52,3 a	45,8 a
	Média	28,6 C	51,4 C	54,7 B	56,4 B	47,8 B
híbrido <i>E.urophylla</i> × <i>E.grandis</i>	sem	37,9 a	71,3 a	65,8 a	64,3 a	59,8 a
	com	50,2 a	65,8 a	59,9 a	65,2 a	60,3 a
	Média	44,0 AB	68,5 B	62,8 B	64,8 B	60,0 B
<i>E.camaldulensis</i>	sem	49,3 a	97,8 a	82,9 a	89,9 a	80,0a
	com	56,2 a	79,8 b	76,6 a	79,8 a	73,1 b
	Média	52,8 A	88,8 A	79,7 A	84,9 A	76,5 A
MSF (g vaso ⁻¹)						
<i>E.urophylla</i>	sem	5,2 a	14,1 a	17,9 a	15,4 a	13,2 a
	com	4,2 a	14,3 a	13,3 b	10,6 b	10,6 b
	Média	4,7AB	14,2 A	15,6 A	13,0 A	11,6 A
<i>E.grandis</i>	sem	3,9 a	17,7 a	16,4 a	15,6 a	13,4 a
	com	2,9 a	12,3 b	12,0 b	12,8 a	10,0 b
	Média	3,4B	15,0 A	14,2 AB	14,2 A	11,7 A
híbrido <i>E.urophylla</i> × <i>E.grandis</i>	sem	4,8 a	16,1 a	15,3 a	15,0 a	12,8 a
	com	6,8 a	12,3 b	13,4 a	10,9 b	10,9 b
	Média	5,8 A	14,2 A	14,4 AB	12,9 A	11,8 A
<i>E.camaldulensis</i>	sem	5,5 a	11,2 a	12,5 a	15,0 a	11,0 a
	com	5,8 a	11,2 a	12,8 a	13,2 a	10,8 a
	Média	5,6AB	11,2 B	12,7 B	14,1 A	10,9 A
MSPA (g vaso ⁻¹)						
<i>E.urophylla</i>	sem	9,1 a	26,8 a	32,8 a	29,1 a	24,5 a
	com	6,8 a	26,8 a	24,6 b	22,8 b	20,2 b
	Média	8,0AB	26,8 AB	28,7 A	25,9 AB	22,4 A
<i>E.grandis</i>	sem	6,5 a	29,3 a	30,3 a	30,3 a	24,1 a
	com	4,9 a	22,9 b	21,8 b	23,6 b	18,3 b
	Média	5,7B	26,1 AB	26,1 AB	27,0 AB	21,2 A
híbrido <i>E.urophylla</i> × <i>E.grandis</i>	sem	8,4 a	31,1 a	29,4 a	27,4 a	24,0 a
	com	12,9 a	25,8 a	26,7 a	21,4 b	21,7 a
	Média	10,7 A	28,4 A	28,1 AB	24,4 B	22,9 A
<i>E.camaldulensis</i>	sem	8,8 a	24,3 a	24,9 a	30,2 a	22,0 a
	com	9,7 a	22,9 a	24,4 a	26,6 a	20,9 a
	Média	9,2AB	23,6 B	24,6 B	28,4 A	21,5 A
MSR (g vaso ⁻¹)						
<i>E.urophylla</i>	sem	2,0a	10,4 a	10,4 a	11,3 a	8,5 a
	com	1,8a	9,8 a	10,0 a	9,3 a	7,7 a
	Média	1,9AB	10,1 A	10,2 B	10,3 AB	8,1 A
<i>E.grandis</i>	sem	1,8a	13,0 a	11,5 a	12,1 a	9,6 a
	com	1,4a	8,0 b	13,8 a	10,8 a	8,5 a
	Média	1,6B	10,5 A	12,6 A	11,4 A	9,0 A
híbrido <i>E.urophylla</i> × <i>E.grandis</i>	sem	2,3a	10,9 a	10,5 a	11,3 a	8,7 a
	com	4,2a	9,2 a	10,5 a	11,1 a	8,7 a
	Média	3,2AB	10,0 A	10,5 B	11,2 A	8,7 AB
<i>E.camaldulensis</i>	sem	2,6a	11,1 a	10,3 a	8,5 a	8,1 a
	com	4,6a	9,9 a	9,4 a	9,0 a	8,2 a
	Média	3,6A	10,5 A	9,9 B	8,8 B	8,2 AB

^{1/} sem EH: -0,01 MPa; ^{2/} com EH: -0,10 MPa; ^{3/} Para cada variável e espécie, médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey; para cada variável e entre as espécies, médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

Tabela 3. Resumo da análise de variância dos dados referentes à altura, matéria seca de folhas (MSF), de galhos (MSG), da parte aérea (MSPA), de raízes (MSR) de mudas de eucalipto, aos seis meses de idade

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio				
		Altura	MSF	MSG	MSPA	MSR
Bloco	2	128,2 ^{ns}	17,0*	12,9*	53,2*	24,2**
Espécie de eucalipto (espécie)	3	3533,2**	5,0 ^{ns}	9,8*	14,3 ^{ns}	4,8 ^{ns}
Potencial de água no solo (PA)	1	261,0*	100,4**	43,4**	275,7**	5,1 ^{ns}
Dose de K aplicadas no solo (Dose)	3	3690,6**	478,9**	507,8**	1970,0**	367,3**
Dose x PA	3	38,2 ^{ns}	13,4*	8,9 ^{ns}	42,7*	10,1**
Dose x espécie	9	76,9 ^{ns}	10,2*	6,4 ^{ns}	24,8*	6,6**
PA x espécie	3	55,3 ^{ns}	10,4 ^{ns}	4,7 ^{ns}	25,3 ^{ns}	2,1 ^{ns}
Dose x PA x espécie	3	119,7 ^{ns}	5,1 ^{ns}	2,1 ^{ns}	10,0 ^{ns}	3,7 ^{ns}
Resíduo	62	63,1	4,1	3,5	10,7	2,3
Total	95					
CV (%)		13,2	17,4	17,9	14,9	17,7

^{1/} ** e *: significativo a 1 e 5%, respectivamente; ns: não significativo a 5%.

De modo geral, houve aumento da MSF com o aumento da dose de K, sendo a maior magnitude observada entre a dose de 0 mg dm⁻³ de K e a de 50 mg dm⁻³ de K (Tabelas 2 e 4), havendo efeito significativo para EH, dose de K e para a interação dose de K x EH e EH x espécie (Tabela 3). Em média, não houve diferença significativa para produção de MSF entre as quatro espécies estudadas. O EH afetou a MSF significativamente nas diferentes doses, com exceção do *E.camaldulensis*, que apresentou valores estatisticamente iguais para plantas com e sem EH. Somente na dose de 0 mg dm⁻³ de K, não houve diferença estatística entre plantas com e sem EH para MSF. Isto se deveu, provavelmente, ao crescimento muito limitado destas plantas devido à deficiência de K. Nesta situação, a deficiência aguda de K foi o principal fator limitante para a produção de MSF. Nas demais doses, de maneira geral, a MSF foi maior em plantas sem EH. Os valores máximos estimados para MSF foram maiores em plantas sem EH para todas as espécies (Tabela 4) comparativamente a plantas com EH. Para o *E.camaldulensis*, mesmo os valores médios para plantas com e sem EH sendo iguais, nos modelos ajustados, o valor estimado máximo foi maior para plantas sem EH. Apesar de não ter sido verificada diferença na altura média, para o *E.urophylla*, *E.grandis* e híbrido *E.urophylla* x *E.grandis*, a MSF foi maior em plantas sem EH, o que pôde ser verificado visualmente pela presença de uma copa mais rala, com as folhas apresentando, principalmente em dias mais quentes, sinais de

murchamento. Silveira (2000), estudando a produção de MSF de quatro progênies de *E.grandis*, em função da adubação potássica, também encontrou comportamento diferenciado entre as progênies de acordo com a dose de K aplicada. Este autor mostrou, ainda, que, dependendo da progênie utilizada, poderia haver aumento ou decréscimo na MSF com a aplicação de K. Nesse trabalho, para todas as espécies, houve aumento na MSF com a aplicação de K. De maneira geral, o efeito do suprimento de água ou de nutriente no crescimento é comumente manifestado por meio de mudanças na MSF (Miller, 1995). Limitações em algum desses fatores de crescimento reduz a habilidade das plantas em explorar todos os outros recursos disponíveis.

A MSPA apresentou comportamento diferente ao observado para a variável altura (Tabela 2). *E.urophylla* e *E.grandis*, que apresentaram, em média, valores iguais de altura, foram estatisticamente diferentes para MSPA em plantas com e sem EH. Segundo Schimidt (1995) e Cicolim *et al.* (2002), a diferença na altura entre as espécies nem sempre é suficiente para causar diferenciação na MSPA, o que pode ser explicado pela arquitetura da parte aérea, já que *E.grandis*, *E.urophylla* e híbrido *E.urophylla* x *E.grandis* possuem larga inserção de galhos (ramificação), dando aspecto de “saia”, enquanto o *E.camaldulensis* tem formação diferenciada, pois tem os maiores tamanhos, mas não tem galhos inseridos e sim folhas, tomando a forma de “vareta”. Em média, *E.grandis* foi a espécie que apresentou maior redução na MSPA com o EH (24,1%),

Tabela 4. Equações de regressão relacionando altura, em cm, e matéria seca de folhas (MSF) em g vaso⁻¹, de mudas de quatro espécies de eucalipto, sem e com estresse hídrico (EH), em função da adubação potássica (mg dm⁻³ de K), produção máxima estimada ($\hat{Y}_{\text{máx}}$), doses de K recomendadas para obter (DR) e 90% de (DR90%)

Espécie	EH	Equações	R ²	$\hat{Y}_{\text{máx}}$	DR	DR90%
ALTURA						
<i>E. urophylla</i>	sem ^{1/}	$\hat{Y} = 47,1 + 2,750^{\circ}\sqrt{x} - 0,1310^{\text{ns}}x$	0,99	61,5	110,2	13,3
	com ^{2/}	$\hat{Y} = 35,0 + 3,942^{\circ}\sqrt{x} - 0,132^{\text{ns}}x$	0,93	64,4	-	63,1
	comum	$\hat{Y} = 41,0 + 3,344^{\circ}\sqrt{x} - 0,1311^{\text{ns}}x$	0,97	62,3	162,7	34,3
<i>E. grandis</i>	sem	$\hat{Y} = 31,6 + 3,369^{\circ}\sqrt{x} - 0,0931^{\text{ns}}x$	0,99	62,1	-	98,6
	com	$\hat{Y} = 25,7 + 5,376^{\circ}\sqrt{x} - 0,2500^{\circ}x$	0,99	54,6	115,6	36,9
	comum	$\hat{Y} = 28,6 + 4,372^{\circ}\sqrt{x} - 0,1713^{\text{ns}}x$	0,99	56,5	162,8	49,3
híbrido <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	sem	$\hat{Y} = 38,4 + 6,575^{\circ}\sqrt{x} - 0,3420^{\circ}x$	0,95	70,0	92,4	25,9
	com	$\hat{Y} = 50,7 + 2,331^{\circ}\sqrt{x} - 0,0986^{\text{ns}}x$	0,79	64,5	137,7	13,3
	comum	$\hat{Y} = 44,6 + 4,445^{\circ}\sqrt{x} - 0,2195^{\circ}x$	0,91	67,1	102,5	21,1
<i>E. camaldulensis</i>	sem	$\hat{Y} = 50,5 + 8,3733^{\circ}\sqrt{x} - 0,4100^{\circ}x$	0,86	93,3	104,3	29,6
	com	$\hat{Y} = 56,6 + 4,194^{\circ}\sqrt{x} - 0,1860^{\circ}x$	0,95	80,2	127,1	22,1
	comum	$\hat{Y} = 53,6 + 6,277^{\circ}\sqrt{x} - 0,2980^{\circ}x$	0,89	86,7	110,9	26,4
MSF						
<i>E. urophylla</i>	sem	$\hat{Y} = 5,0 + 2,251^{\circ}\sqrt{x} - 0,0954^{\circ}x$	0,97	18,3	139,2	55,1
	com	$\hat{Y} = 4,3 + 2,251^{\circ}\sqrt{x} - 0,1285^{\circ}x$	0,99	14,2	76,7	29,6
	comum	$\hat{Y} = 4,6 + 2,182^{\circ}\sqrt{x} - 0,1119^{\circ}x$	0,99	15,2	95,1	36,7
<i>E. grandis</i>	sem	$\hat{Y} = 4,0 + 2,760^{\circ}\sqrt{x} - 0,1394^{\circ}x$	0,97	17,7	98,0	40,2
	com	$\hat{Y} = 3,0 + 1,746^{\circ}\sqrt{x} - 0,0758^{\circ}x$	0,98	13,1	132,7	54,3
	comum	$\hat{Y} = 3,6 + 2,248^{\circ}\sqrt{x} - 0,1074^{\circ}x$	0,98	15,4	109,5	44,7
híbrido <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	sem	$\hat{Y} = 4,9 + 2,227^{\circ}\sqrt{x} - 0,1086^{\circ}x$	0,98	16,3	105,1	40,7
	com	$\hat{Y} = 6,7 + 1,379^{\circ}\sqrt{x} - 0,0760^{\circ}x$	0,98	13,0	82,3	24,4
	comum	$\hat{Y} = 5,8 + 1,809^{\circ}\sqrt{x} - 0,0987^{\circ}x$	0,99	14,1	84,0	29,0
<i>E. camaldulensis</i>	sem	$\hat{Y} = 5,5 + 0,873^{\circ}\sqrt{x} - 0,0148^{\circ}x$	0,99	18,4	-	-
	com	$\hat{Y} = 5,8 + 1,052^{\circ}\sqrt{x} - 0,0370^{\circ}x$	0,99	13,3	-	67,7
	comum	$\hat{Y} = 5,6 + 0,966^{\circ}\sqrt{x} - 0,0262^{\circ}x$	0,99	14,5	-	120,9

^{1/} sem EH: -0,01 MPa; ^{2/} com EH: -0,10 MPa; **, * e ° significativo a 1%, 5% e 10% de probabilidade, respectivamente; ns-não-significativo a 5% de probabilidade; - valores estimados fora do espaço experimental.

e *E. camaldulensis* a que apresentou a menor redução (5%). As curvas relacionando MSPA e doses de K para esta espécie foram muito semelhantes (Tabela 5), mostrando que esta espécie, dentre as estudadas, é a mais tolerante ao EH. A ANOVA não mostrou diferença estatística para MSPA entre as espécies, mas apresentou diferenças para EH e para as interações dose de K x EH e dose de K x espécie (Tabela 3). Em média, todas as espécies foram estatisticamente iguais para produção de MSPA (Tabela 2). A MSPA estimada máxima, semelhantemente à altura e MSF, foi sempre maior para plantas sem EH em relação a plantas com EH. *Eucalyptus camaldulensis*, seguido do *E. grandis*, apresentou-se como a espécie mais exigente em K para a obtenção da produção máxima (Tabela 5). Em oposição, híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* foi a espécie menos exigente, pois as doses necessárias para a máxima produção foram bem menores que a das demais espécies. A MSPA estimada máxima para plantas sem EH foi bastante semelhante para

o *E. urophylla*, *E. grandis* e híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* (31,3; 31,7 e 31,3 g vaso⁻¹, respectivamente) e um pouco menor para o *E. camaldulensis* (28,1 g vaso⁻¹). Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Cicolim *et al.* (2002) que, dentre cinco espécies estudadas, verificaram que o nível crítico de implantação de K no solo foi maior para *E. camaldulensis* seguido de *E. grandis*.

A aplicação de EH nas plantas promoveu, em média, redução de 17,5%, 24,1%, 9,6% e 5,0%, respectivamente, na produção de MSPA para *E. urophylla*, *E. grandis*, híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. camaldulensis*. Nautiyal *et al.* (1994) também verificaram redução na MS de plantas de eucalipto com a indução de EH. Esses dados são consistentes com o que é verificado em campo, pois *E. camaldulensis* apresenta-se como uma das espécies mais tolerantes à seca e o *E. grandis*, dentre as quatro espécies estudadas, a menos tolerante. A aplicação de K teve efeito mais significativo

que o EH na produção de MSPA para estas espécies. Em média, houve aumento de 348%, 489%, 270% e 320%, respectivamente para *E. urophylla*, *E. grandis*, híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. camaldulensis* entre a MSPA obtida na dose de 0 mg dm⁻³ de K e a MSPA máxima. Apesar de o *E. camaldulensis* ser a espécie que necessitou de maior aplicação de K para a obtenção da MSPA máxima, *E. grandis* foi a espécie que apresentou o maior ganho de crescimento com a aplicação de K. Segundo Barros *et al.* (1990), a resposta em ganhos de crescimento com a aplicação de fertilizantes variou entre as diferentes espécies de eucalipto.

A MSR não foi afetada significativamente pela aplicação do EH (Tabela 2). Lambers *et al.* (1998) comentam que a parte aérea das plantas responde mais fortemente ao decréscimo no potencial de água no solo

que as raízes. A ANOVA mostrou significância apenas para o efeito da dose de K na MSR. Houve grande aumento na produção de MSR com a aplicação de K. Em oposição, Cicolim *et al.* (2002) verificaram decréscimo na produção de MSR com o aumento da dose de K para algumas espécies e ausência de resposta para outras.

A produção de raízes foi muito limitada na ausência da aplicação de K, havendo ganhos consideráveis de produção com a aplicação. Em média, houve aumento de 542%, 768%, 350% e 288% para *E. urophylla*, *E. grandis*, híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. camaldulensis*, respectivamente, entre a produção obtida na dose de 0 mg dm⁻³ e a MSR máxima estimada (Tabelas 2 e 5). Como observado para a MSPA, a MSR foi mais influenciada pela aplicação de K para o *E. grandis*, isto é, a espécie que obteve maior ganho de crescimento.

Tabela 5. Equações de regressão relacionando matéria seca de raízes (MSR) e da parte aérea (MSPA), em g vaso⁻¹, de mudas de quatro espécies de eucalipto, com e sem estresse hídrico (EH), em função da adubação potássica (mg dm⁻³ de K), produção máxima estimada ($\hat{Y}_{máx}$) e doses recomendadas para obter (DR) e 90% de (DR90%)

Espécie	EH	Equações	R ²	$\hat{Y}_{máx}$	DR	DR90%
MSR						
<i>E. urophylla</i>	sem ^{1/}	$\hat{Y} = 2,1 + 1,546^{**} \sqrt{x} - 0,0643^{*} x$	0,98	11,4	144,5	61,0
	com ^{2/}	$\hat{Y} = 1,8 + 1,649^{**} \sqrt{x} - 0,0798^{**} x$	0,99	10,3	106,7	45,4
	comum	$\hat{Y} = 2,0 + 1,590^{**} \sqrt{x} - 0,0763^{**} x$	0,99	10,3	108,6	45,5
<i>E. grandis</i>	sem	$\hat{Y} = 2,0 + 2,092^{**} \sqrt{x} - 0,0994^{**} x$	0,95	13,0	110,7	47,7
	com	$\hat{Y} = 1,1 + 1,762^{**} \sqrt{x} - 0,0727^{**} x$	0,88	11,8	146,8	65,5
	comum	$\hat{Y} = 1,6 + 1,917^{**} \sqrt{x} - 0,0855^{**} x$	0,99	12,3	125,7	54,9
híbrido <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	sem	$\hat{Y} = 2,4 + 1,587^{**} \sqrt{x} - 0,0690^{**} x$	0,97	11,5	132,2	55,0
	com	$\hat{Y} = 4,2 + 0,945^{**} \sqrt{x} - 0,0321^{o} x$	0,99	11,2	-	77,9
	comum	$\hat{Y} = 3,3 + 1,265^{**} \sqrt{x} - 0,0506^{**} x$	0,99	11,2	156,2	60,7
<i>E. camaldulensis</i>	sem	$\hat{Y} = 2,6 + 1,844^{**} \sqrt{x} - 0,0102^{**} x$	0,99	-	-	-
	com	$\hat{Y} = 4,6 + 1,070^{**} \sqrt{x} - 0,0547^{**} x$	0,98	9,8	95,7	30,7
	comum	$\hat{Y} = 3,6 + 1,462^{**} \sqrt{x} - 0,0785^{**} x$	0,98	10,4	86,7	32,2
MSPA						
<i>E. urophylla</i>	sem	$\hat{Y} = 8,9 + 4,018^{**} \sqrt{x} - 0,1804^{*} x$	0,98	31,3	124,0	48,6
	com	$\hat{Y} = 7,0 + 4,063^{**} \sqrt{x} - 0,2113^{**} x$	0,97	26,5	92,4	36,9
	comum	$\hat{Y} = 8,0 + 4,038^{**} \sqrt{x} - 0,1957^{**} x$	0,99	28,8	106,4	42,0
<i>E. grandis</i>	sem	$\hat{Y} = 6,6 + 4,490^{**} \sqrt{x} - 0,2009^{**} x$	0,99	31,7	124,9	51,9
	com	$\hat{Y} = 5,1 + 3,302^{**} \sqrt{x} - 0,1440^{**} x$	0,97	24,0	131,4	54,5
	comum	$\hat{Y} = 5,9 + 3,900^{**} \sqrt{x} - 0,1727^{**} x$	0,99	27,9	127,5	52,9
híbrido <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	sem	$\hat{Y} = 8,6 + 4,626^{**} \sqrt{x} - 0,2360^{**} x$	0,98	31,3	96,1	38,0
	com	$\hat{Y} = 12,9 + 3,131^{**} \sqrt{x} - 0,1782^{**} x$	0,99	26,7	77,2	24,2
	comum	$\hat{Y} = 10,8 + 3,871^{**} \sqrt{x} - 0,2066^{**} x$	0,99	28,9	87,8	31,7
<i>E. camaldulensis</i>	sem	$\hat{Y} = 9,0 + 2,468^{*} \sqrt{x} - 0,0799^{o} x$	0,98	28,1	-	90,6
	com	$\hat{Y} = 9,8 + 2,380^{**} \sqrt{x} - 0,0851^{*} x$	0,99	26,4	195,5	70,7
	comum	$\hat{Y} = 9,4 + 2,42^{**} \sqrt{x} - 0,0730^{*} x$	0,99	29,5	-	104,5

^{1/} -0,01 MPa ;^{2/} -0,10 MPa; **, * e ° significativo a 1%, 5% e 10% de probabilidade, respectivamente; - valores estimados fora do espaço experimental.

CONCLUSÕES

Das espécies estudadas, o *E. camaldulensis* foi a que apresentou maior crescimento de altura em todos os tratamentos.

O estresse hídrico não afetou significativamente o crescimento de altura do *E. urophylla*, *E. grandis* e do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*, mas reduziu a matéria seca da parte aérea de todas as espécies.

A adição de potássio ao solo afetou fortemente o

crescimento de altura e a produção de matéria seca tanto com e sem estresse hídrico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Cleci Dezordi, a Luciane Stoppa, a Ivan Moura, a Jarede, a Sr Chico, a Amarildo, a Jean Paul Laclau, a Marcos Wichert, a Atus e à Selma, dentre outros, pela valiosa ajuda durante a fase de condução do experimento.

REFERÊNCIAS

- Alvarenga RC, Barros NF, Dantas CES & Lobão DEVP (1994) Efeito do conteúdo de água no solo e da poda de raízes sobre o crescimento de mudas de eucalipto. *Revista Árvore* 18: 107-114.
- Barros NF, Braga JM, Brandi RM & Defelipo BV (1981) Produção de eucalipto em solos de cerrados em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn. *Revista Árvore* 5(1):90-103.
- Barros NF, Novais RF & Neves JCL (1990) Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: Barros NF & Novais RF (Eds) *Relação solo-eucalipto*. Viçosa, Ed. Folha de Viçosa. p.127-186.
- Bellote AFJ & Ferreira CA (1995) Nutrientes minerales y crecimiento de arboles abonadas de *Eucalyptus grandis* en el Estado de São Paulo. *Bosque* 16:69-75.
- Cicolim RA, Teixeira PC & Gonçalves JLM (2002) Crescimento e nutrição de mudas de cinco espécies de eucalipto em função da adubação potássica. In: FERTBIO. Rio de Janeiro, Anais, EMBRAPA. (cd-rom).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos (1997) *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro. 212p.
- Façanha JGV, Oliva MA, Lopes NF & Barros NF (1983) Relação germinação/crescimento em espécies de eucalipto submetidas a estresse hídrico. *Revista Árvore* 17:177-187.
- Gholz HL & Lima WP (1997) The ecophysiological basis for productivity in the tropics. In: Nambiar EKS & Brown AG (Eds) *Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests*. Canberra, ACIAR. p.213-246.
- Gonçalves MR & Passos CAM (2000) Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. *Ciência Florestal* 10:145-161.
- Gonçalves JLM, Raij B van & Gonçalves JC (1996) Florestais. In: Raij B van, Cantarella H, Quaggio JA & Furlani AMC (Eds) *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*, 2 ed. Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC. p.247-259.
- Gonçalves JLM & Valeri SV (2001) Eucalipto e Pinus. In: Ferreira ME, Cruz MCP, Raij B van & Abreu CA *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal, CNPq/FAPESP/POTAFOS. p.393-424.
- Kramer PJ (1983) *Water relations of plants*. New York, Academic Press. 489p.
- Lambers H, Chapin III FS & Pons TL (1988) *Plant physiological ecology*. New York, Springer. 540p.
- Malavolta E, Vitti GC & Oliveira SA (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações*. Piracicaba: Potafós. 304p.
- Marschner H (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. London, Academic Press. 889p.
- Miller HG (1995) The influence of stand development on nutrient demand, growth and allocation. *Plant and Soil* 168/169:225-232.
- Nautiyal S, Badola HK, Pal M & Negi DS (1994) Plant response to water stress: changes in growth, dry matter production, stomatal frequency and leaf anatomy. *Biologia Plantarum* 36:91-97, 1994.
- Novais RF, Rêgo AK & Gomes JM (1980) Nível crítico de potássio no solo e na planta para o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. *Revista Árvore* 4(1): 14-23.
- Oliva MA, Barros NF, Gomes MMS & Lopes NF (1989) Seca de ponteiros de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em relação a estresse hídrico e nutrição mineral. *Revista Árvore* 13:19-33.
- Reis GG & Reis MGF (1993) Competição por luz, água e nutrientes em povoamentos florestais. In: *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Florestal, 1*, Belo Horizonte, Anais... Viçosa, MG, SIF/UFV p.73.
- Sands R & Mulligan DR (1990) Water and nutrient dynamics and tree growth. *Forest Ecology and Management* 30:91-111.
- Schimidt DVC (1995) Crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus grandis* em resposta à fertilização potássica e à calagem. *Dissertação de Mestrado*, Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 57p.
- Sgarbi F, Silveira RLVA, Takahashi E & Camargo MAF (1997) Crescimento e produção de biomassa de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva com omissão de macronutrientes, boro e zinco. In: IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of *Eucalyptus*, Salvador, Anais. v.3.. p.92-97.

- Silveira RLVA (2000) Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden cultivadas em solução nutritiva. Tese de Doutorado, Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 169p.
- Silveira RLVA, Gonçalves AN, Silveira RI & Branco EF (1995) Levantamento nutricional de florestas de *E. grandis* na região de Itatinga/SP. I. Macronutrientes. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25, Viçosa, Resumos expandidos. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 896-898.
- Silveira RLVA, Higashi EN, Gonçalves AN & Moreira A (2000) Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: Diagnose visual, foliar e suas interpretações. In: Gonçalves JLM & Benedetti V (Eds) Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba, IPEF. p.79-104.
- Teixeira PC, Leal PGL, Barros NF & Novais RF (1995) Nutrición potásica y relaciones hídricas en plantas de *Eucalyptus* spp. Bosque 16:61-68.