

TRABALHOS DE PESQUISA
RESEARCH PAPERS



Efeito do potássio na produção de matéria seca e na concentração de putrescina, espermidina e espermina em progênies de *Eucalyptus grandis*

Effect of potassium on dry matter production and concentration of putrescine, spermidine and spermine in *Eucalyptus grandis* progenies

Ronaldo Luiz Vaz de Arruda Silveira
Eurípedes Malavolta
Fernando Broetto

RESUMO: O estudo teve por objetivo determinar os efeitos do potássio sobre a produção de matéria seca e a concentração de putrescina, espermina e espermidina de quatro progênies de *Eucalyptus grandis*. As plantas foram cultivadas até 67 dias após o transplântio em solução nutritiva contendo 175,5 mg L⁻¹ de K. A partir desta idade, iniciou-se o cultivo das progênies em quatro doses de potássio (0; 58,5; 175,5 e 526,5 mg L⁻¹). As soluções nutritivas foram trocadas quinzenalmente. Aos 9 meses de cultivo nas doses de potássio, fez-se uma amostragem das folhas diagnóstico (5ª e 6ª folha a partir do ápice dos ramos) para determinar a concentração de putrescina, espermidina e espermina. Passados dez meses de cultivo nas doses de potássio, as plantas foram colhidas e separadas em folhas (novas, diagnóstico e velhas), ramos, casca e lenho. Posteriormente, cada parte da planta foi colocada em saco de papel identificado e levada para secagem em estufa até atingir peso constante, visando determinar a produção de matéria seca. Nas folhas diagnóstico realizou-se análise química para determinar a concentração de K, Ca e Mg. Concluiu-se que, para a produção de matéria seca total, os materiais genéticos de *E. grandis* responderam de maneira diferenciada à aplicação de potássio, sendo duas progênies consideradas responsivas e duas não responsivas, confirmando os resultados obtidos nas condições de campo. A deficiência de K acarretou o acúmulo de putrescina em nível tóxico nas folhas diagnóstico de todas as progênies, mas não teve efeito sobre a concentração de espermidina e de espermina. O acúmulo de putrescina foi inversamente relacionado com a produção de matéria seca total nas duas progênies consideradas responsivas.

PALAVRAS CHAVE: *Eucalyptus grandis*, Potássio, Solução nutritiva, Putrescina, Espermina, Espermidina

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the effects of potassium on dry matter production and concentration of putrescine, spermidine and spermine from four *Eucalyptus grandis* progenies. Young plants were grown during 67 days in nutrient solution containing 175,5 mg L⁻¹ K. Afterwards they received four K doses (0; 58.5; 175.5 and 526.5 mg L⁻¹). The nutrient solutions were changed fortnightly. After nine months the plants were as to sampled the diagnostic leaves (5th and 6th leaf starting from the apex of the branches) to determine the concentration of putrescine, spermidine and spermine. After ten months under the K treatments, the plants were harvested and split into leaves (new, diagnostic and old), branches, bark and stem. Each part was placed in identified paper bags and dried until constant weight, in order to determine dry matter production. Diagnostic leaves were analysed to determine the concentration

of K, Ca and Mg. It was concluded that the genetic material of *E. grandis* showed differential response in dry matter production due to the K application. Two progenies were not responsive and two were responsive to increased K doses. Potassium deficiency caused accumulation of putrescine in the leaves of all progenies, but, there was no effect on either the spermidine or spermine content. Putrescine accumulation was inversely related with the total dry matter production in responsive progenies.

KEYWORDS: *Eucalyptus grandis*, Potassium, Nutritive solution, Putrescine, Spermidine, Spermine

INTRODUÇÃO

As poliaminas estão envolvidas no processo da divisão celular (Maki et al., 1991), nos processos de desenvolvimento e crescimento (Smith, 1985 e Evans e Malmberg, 1989), na senescência (Smith, 1985 e Galston e Kaur-Sawhney, 1990) e na regulação do metabolismo dos ácidos nucléicos (Kaur-Sawhney e Galston, 1991).

As plantas nutricionalmente estressadas apresentam aumento da biossíntese de di e poliaminas, principalmente putrescina. Em diversas plantas, a carência de potássio induz ao acúmulo da diamina putrescina nas folhas conforme relatado pelo trabalho pioneiro de Richards e Coleman (1952) em cevada, por Crocomo et al. (1974) em *Phaseolus vulgaris*, Crocomo e Basso (1974) em *Sesamum* e Zaidan et al. (1999) em *Musa* sp. No entanto, poucos estudos mostram a relação entre o potássio e a concentração de putrescina em espécies florestais, principalmente para as do gênero *Eucalyptus*. A maioria dos trabalhos foram realizados com *Pinus sylvestris*, *Picea abies* e *Populus maximowiczii* (Lauchert e Wild, 1995; Sarjala, 1996; Sarjala e Kaunisto, 1993 e 1996). Entretanto, a carência de potássio é uma das mais comumente encontradas nos povoamentos de

eucalipto, conforme demonstrado em levantamentos nutricionais realizados nas regiões de Itatinga, SP, Capão Bonito, SP e Lençóis Paulista, SP (Bellote e Ferreira, 1993; Silveira et al., 1998 e 1999).

Em relação à espermidina e espermina, Sarjala e Kaunisto (1993 e 1996) encontraram um leve decréscimo dessas aminas em acículas de *Pinus sylvestris* com baixa concentração de potássio, porém, não significativo. Resultados semelhantes foram obtidos por Sarjala (1996) em mudas de *Pinus sylvestris*, onde baixos níveis de espermidina e espermina foram obtidos em condições de deficiência de potássio. Entretanto, incrementos de espermina nas acículas de *Picea abies* foram encontrados na deficiência de potássio (Kaunisto e Sarjala, 1997), indicando que a resposta da espermina às concentrações de potássio em *Picea abies* parece ser diferente da observada em *Pinus sylvestris* por Sarjala e Kaunisto (1993 e 1996) e Sarjala (1996).

Os objetivos do presente estudo foram determinar os efeitos do potássio e de genótipos de *E. grandis* sobre a produção de matéria seca e a concentração de putrescina, espermidina e espermina nas folhas.

MATERIAL E MÉTODOS

Seleção das progênies

As progênies de *E. grandis*, origem Coffs Harbour utilizadas, foram provenientes do pomar

de semente clonal, de 2ª geração, da Companhia Suzano de Papel e Celulose. Foram esco-

lhidas 2 progênies consideradas não responsivas (Progênies 1 e 4) e 2 progênies responsivas à adubação potássica (Progênies 2 e 3), com base em resultados de experimentos de campo.

Cultivo das plantas em solução nutritiva

As mudas foram produzidas em tubetes contendo substrato "Plantmax". Quando atingiram 110 dias de idade, foram transplantadas para baldes plásticos de 15 L contendo sílica moída, sendo irrigadas na primeira semana com uma solução nutritiva contendo (mg L^{-1}): 42 de N, 6,2 de P, 46,8 de K, 40 de Ca, 9,6 de Mg, 12,8 de S, 0,1 de B, 0,02 de Cu, 0,8 de Fe, 0,2 de Mn e 0,04 de Zn. No período de 14 até 67 dias após o transplante, as mudas foram irrigadas diariamente com uma solução nutritiva contendo 175 mg L^{-1} de K (Tabela 1), a qual foi renovada a cada 15 dias. Após esse período, foi realizada a lavagem do substrato com água destilada para remover os nutrientes retidos na sílica. Em seguida, ini-

Tabela 1. Composição química dos tratamentos que foram usados no experimento (mL L^{-1}).

(Chemical composition of the treatments used in the experiment (mL L^{-1})).

Soluções Estoque		Tratamentos (mg L^{-1} de K)			
		0	58,5	175,5	526,5
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	M ^A	5	5	5	5
$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	M	2	2	2	2
NH_4NO_3	M	2	2	2	-
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	M	1	1	1	-
KCl	M	-	1,5	4,5	7,5
KNO_3	M	-	-	-	5
KH_2PO_4	M	-	-	-	1
Micronutrientes ^B		1	1	1	1
Fe-EDTA ^C		1	1	1	1

A – soluções molares; B - A solução de micronutrientes teve a seguinte composição (g L^{-1}): $\text{H}_3\text{BO}_3 = 2,94$; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} = 2,43$; $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O} = 0,07$; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O} = 0,21$; $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0,02$; C – Foram dissolvidos 26,1 g de EDTA dissódico em 286 ml de NaOH e misturaram-se 24,9 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$. A solução foi arejada por uma noite e foi completada para 1 litro com água destilada.

ciou-se o cultivo das plantas em solução nutritiva, contendo todos os nutrientes (N, P, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn), com exceção do potássio, que foi testado nos níveis de (mg L^{-1}): 0; 58,5; 175,5 e 526,5 (Tabela 1). As plantas cultivadas na ausência de potássio foram inicialmente irrigadas com $19,5 \text{ mg L}^{-1}$ de K. Entretanto, a avaliação de altura e diâmetro das mudas realizada aos 3 meses após o cultivo em doses de potássio mostrou que não havia diferença significativa entre a dose de $19,5 \text{ mg L}^{-1}$ de K e as doses de 58,5 e $175,5 \text{ mg L}^{-1}$ de K. Diante dos resultados optou-se, a partir dessa data, pelo cultivo das mudas na ausência de potássio em vez de $19,5 \text{ mg L}^{-1}$ de K. As plantas foram irrigadas uma vez ao dia, no período da manhã. A drenagem das soluções foi feita através de orifícios no fundo de cada vaso, ligados com tubos plásticos aos frascos coletores com capacidade de 1 litro. A renovação da solução foi feita a cada 15 dias, tomando-se o cuidado de verificar diariamente o nível da solução nos frascos coletores, completando o volume a um litro pela adição de água destilada.

Determinação da matéria seca produzida e a concentração de K, Ca e Mg

Após 10 meses do início dos tratamentos, as plantas foram coletadas e separadas em folhas novas (4 primeiras folhas localizadas nos ramos a partir do ápice), folhas diagnóstico (5^a e 6^a folha) de acordo com Silveira et al. (1999), folhas velhas (situadas abaixo da 6^a folha), ramos, casca e lenho. As partes das plantas foram submetidas a uma lavagem rápida com água destilada e postas para secagem ao ar livre. Em seguida, cada parte da planta foi colocada em sacos de papel e levada para secagem em estufa de ventilação forçada a uma temperatura média de 65°C , até atingir peso constante. Posteriormente, determinou-se o peso de cada parte seca da planta e a produção de matéria seca total.

As amostras das folhas diagnóstico secas e moídas foram digeridas em mistura de ácido nítrico e perclórico, para a obtenção dos extratos, visando a determinação do potássio (fotometria de chama), cálcio e magnésio (espectrometria de absorção atômica), conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

Determinação da putrescina, espermidina e espermina

Cerca de 30 dias antes do término do experimento (9 meses de cultivo nas doses de potássio), amostraram-se folhas consideradas diagnóstico para o estado nutricional (5^a e 6^a folha a partir do ápice), com o objetivo de realizar as análises para determinação das concentrações de putrescina, espermidina e espermina. Após a coleta, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas até o liofilizador, onde permaneceram por 48 horas a -50°C . Posteriormente, o material seco foi moído e mantido em dissecador durante 90 dias até o início das análises.

A putrescina e as poliaminas espermidina e espermina foram extraídas, isoladas e quantificadas de acordo com a metodologia descrita por Flores e Galston (1982).

Extração: 100 mg de material seco foram macerados em 5 mL de ácido perclórico em uma bandeja contendo gelo. Em seguida, fez-se a centrifugação durante 10 minutos a $10.000 \times g$, a 4°C , sendo que o sobrenadante (extrato perclórico) foi coletado e estocado em freezer a -20°C .

Dansilação direta e separação por cromatografia de camada delgada: O extrato perclórico foi pipetado na quantidade de $200\mu\text{L}$ e colocado em tubos de ensaio, juntamente com $200\mu\text{L}$ de uma solução saturada de carbonato de sódio (NaHCO_3) e $400\mu\text{L}$ de cloreto de dansil (5-[Dimetilamino]naftaleno 1-sulfonil cloreto) diluído em acetona (5mg mL^{-1}). Os tubos de ensaio

foram mantidos no escuro, à temperatura ambiente por 16 horas. Logo após, adicionou-se $100\mu\text{L}$ de prolina (100mg mL^{-1}) e incubou-se por 25 minutos para remover o excesso de dansil. A extração das poliaminas dansiladas foi realizada em $500\mu\text{L}$ de benzeno, após agitação durante 30 segundos em vortex, coletando-se a fase orgânica. Foram usadas placas de vidro cromatográficas ($20 \times 20\text{cm}$) cobertas com silicagel 60 G-Merck ($250\mu\text{m}$ de espessura), as quais haviam sido ativadas a 180°C por 1 hora. Sobre as placas aplicaram-se $5\mu\text{L}$ do extrato dansilado. O cromatograma foi desenvolvido em cubas de vidro, utilizando-se clorofórmio: trietilamina (25:2, v/v) como fase móvel. A separação cromatográfica foi acompanhada de luz ultra-violeta (366 nm Original Hanau Quartzlampen GMBH). Padrões de putrescina, espermina e espermidina foram processados paralelamente nas mesmas condições experimentais, sendo aplicados na placa $7,5\mu\text{L}$ (9 nmoles) de uma mistura contendo os três padrões das aminas, com 3 nmoles de cada. As placas desenvolvidas na cromatografia foram secas e submetidas à leitura da intensidade de fluorescência, utilizando-se um densitômetro (Cliniscan II – Helena Laboratories). Pela ativação dos compostos dansilados com a luz UV a 365 nm, mediu-se a intensidade de fluorescência das manchas a 507 nm. A interpretação e execução dos cálculos quantitativos foram feitas a partir dos resultados fornecidos pelo densitômetro ao sobrepor a integração dos picos referentes a cada amina das amostras, com aquelas integrações obtidas com os picos dos padrões de putrescina, espermidina e espermina.

Delineamento estatístico

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4^2 (4 materiais genéticos de *Eucalyptus grandis* x 4 doses de K), com 5 repetições. Foram feitas análises de variância, regressões entre as do-

ses de K na solução nutritiva e a produção de matéria seca total, as doses de K na solução nutritiva e a concentração de putrescina, espermidina e espermina nas folhas diagnóstico, concentração de potássio nas folhas diag-

nóstico e a concentração de putrescina, espermidina e espermina e concentração de putrescina nas folhas diagnóstico e a produção de matéria seca total.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de matéria seca total

A Tabela 2 mostra a porcentagem de cada parte da planta na produção de MS total. Nota-se que a progênie 3 teve um comportamento diferenciado, apresentando maior participação de lenho na produção da MS total (37% do total) quando comparada às demais. Esta progênie também apresentou menor porcentagem de folhas em relação ao acúmulo total de MS.

Tabela 2. Porcentagem média de participação da matéria seca de cada parte da planta na produção de matéria seca total das progênies de *Eucalyptus grandis*.

(Medium percentage of the dry matter from each part of the plant in the total dry matter production of *Eucalyptus grandis* progenies).

Material genético	Folhas	Ramos	Casca		Lenho
			%		
Progênie 1	32,0	21,6	15,5	30,9	
Progênie 2	34,2	20,7	14,6	30,5	
Progênie 3	28,3	18,6	16,0	37,1	
Progênie 4	33,8	19,5	13,4	33,3	
Média	32,1	20,1	14,9	32,9	

Em termos ainda de produção de MS total, a progênie 4 não foi considerada responsiva à adição de K no meio até a dose de 193,4 mg L⁻¹, sendo que acima deste nível ocorreram quedas acentuadas na produção (Figura 1). Para a progênie 1, houve tendência de queda na produção com o aumento da dose de K, mostrando que esse genótipo apresenta baixa exigência em potássio quando comparado aos demais. Esses resultados confirmam aqueles obtidos em condições de campo em relação às progênies 1 e

4, ou seja, baixa resposta à aplicação de K. As progênies 2 e 3 apresentaram comportamento parecido em relação à dose de K, com resposta à aplicação deste elemento. Pelas equações de regressão foram estimadas as máximas produções de matéria seca total, as quais foram obtidas com as doses de 268,7 e 276,2 mg L⁻¹ de K para as progênies 2 e 3, respectivamente. No entanto, esses dois genótipos diferiram em relação aos ganhos em produtividade, uma vez que a progênie 3 apresentou diferença de 35% quando se comparou a máxima produção obtida com K em relação à obtida na ausência de potássio, enquanto que na progênie 2, a diferença foi de apenas 24%.

Tais resultados obtidos para essas progênies corroboram com os relatados por Barros et al. (1981), Valeri et al. (1991), Galo (1993) e Gava (1997), os quais obtiveram aumentos na produtividade do *Eucalyptus* através da aplicação de potássio, em condições de campo. O único diferencial entre esses resultados e os do presente trabalho está no ganho obtido com a adição de potássio. Os aumentos de produção em volume de madeira alcançados com a adubação potássica variaram de 67% para *E. saligna* no cerrado de Minas Gerais no trabalho de Barros et al. (1981) até 118% para *E. grandis* no sul do Estado de São Paulo, conforme Gava (1997). Portanto, os aumentos de produtividade nas condições de campo foram maiores que os obtidos para as progênies 2 e 3 neste estudo. A explicação para isto seria a diferença de idade entre as

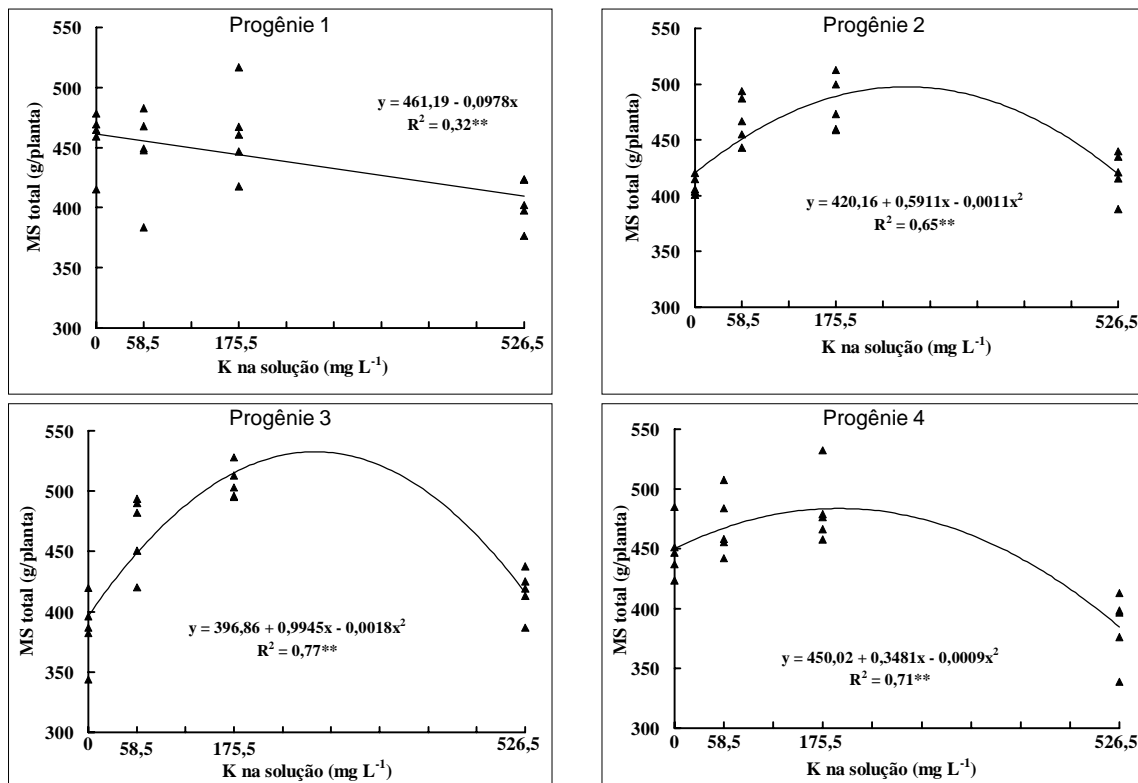


Figura 1. Produção de matéria seca total das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

(Total dry matter production of the *Eucalyptus grandis* progenies as a function of the potassium doses in the nutrient solution).

plantas do presente estudo (fase juvenil - 1 ano de idade) e as dos estudos de campo (5-7anos), sendo que a maior exigência de potássio ocorre na fase adulta do *Eucalyptus*, ou seja, com o aumento da idade, segundo Barros et al. (1990).

Putrescina e poliaminas

O aparecimento de manchas necróticas nas folhas de plantas deficientes em potássio é resultado do acúmulo de putrescina em nível tóxico. Na Figura 2 foi possível visualizar as bandas correspondentes à diamina putrescina e às poliaminas espermidina e espermina nas folhas diagnóstico das progênies de *E. grandis* em função das doses de potássio. O aparecimento das manchas correspondentes à putrescina foi evidente quando as plantas foram cultivadas na

ausência de potássio para todos os materiais genéticos e na dose de 58,5 mg L⁻¹ na progênie 3. Tais resultados corroboram os obtidos em cevada por Richards e Coleman (1952), em *Phaseolus vulgaris* por Crocomo et al. (1974), *Seasamum* por Crocomo e Basso (1974), em *Populus maximowiczii* por Houman et al. (1991), em *Pinus silvestris* por Sarjala e Kaunisto (1993 e 1996), *Picea abies* por Kaunisto e Sarjala (1997) e em *Musa sp* por Zaidan et al. (1999).

A espermidina e a espermina nas folhas das progênies apareceram em quantidades pequenas, independentemente da dose de K utilizada, não ocorrendo correlações significativas entre estas e a concentração de K na solução nutritiva. A amplitude de variação encontrada para a espermidina foi de 0,6 a 2,0 mmol g⁻¹ de MS para as progênies 1 e 4; 0,4 a 1,8 mmol g⁻¹ de

MS para a progênie 2 e 0,6 a 2,1 mmol g⁻¹ de MS para a progênie 3. Já em relação à espermina, as variações nas concentrações foram de: 0,4 a 1,2 mmol g⁻¹ de MS para a progênie 1; 0,4 a 1,3 mmol g⁻¹ de MS para a progênie 2; 0,4 a 1,4 mmol g⁻¹ de MS para a progênie 3 e 0,5 a 1,2 mmol g⁻¹ de MS para a progênie 4. Os valores para estas duas amins foram bem abaixo dos encontrados para a putrescina nas doses de 0 e 58,5 mg de K L⁻¹. Resultados similares foram obtidos por Sarjala e Kaunisto (1993 e 1996), que encontraram leve decréscimo nas concentrações de espermina e espermidina nas acículas de *Pinus sylvestris* em função do aumento da concentração de potássio, porém, sem nenhum efeito significativo estatisticamente. Entretanto, resultados opostos foram observados em *Picea abies*, sendo que incrementos nos níveis de espermina ocorreram nas plantas deficientes em K (Kaunisto e Sarjala, 1997).

Houve interação entre as doses de K e os materiais genéticos para a concentração de putrescina nas folhas diagnóstico (Figura 3). Na ausência e na dose de 175,5 mg L⁻¹ de K, as progênies não apresentaram diferenças quanto ao nível de putrescina nas folhas. Mas, na dose de 58,5 mg L⁻¹ de K, constatou-se que a progê-

nie 3 acumulava mais putrescina nos tecidos quando comparada com a progênie 1, não havendo diferença significativa em relação às progênies 2 e 4. Já para a dose mais alta de potássio, a progênie 4 apresentou maior concentração da diamina quando confrontada com a progênie 3, a qual não diferiu estatisticamente das demais. Sem levar em consideração a dose de K, as variações na concentração de putrescina foram pequenas e insignificantes entre os materiais genéticos.

As reduções no nível de putrescina com o aumento do fornecimento de potássio até 175,5 mg L⁻¹ foram de aproximadamente 38 vezes para a progênie 1, 27 vezes para a progênie 2, 33 vezes para a progênie 3 e 25 vezes para a progênie 4. Tais resultados também foram encontrados por Houman et al. (1991), em *Populus maximowiczii*, que verificaram decréscimo de até 25 vezes na concentração de putrescina quando compararam a ausência de potássio com a dose de 117 mg L⁻¹ de K.

Com o aumento do fornecimento de potássio ocorreu uma diminuição na concentração de putrescina até a dose de 175,5 mg L⁻¹, para todos os genótipos. No entanto, para as progênies 1, 2 e 4, não houve alteração da concentra-

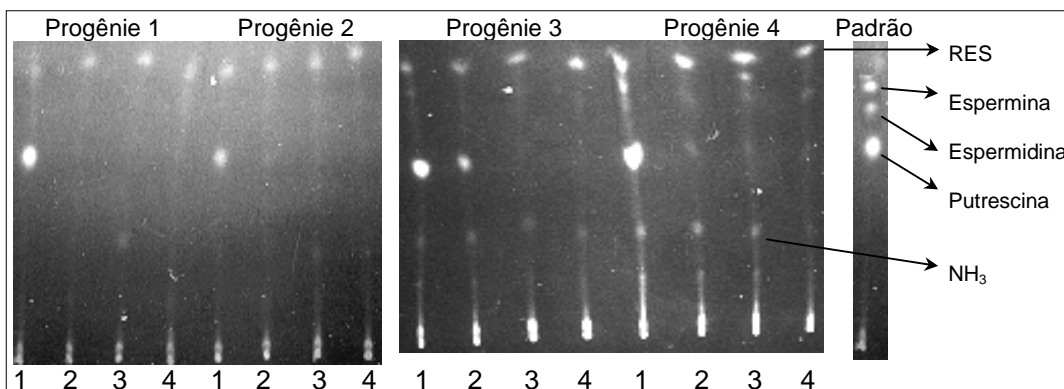


Figura 2. Cromatografia de camada delgada de poliaminas dansiladas nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva. Os números 1, 2, 3 e 4 correspondem, respectivamente, as doses de 0, 58,5, 175,5 e 526,5 mg de K L⁻¹. A sigla RES significa resíduo de dansil.

(Dansyl polyamines chromatography of a thin layer in diagnostic leaves of the *Eucalyptus grandis* progenies in function of the potassium doses in the nutrient solution. The numbers 1, 2, 3 and 4 correspond to the doses 0, 58.5, 175.5, and 526.5 mg of K L⁻¹, respectively. The acronym RES means a dansyl residue).

ção de putrescina com o aumento da dose de K de 175,5 para 526,5 mg L⁻¹, contrário ao verificado para a progênie 3 (Figura 3). A concentração foliar de putrescina nas progênies cultivadas na ausência de potássio estava abaixo das encontradas em tecidos deficientes e necrosados de cevada por Smith (1963), cujos valores estavam em torno de 140 mmol de putrescina g⁻¹ de MS.

A Figura 4 mostra a relação entre a concentração de putrescina e a de potássio nas folhas diagnóstico. Em todos os materiais genéticos, houve uma tendência a decréscimo linear da concentração de putrescina até o valor de 5 g de K kg⁻¹. Resultados semelhantes foram encontrados por Sarjala e Kaunisto (1996) em *Pinus sylvestris*, os quais obtiveram uma estabilização da concentração de putrescina para concentrações de K nas acículas acima de 5 g kg⁻¹ e au-

mentos exponenciais para valores de K menores que 4,3 g kg⁻¹. Em *Picea abies*, Kaunisto e Sarjala (1997) também verificaram uma correlação negativa entre a concentração de K nas folhas e o nível de putrescina, com relação linear para valores até 4,2 g kg⁻¹ de K. Lauchert e Wild (1995) constataram uma correlação negativa entre a concentração de putrescina e o teor de K nas folhas de *Picea abies*, sendo que esta correlação estendia-se para valores de K nas folhas acima do limite da faixa de deficiência, contrário ao observado por Kaunisto e Sarjala (1997).

Como era de se esperar, ocorreram incrementos na relação K/putrescina nas folhas com o aumento da dose de K na solução (Figura 5A). Na ausência de potássio, a relação variou de 0,56 na progênie 1 até 0,93 na progênie 4, en-

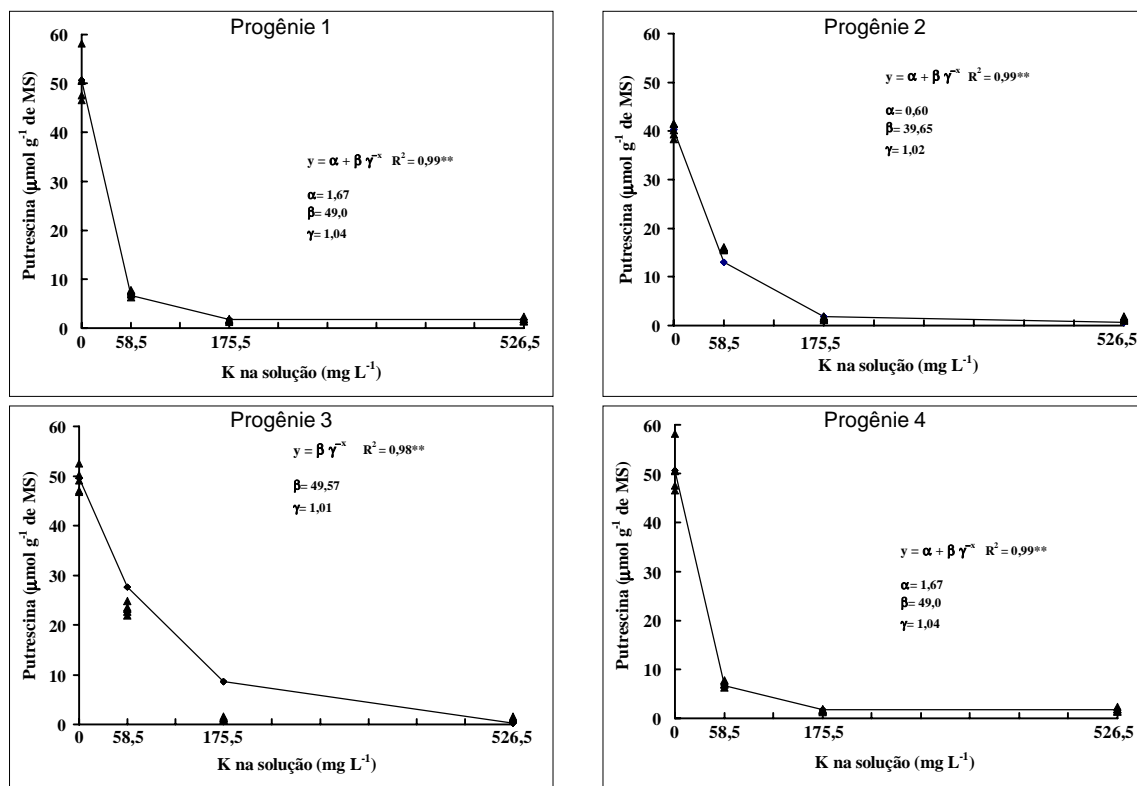


Figura 3. Concentração de putrescina nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

(Putrescine concentration in the diagnostic leaves of the *Eucalyptus grandis* progenies in function of the potassium doses in the nutrient solution).

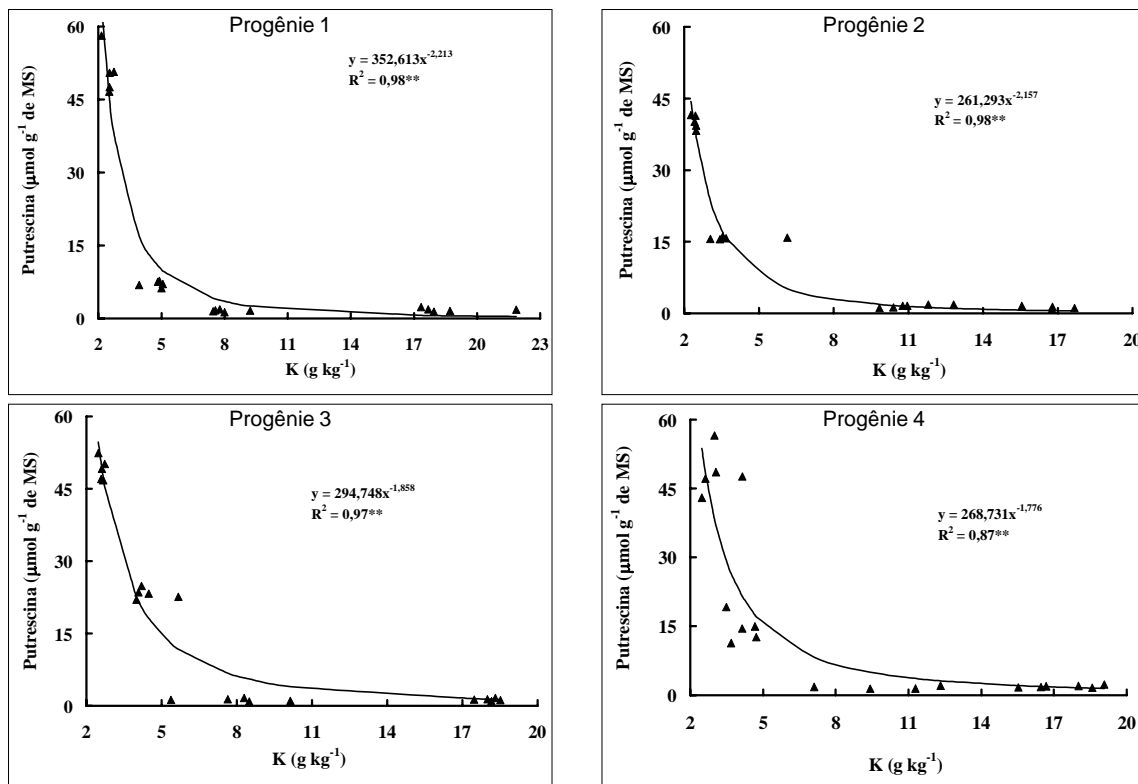


Figura 4. Relação entre a concentração de putrescina e a de potássio nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis*.

(Relationship between the putrescine and potassium concentration in diagnostic leaves of the *Eucalyptus grandis* progenies).

quanto que na dose mais elevada variou de 109 na progênie 4 a 168 na progênie 3. Verifica-se ainda que na ausência de potássio, a porcentagem de putrescina em relação à concentração de K+Ca+Mg variou de 23,5% na progênie 1, 16,6% na progênie 2, 22,1% na progênie 3 e 17,4% na progênie 4. Já nas doses mais altas de potássio, as porcentagens de putrescina não ultrapassaram 1% (Figura 5B).

Portanto, nas condições de deficiência de potássio, o déficit de cátion estaria sendo balanceado pela putrescina em até 23,5%, no caso da progênie 1. Esses resultados são concordantes com os de Murty et al. (1971) e Smith (1984), que verificaram que pelo menos 30% do déficit de cátion na deficiência de potássio poderia ser balanceado pela putrescina.

O acúmulo de putrescina em plantas deficientes pode ser explicado pelo mecanismo proposto por Coleman e Richards (1956). A carência de potássio altera o balanço interno entre cátions e ânions inorgânicos, esperando-se com isso um aumento da acidez do suco celular, o que não ocorre. Portanto, esses autores sugeriram que o acúmulo de putrescina operaria como um mecanismo para manter o pH a um valor fisiologicamente adequado. O efeito da putrescina na manutenção do pH celular é um dos mecanismos propostos da sua atuação, sendo o fator relevante nos estudos de nutrição mineral, especialmente com potássio, conforme demonstrado neste trabalho.

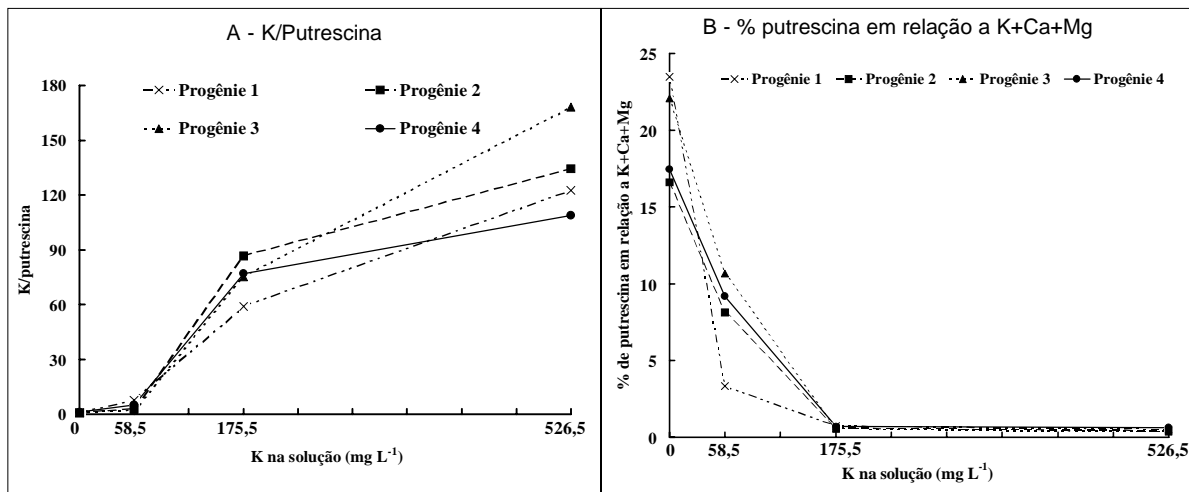


Figura 5. Valores médios da razão K/putrescina (A) e da porcentagem de putrescina em relação a K+Ca+Mg (B) nas folhas diagnósticas das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

(Medium values of the K/putrescine relation (A) and the putrescine percentage in relation to K+Ca+Mg (B) in diagnostic leaves of the *Eucalyptus grandis* progenies in function of potassium doses in the nutrient solution).

Relação entre a concentração de putrescina e a produção de matéria seca total

Não houve relação significativa entre o acúmulo de putrescina e a produção de matéria seca total para as progênies 1 e 4 (Figura 6). Comportamentos semelhantes ocorreram para a produção de matéria seca total em função das doses de K na solução para essas mesmas progênies. Para a progênie 3, obteve-se que quanto

maior o teor de putrescina nas folhas, menor era a produção de MS. Em relação à progênie 2, verificou-se que quando as concentrações de putrescina situavam-se na faixa de 0 a 20 mmol g⁻¹ ocorreram pequenas variações na produção de MS, sendo que reduções de MS ocorreram somente em valores próximos de 40 mmol g⁻¹.

CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado o experimento, os resultados permitem concluir que:

- ✓ Para a produção de matéria seca total, os materiais genéticos de *Eucalyptus* responderam de maneira diferenciada à aplicação de potássio, sendo as progênies 2 e 3 consideradas responsivas e as progênies 1 e 4 não responsivas, comprovando as observações nas condições de campo;

- ✓ A deficiência de potássio causou acúmulo de putrescina em nível tóxico nas folhas diagnósticas de todas as progênies estudadas;

- ✓ As concentrações de espermina e espermidina não foram afetadas pelas doses de potássio na solução nutritiva;

- ✓ acúmulo de putrescina nas folhas diagnósticas não afetou a produção de matéria seca total das progênies consideradas não responsivas à aplicação de potássio (1 e 4).

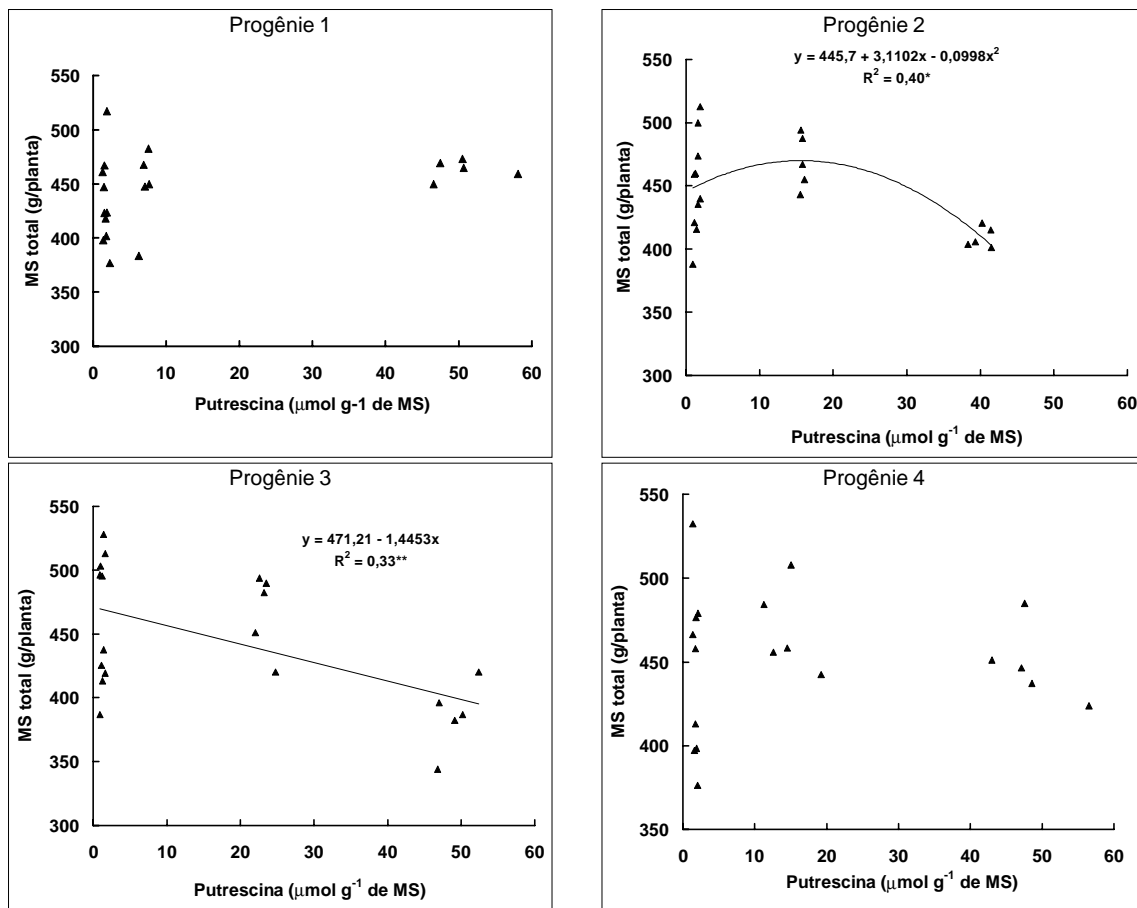


Figura 6. Relação entre a produção de matéria seca total e a concentração de putrescina nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis*.

(Relationship between the total dry matter production and the putrescine concentration in diagnostic leaves of the *Eucalyptus grandis* progenies).

AUTORES E AGRADECIMENTOS

RONALDO LUIZ VAZ DE ARRUDA SILVEIRA é Assessor do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF/ESALQ/USP – Caixa Postal 530 – 13400-970 – Piracicaba, SP – E-mail: rlvasilv@carpa.ciagri.com.br

EURÍPEDES MALAVOLTA é Pesquisador do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas - CENA/USP – Caixa Postal 9 – 13400-900 – Piracicaba, SP. E-mail: mala@cena.usp.br

FERNANDO BROETTO é Professor do Departamento de Bioquímica - UNESP/Botucatu –

Caixa Postal 237 – 18600-000 – Botucatu, SP. E-mail: broetto@laser.com.br

Os autores agradecem à Companhia Suzano de Papel e Celulose nas pessoas dos Eng. Shinitiro Oda e Eng. Eduardo José de Mello pelo fornecimento das mudas das progênies de *E. grandis* e à Cleusa Pereira Cabral, CENA/USP pelo auxílio nas análises químicas.

Este trabalho é parte da tese de doutorado do primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, N.F.; BRAGA, J.M.; BRANDI, R.M.; DEFELIPO, B.V. Produção de eucalipto em solos de cerrado em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn. **Revista árvore**, v.5, n.1, p.90-103, 1981.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F., ed. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. cap.4, p.127-86.
- BELLOTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A. Nutrientes minerais e crescimento de árvores adubadas de *Eucalyptus grandis*, na região do cerrado, no Estado de São Paulo. **Boletim pesquisa florestal**, v.26/27, p.17-65, 1993.
- COLEMAN, R.G.; RICHARDS, F.J. Physiological studies in plant nutrition: 18— some aspects of nitrogen metabolism in barley and other plants in relation to potassium deficiency. **Annals of botany**, v.20, n.2, p.393-409, 1956.
- CROCOMO, O.J.; BASSO, L.C. Accumulation of putrescine and related aminoacids in potassium deficient *Sesamum*. **Phytochemistry**, v.13, p.2659-2665, 1974.
- CROCOMO, O.J.; CATTINI, M.A.; ZAGO, E.A. Acúmulo de aminas e aminoácidos em relação ao nível de potássio em folhas de feijão (*Phaseolus vulgaris*). **Arquivos de biologia e tecnologia**, v.17, n.1, p.93-102, 1974.
- EVANS, P.T.; MALMBERG, R.L. Do polyamines have roles in plant development? **Annual review of plant physiology and plant molecular biology**, v.40, p.235-269, 1989.
- FLORES, H.E.; GALSTON, A.W. Analysis of polyamines in higher plants by high performance liquid chromatography. **Plant physiology**, v.69, n.4, p.701-706, 1982.
- GALO, M.V. **Resposta do eucalipto à aplicação de potássio em solo de cerrado**. Viçosa, 1993. 40p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa
- GALSTON, A.W.; KAUR-SAWHNEY, R. Polyamines in plant physiology. **Plant physiology**, v.94, n.2, p.406-410, 1990.
- GAVA, J.L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. **Série técnica IPEF**, v.11, n.30, p.84-94, 1997.
- HOUMAN, F.; GODBOLD, D.L.; MAJCHERCZYK, A.; SHASHENG, W.; HÜTTERMANN, A. Polyamines in leaves and roots of *Populus maximowiczii* grown in differing levels of potassium and phosphorus. **Canadian journal of forest research**, v.21, n.12, p.1748-1751, 1991.
- KAUNISTO, S.; SARJALA, T. Critical needle potassium concentration indicated by diamine putrescine in Norway spruce growing on peat soils. **Silva fennica**, v.31, n.4, p.383-390, 1997.
- KAUR-SAWHNEY, R.; GALSTON, A.W. Physiological and biochemical studies on the antisenescence properties of polyamines in plants. In: SLOCUM, R.D.; FLORES, H.E., ed. **Biochemistry and physiology of polyamines in plants**. Boca Raton: CRC Press, 1991. cap.14, p.201-211.
- LAUCHERT, U.; WILD, A. Studies on the correlation of putrescine and potassium contents in the needles of spruce trees. **Journal of plant physiology**, v.147, n.2, p.267-269, 1995.
- MAKI, H.; ANDO, S.; KODAMA, H.; KOMAMINE, A. Polyamines and the cell cycle of *Catharanthus roseus* cells in culture. **Journal of plant physiology**, v.96, n.4, p.1008-1013, 1991.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- MURTY, K.S.; SMITH, T.A.; BOULD, C. The relation between the putrescine content and potassium status of black currant leaves. **Annals of botany**, v.35, n.6877, p.695, 1971.
- RICHARDS, F.J.; COLEMAN, R.G. Occurrence of putrescine in potassium-deficient barley. **Nature**, v.170, n.4324, p.460, 1952.
- SARJALA, T. Growth, potassium and polyamine concentration of Scots pine seedlings in relation to potassium availability under controlled growth conditions. **Journal of plant physiology**, v.147, n.5, p.593-598, 1996.
- SARJALA, T.; KAUNISTO, S. Effect of different potassium sources on the seasonal variation of potassium and free polyamines in Scots pine needles. **Silva fennica**, v.30, n.4, p.387-398, 1996.
- SARJALA, T.; KAUNISTO, S. Needle polyamine concentration and potassium nutrition in Scot pine. **Tree physiology**, v.13, n.1, p.87-96, 1993.

- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; GONÇALVES, A.N.; MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: diagnose visual, foliar e suas interpretações. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZAÇÃO E NUTRIÇÃO FLORESTAL, Piracicaba, 1999. **Trabalhos**. Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP, 1999. (CD Rom).
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; POMPERMAYER, P.N. **Monitoramento nutricional do *Eucalyptus* na região de Capão Bonito, SP: relatório técnico**. Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP, 1998. 92p.
- SMITH, T.A. L-Arginine carboxylase of higher plants and its relation to potassium nutrition. **Phytochemistry**, v.2, p.241-245. 1963.
- SMITH, T.A. Polyamines. **Annual review of plant physiology and plant molecular biology**, v.36, p.117-143, 1985.
- SMITH, T.A. Putrescine and inorganic and ions. **Recent advances in phytochemistry**, v.18, p.7-54, 1984.
- VALERI, S.V.; CORRADINI, L.; AGUIAR, I.V. Efeitos de níveis de NPK e calcário dolomítico na produção volumétrica de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Científica**, v.19, n.1, p. 63-70, 1991.
- ZAIDAN, H.A.; BROETTO, F.; OLIVEIRA, E.; GALLO, L.A.; CROCOMO, O.T. Influence of potassium nutrition and the nitrate/ammonium ratio on the putrescine and spermidine contents in banana vitroplants. **Journal of plant nutrition**, v.22, n.7, p.1123-1140, 1999.

