

# Nutrição e Adubação Potássica em *Eucalyptus*<sup>1</sup>

Ronaldo Luiz Vaz de Arruda Silveira<sup>2</sup>

José Luiz Gava<sup>3</sup>

Eurípedes Malavolta<sup>4</sup>

## I. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro é constituído pelas indústrias de papel e celulose, carvão vegetal, madeira serrada, chapas, aglomerados, resinas e óleos essenciais. Esse setor é responsável por 2 milhões de empregos diretos e indiretos, sendo de destacar que, nesse conjunto, o manejo de florestas plantadas alcança 25% do total (500 mil empregos diretos e indiretos). No ano de 2001, a atividade florestal correspondeu a 4,5% do PIB, o que equivale a US\$ 28 bilhões.

As exportações do setor totalizaram US\$ 5,4 bilhões em 2001, 8% do total do país. Analisados separadamente, alguns de seus componentes ocupam posição destacada na pauta brasileira de produtos exportados. Assim, os derivados de papel e celulose são o segundo item entre os produtos industrializados, com geração de divisas superiores a US\$ 2,5 bilhões. O Brasil tornou-se exportador de celulose e as vendas externas desse produto alcançaram US\$ 1,2 bilhões em 2001. Entre os produtores mundiais de celulose, o Brasil já ocupa o sétimo lugar e, é o maior produtor mundial da celulose de eucalipto, produzindo 8 milhões de toneladas em 2002, sendo cerca de 6 milhões de toneladas de fibra curta (CEPEA, 2002).

A madeira, matéria-prima utilizada pelo setor florestal, é obtida normalmente a partir de plantios homogêneos realizados com espécies de pinus e eucalipto. A elevada utilização do eucalipto nos reflorestamentos brasileiros ocorreu pelo seu rápido crescimento e por sua boa adaptação às condições edafo-climáticas do país. A área reflorestada com eucalipto no Brasil está apresentada na Tabela 1. Atualmente, os plantios com eucalipto no Brasil estão em torno de 3 milhões de hectares, sendo aproximadamente 70% concentrados nos Estados de Minas Gerais e São Paulo.

**Tabela 1.** Área reflorestada com espécies de eucalipto em alguns Estados do Brasil até 1999.

Estado	Área (ha)	%
Amapá	12.500	0,4
Bahia	213.400	7,2
Espírito Santo	152.330	5,1
Mato Grosso do Sul	80.000	2,7
Minas Gerais	1.535.290	51,7
Pará	45.700	1,5
Paraná	67.000	2,2
Santa Catarina	41.550	1,4
São Paulo	574.150	19,3
Rio Grande do Sul	115.900	3,9
Outros	128.060	14,5
<b>Total</b>	<b>2.965.880</b>	<b>100</b>

Fonte: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000.

Os reflorestamentos no Brasil têm se concentrado em solos arenosos ou então em solos de textura média a argilosa com baixa reserva de nutrientes, acidez elevada e altos teores de alumínio (Al). Nesses solos, a deficiência de potássio tem sido comumente encontrada conforme levantamentos nutricionais realizados por Bellote e Ferreira (1993); Silveira *et al.* (1995d), Silveira *et al.* (1995b), Silveira *et al.* (1998), Silveira *et al.* (1999), Sgarbi e Silveira (2001), Silveira *et al.* (2001a), Silveira *et al.* (2002a) e Silveira *et al.* (2003a e 2003b). A deficiência desse macronutriente aparece numa maior frequência quando comparada a dos demais macronutrientes em Neossolos quartzarênicos e Latossolos, exceção feita para os argissolos e Espodosolos da região Sul da Bahia, onde a deficiência de cálcio, nitrogênio e fósforo são mais frequentes que a de potássio (Silveira *et al.*, 2000a e Silveira *et al.*, 2001a). Os levantamentos nutricionais já realizados no Estado de São Paulo, nas regiões de Angatuba, Capão Bonito, Mogi-Guaçu, Casa Branca, Itirapina e Itatinga/SP, e Lençóis Paulista/SP mostraram que independentemente do material genético, todas as florestas avaliadas apresentavam deficiência de K. A importância da correção potássica nesses solos foi confirmada pelo trabalho pioneiro de Gava (1997) na região de Angatuba/SP, onde a aplicação de 256 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> proporcionou aumentos de 118% em volume de madeira em relação à testemunha.

Considerando que a deficiência de potássio está distribuída por extensos plantios de *Eucalyptus* spp limitando economicamente a produtividade, torna-se necessário que algumas medidas sejam adotadas como: a seleção de genótipos que sejam mais eficientes na absorção e utilização de potássio; determinação da dose econômica adequada de potássio em função do tipo de solo e do material genético; adoção de monitoramento nutricional, em florestas com idade entre 12 e 24 meses, para identificação de deficiências nutricionais; determinação da melhor forma e época de aplicação de potássio para a correção da deficiência; avaliação dos efeitos das relações do potássio com outros nutrientes na produtividade, especialmente Ca e Mg e verificação da relação entre a adubação potássica e a qualidade do produto florestal.

## 2. FUNÇÕES DO POTÁSSIO NA PLANTA

### 2.1. Ativação enzimática e síntese de proteína

O potássio não faz parte de nenhum composto orgânico, não desempenhando função estrutural na planta. Um grande número de enzimas são dependente ou ativadas pelo potássio, destacando-se as sintetases, oxiredutases, desidrogenases, transferases, quinases e aldolases (Mengel & Kirkby, 1978; Marschner, 1995 e Malavolta *et al.*, 1997). O potássio

<sup>1</sup>Capítulo do livro "Potássio na Agricultura Brasileira", POTAFOS.

<sup>2</sup>Consultor na área de Solos e Nutrição Florestal. RR Agroflorestal S/C Ltda - Rua Alfredo Guedes, 1949, Sala 802, Piracicaba/SP, 13416-901. [ronaldo@rragroflorestal.com.br](mailto:ronaldo@rragroflorestal.com.br)

<sup>3</sup>Engenheiro responsável pela área de Solos e Nutrição da Companhia Suzano de Papel e Celulose - Av. Dr. José Lembo, 1010, Itapetininga/SP, 18207-780. [jgava@suzano.com.br](mailto:jgava@suzano.com.br)

<sup>4</sup>Pesquisador do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Caixa Postal 96, Piracicaba/SP, 13400-970. [mala@cena.usp.br](mailto:mala@cena.usp.br)

ainda está envolvido na síntese de proteínas: plantas com baixos teores de potássio apresentam baixo teor protéico, com acúmulo de compostos de baixo peso molecular como aminoácidos, amidas, aminas e nitratos. Além disso, a deficiência de potássio provoca também o aumento do teor de carboidratos solúveis, decréscimo no conteúdo de amido e acúmulo de nitrogênio solúvel.

O potássio atua no metabolismo (ativação da sintetase do amido, sintetase fosfato sacarose e outras enzimas) e transporte de carboidratos (Mengel & Kirkby, 1978; Malavolta, 1980; Marschner, 1995; Malavolta *et al.*, 1997). Normalmente, as plantas deficientes em potássio apresentam acúmulo de açúcares hexoses e decréscimo de carboidratos de maior cadeia como amido e sacarose nas folhas (Evans & Sorger, 1966 citado por Huber, 1985), como consequência da menor atividade da sintetase de fosfato sacarose. Segundo Marschner (1995), existe relação inversa entre a concentração de potássio e o conteúdo de açúcares nos tecidos.

As poliaminas estão envolvidas no processo da divisão celular (Maki *et al.*, 1991), nos processos de desenvolvimento e crescimento (Smith, 1985 e Evans & Malmberg, 1989), na senescência (Smith, 1985 e Galston & Kaur-Sawhney, 1990) e na regulação do metabolismo dos ácidos nucleicos (Kaur-Sawhney & Galston, 1991). As plantas deficientes em potássio apresentam aumento na intensidade da biossíntese da putrescina (diamina). Silveira *et al.* (2001b) verificaram que as progênies de *E. grandis* deficientes em potássio apresentavam acúmulo tóxico dessa diamina nas folhas (Figura 1), porém, não se constatou nenhum acúmulo das poliaminas espermina e espermidina. O aumento do fornecimento de potássio reduziu a concentração de putrescina em todas as progênies com uma tendência de queda linear da concentração até o valor de 5 g de K kg<sup>-1</sup> (Figura 2). Como era de se esperar ocorreram incrementos na relação K/putrescina nas folhas como o aumento das doses de potássio na solução (Figura 3A). Na ausência de K, a relação variou de 0,56 a 0,93 dependendo do material genético analisado, enquanto que na dose mais elevada variou de 109 a 168. Verifica-se que na ausência de potássio, a porcentagem de putrescina em relação a soma de bases (K+Ca+Mg) variou de 16,6 a 23,5% e, na dose mais alta não ultrapassou 1% (Figura 3 B).

Na deficiência de potássio, o déficit de cátion é balance-

ado pela putrescina. Segundo Coleman & Richards (1956) a falta desse macronutriente altera o balanço interno entre cátions e ânions inorgânicos, esperando-se com isso um aumento da acidez do suco celular, o que acaba não correndo, uma vez que essa diamina operaria como um mecanismo para manter o pH a um valor fisiologicamente adequado. Portanto, em condição de bom suprimento de potássio, ocorre inibição das enzimas que catalisam a síntese da putrescina a partir da arginina via agmatina, mostrando a função do potássio na manutenção do pH citoplasmático e sua relação direta ou indireta com a síntese de enzimas.

## 2.2. Fotossíntese

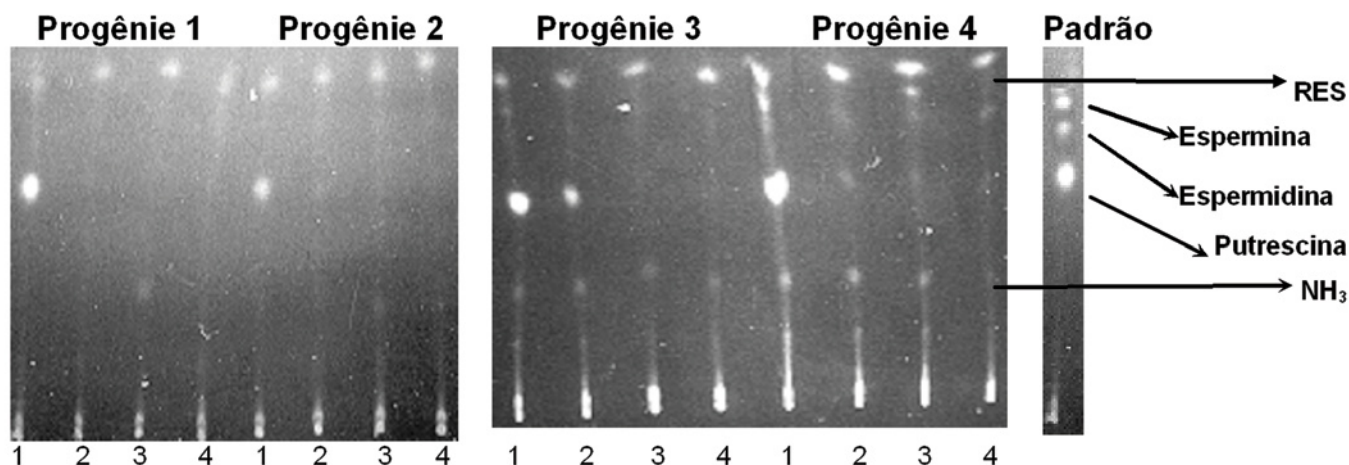
O potássio está envolvido na fotossíntese. Na carência de K, verifica-se redução na taxa fotossintética por unidade de área foliar, e também maiores taxas de respiração. A combinação desses fatores pode reduzir as reservas de carboidratos da planta (Pretty, 1982). Um suprimento inadequado de potássio também faz com que os estômatos não se abram regularmente, podendo ocorrer menor assimilação de CO<sub>2</sub> nos cloroplastos, diminuindo consequentemente a taxa fotossintética.

O decréscimo da fotossíntese em condições de estresse hídrico é menor quando as plantas estão bem supridas de potássio (Marschner, 1995).

O aumento do conteúdo de potássio nas folhas proporciona maior atividade da carboxilase RuBP e maior taxa fotossintética devido a uma menor assimilação de CO<sub>2</sub> nos sítios catalíticos da enzima. Além disso, plantas com baixo nível de potássio apresentam maiores taxas respiratórias. Isso evidencia a participação do potássio na fotossíntese através da sua função na regulação estomática (Marschner, 1995).

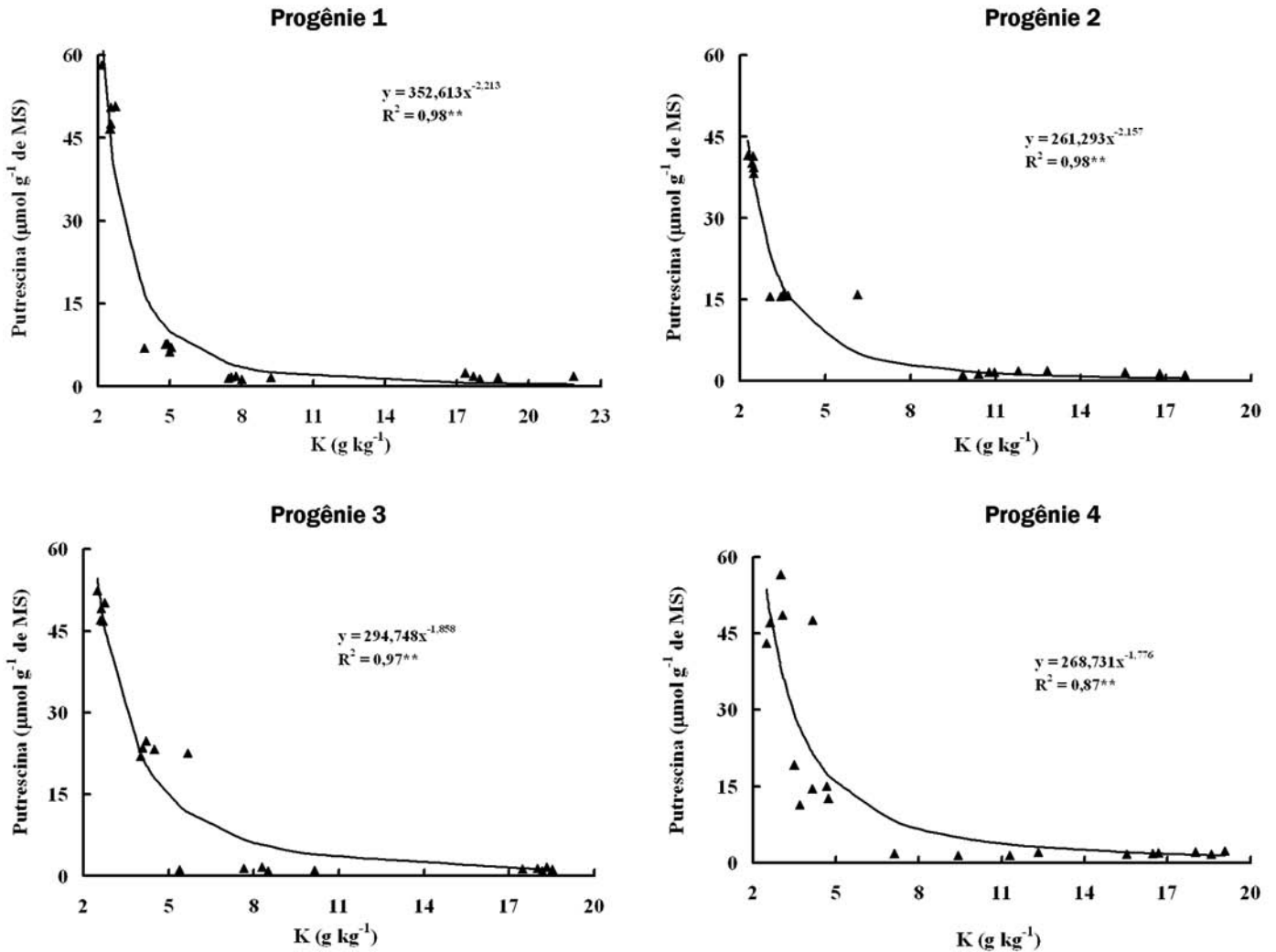
## 2.3. Controle osmótico

O potássio atua no controle osmótico das células. Plantas deficientes em potássio apresentam menor turgor, pequena expansão celular, maior potencial osmótico, abertura e fechamento dos estômatos de forma irregular (Mengel & Kirkby, 1978 e Malavolta *et al.*, 1997). Outro efeito atribuído ao K é que plantas bem nutridas são mais resistentes a secas e geadas, em razão da maior retenção de água.

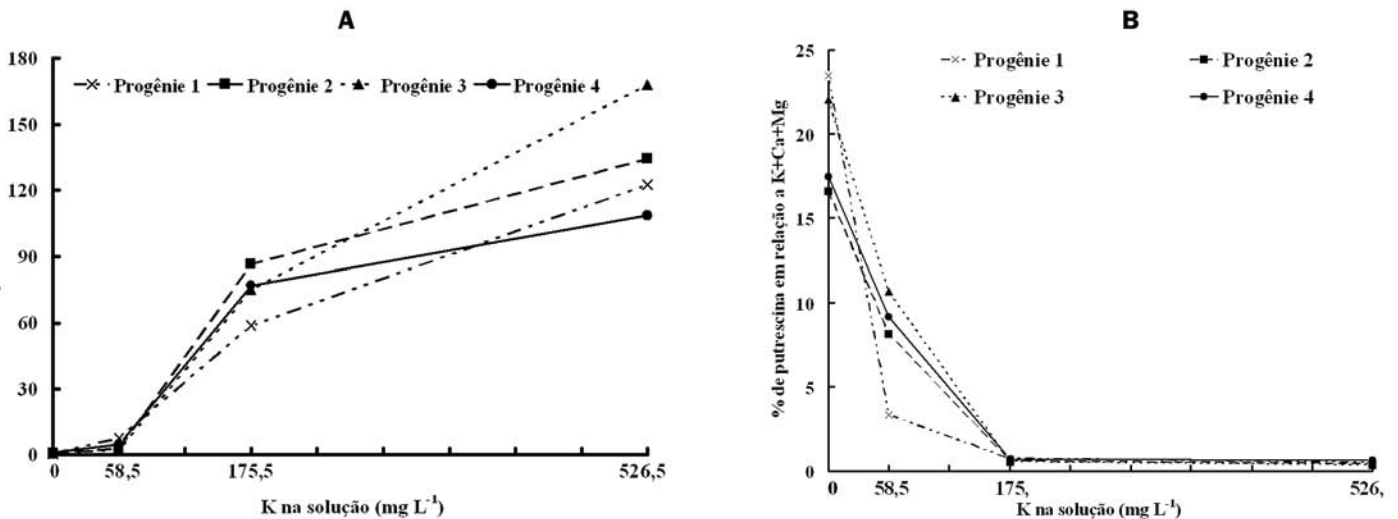


**Figura 1.** Cromatografia de camada delgada de poliaminas dansiladas nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva. Os números 1, 2, 3 e 4 correspondem, respectivamente, as doses de 0, 58,5, 175,5 e 526,5 mg de K L<sup>-1</sup>. A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

Fonte: Silveira *et al.* (2001).



**Figura 2.** Relação entre a concentração de putrescina e a de potássio nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis*. Fonte: Silveira *et al.* (2001).



**Figura 3.** Valores médios da razão K/putrescina (A) e da porcentagem de putrescina em relação a K+Ca+Mg (B) nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

A expansão celular é resultado do acúmulo de potássio nas células, que é requerido para estabilizar o pH do citoplasma e aumentar o potencial osmótico do vacúolo (Marschner, 1995).

O potássio associado a um anion (Cl<sup>-</sup> ou malato) são responsáveis pela mudança de turgor nas células guardas durante a abertura e fechamento dos estômatos. O aumento da concentração de potássio nas células guardas eleva o

potencial osmótico delas e resulta numa absorção de água das células adjacentes, com conseqüente aumento no turgor das células guardas, abrindo dessa forma os estômatos (Marschner, 1995).

Teixeira *et al.* (1995) estudaram o efeito da nutrição potássica nas relações hídricas de diversas espécies e híbridos de *Eucalyptus*. Numa primeira investigação, os resultados mostraram que o maior conteúdo de potássio em Latosso-

lo foi importante para a manutenção do turgor das plantas. Em condições de estresse hídrico sob fornecimento de potássio, a média da concentração relativa de água nas folhas das espécies de *Eucalyptus* foi de 81,7% contra somente 67,3% na ausência do elemento. Sob condições de capacidade de campo, não houve grandes diferenças entre as espécies quanto a turgência das folhas (Tabela 2). Os autores comentam ainda que a concentração relativa de água nas folhas se mostrou altamente correlacionada com a matéria seca total das plantas e a área foliar. Os híbridos apresentaram diferentes comportamentos quanto as combinações de nível de água e potássio nos solos. Os maiores efeitos do potássio sob condições de estresse hídrico foram observados nos híbridos de *E. pellita* x *E. urophylla* e *E. grandis* x *E. camaldulensis* e não houve nenhum efeito sobre *E. urophylla* x *E. pellita*. Isso mostra a importância da seleção das espécies a serem hibridadas em função do comportamento que se deseja obter.

Os resultados de outro estudo realizado por Teixeira *et al.* (1995) mostraram haver diferenças consideráveis entre as espécies de *Eucalyptus* quanto à eficiência de utilização da água (Tabela 3). O maior conteúdo de potássio na solução nutritiva aumentou a eficiência de utilização de água de forma mais acentuada em *E. citriodora* e *E. camaldulensis*. Essas espécies foram menos eficientes que *E. tereticornis*, *E. saligna* e *E. urophylla* e *E. grandis* em baixo fornecimento de

potássio, porém, mais eficiente quando se aumentou a dose de potássio. Tanto *E. citriodora* como *E. camaldulensis* apresentaram aumento da transpiração quando supridas com baixo nível de potássio. O comportamento de *E. cloeziana* foi semelhante a essas duas espécies, já *E. saligna* apresentou um comportamento contrário, onde a maior transpiração foi observada na maior dose de potássio.

#### 2.4. Transporte no Floema

O potássio assume papel importante no transporte da sacarose e dos fotossintetizados das folhas para os órgãos de armazenamento. Nesse caminho, os produtos assimilados passam por três sistemas: a) difusão no simplasto e espaço livre; b) transporte ativo através da membrana citoplasmática para o floema; c) fluxo passivo pelos tubos crivosos. O potássio influencia os três processos, em particular os dois últimos (Header, 1977 citado por Malavolta & Crocomo, 1982). Em relação ao último processo, Marschner (1995) relata que a função do potássio é manter o pH alto nos tubos crivosos, facilitando assim o transporte da sacarose. Portanto, um suprimento adequado de potássio aumenta a síntese de carboidratos em razão da maior taxa fotossintética, bem como, da eficiência de translocação desses compostos.

**Tabela 2.** Concentração relativa de água nas folhas de híbridos de *Eucalyptus* influenciada por níveis de potássio e umidade do solo.

Híbridos	Níveis de potássio (mg kg <sup>-1</sup> )			
	0		150	
	Estresse hídrico	Capacidade de campo	Estresse hídrico	Capacidade de campo
	(%)			
G* x T	68,1	80,5	78,8	89,7
T x G	61,2	87,3	79,5	90,2
U x P	84,7	79,5	69,8	91,3
P x U	49,8	85,5	82,6	87,6
U X G	62,4	82,2	76,6	93,1
G x U	72,3	87,1	90,6	92,5
C x U	72,1	89,9	83,8	92,3
U x C	74,5	88,9	89,0	91,2
G x C	60,5	86,8	84,8	95,7
<b>Média</b>	<b>67,3</b>	<b>85,3</b>	<b>81,7</b>	<b>91,5</b>

\* G = *E. grandis*; T = *E. tereticornis*; U = *E. urophylla*; P = *E. pellita*; C = *E. camaldulensis*. Fonte: Teixeira *et al.* (1995).

**Tabela 3.** Eficiência de utilização e consumo de água por unidade de área foliar de diferentes espécies de *Eucalyptus* submetidas a doses de potássio na solução nutritiva.

Espécie	Eficiência de utilização de água (g L <sup>-1</sup> )		Consumo de água (ml cm <sup>-2</sup> )	
	----- Nível de potássio na solução nutritiva (mg kg <sup>-1</sup> ) -----			
	7	70	7	70
<i>E. urophylla</i>	2,827	2,643	1,185	1,267
<i>E. pellita</i>	2,335	3,068	1,761	1,317
<i>E. grandis</i>	2,804	3,384	1,357	1,124
<i>E. tereticornis</i>	3,200	3,041	1,562	1,253
<i>E. cloeziana</i>	1,560	2,003	3,040	2,370
<i>E. citriodora</i>	2,652	4,764	1,695	0,944
<i>E. camaldulensis</i>	2,705	4,458	5,543	1,610
<i>E. saligna</i>	2,916	1,938	0,871	2,609
<b>Média</b>	<b>2,629</b>	<b>3,162</b>	<b>1,748</b>	<b>1,561</b>

Fonte: Teixeira *et al.* (1995).

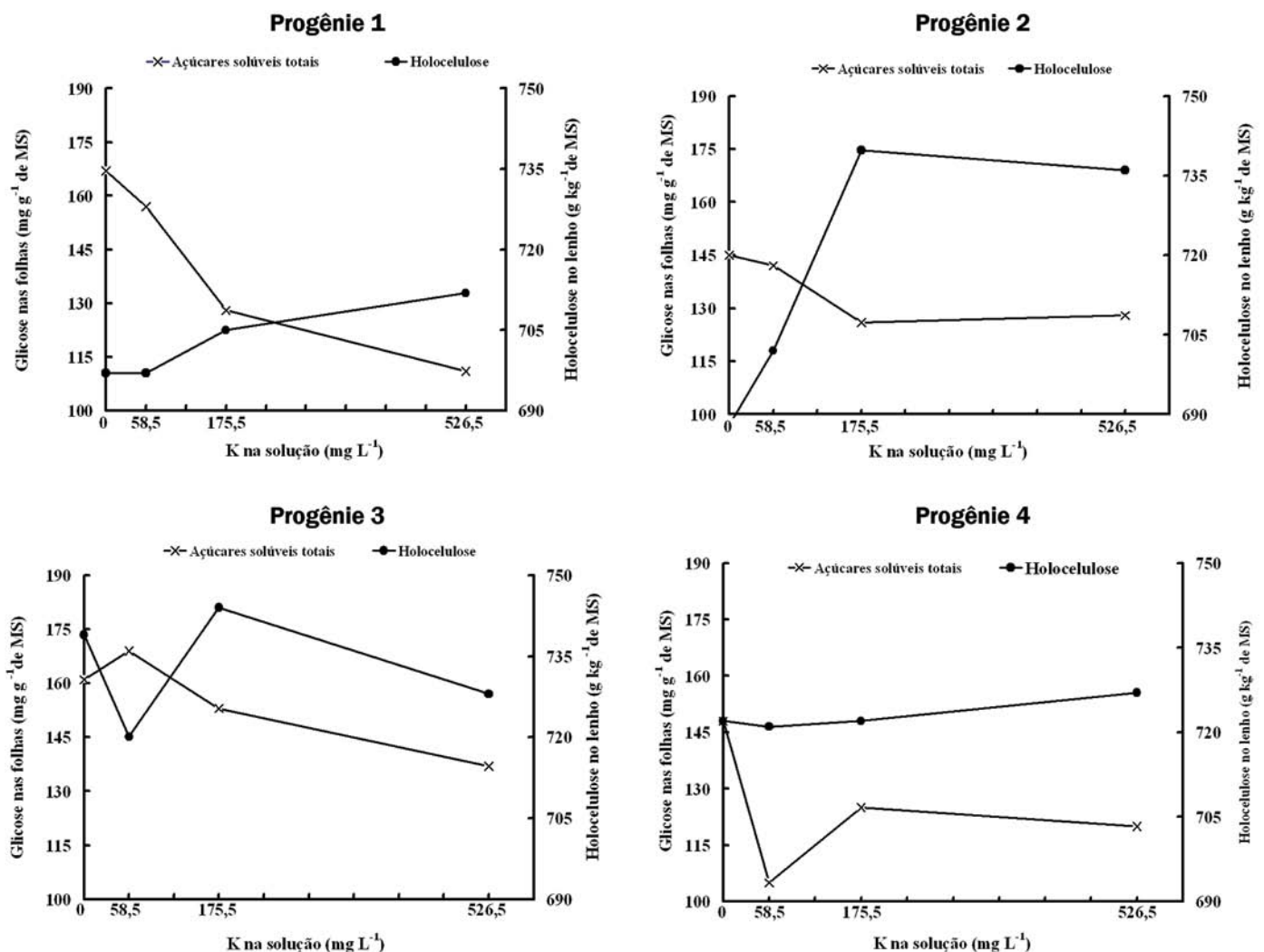
Silveira & Malavolta (2003c) estudaram o efeito do potássio sobre o teor de açúcares solúveis nas folhas e holocelulose no lenho de quatro progênies de *Eucalyptus*. Os autores verificaram que os aumentos na concentração de holocelulose no lenho estavam relacionados com os decréscimos de açúcares solúveis nas folhas a medida que se aumentava o fornecimento de potássio às plantas das progênies 1, 2 e 3 (Figura 4). A hipótese seria que com o aumento da dose de potássio, estaria ocorrendo um maior transporte de carboidratos solúveis das folhas para o lenho, resultando consequentemente num maior acúmulo de celulose e hemicelulose no lenho. Esses resultados evidenciam a importância do potássio no transporte de fotossintetizados das folhas para os órgãos de armazenamento. Sugere-se que novos estudos sejam realizados em condições de campo para avaliar esse efeito sobre a produção de celulose em idades mais avançadas.

### 2.5. Defesa

O potássio está envolvido também nos mecanismos de defesa das plantas a pragas e doenças. As plantas bem nutridas em potássio apresentam redução na incidência, severidade e danos causados por insetos e fungos. A explicação seria que altas concentrações de K nos tecidos

favorecem a síntese e o acúmulo de compostos fenólicos, os quais atuam como inibidores de insetos e fungos (Huber & Arny, 1985; Perrenoud, 1990). Outra explicação seria que plantas deficientes apresentam tecidos menos enrijecidos, como consequência da menor espessura da cutícula e da parede celular, menor formação de tecidos esclerenquimatosos, menor lignificação e suberização (Ellet, 1973; Perrenoud, 1990). Além disso, na deficiência de potássio ocorre menor síntese de compostos de alto peso molecular (proteína, amido e celulose), favorecendo o acúmulo de compostos de baixo peso molecular (açúcares solúveis, aminoácidos e N solúvel) como resultado do aumento da atividade de enzimas decompositoras (amilase, sacarase, glucosidase e protease). O acúmulo desses compostos altera o equilíbrio osmótico das células e sua concentração é aumentada nos exsudados liberados pelas plantas, favorecendo o desenvolvimento de pragas e doenças.

As plantas bem nutridas em potássio apresentam maior síntese de material para a formação da parede celular. Frequentemente, as paredes são mais espessas devido a maior deposição de celulose e compostos relativos, promovendo maior estabilidade e um aumento da resistência das plantas ao acamamento e as infestações de doenças e pragas (Pretty, 1982; Beringer & Nothdurft, 1985).



**Figura 4.** Concentração de açúcares solúveis totais nas folhas diagnóstico e de holocelulose no lenho das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

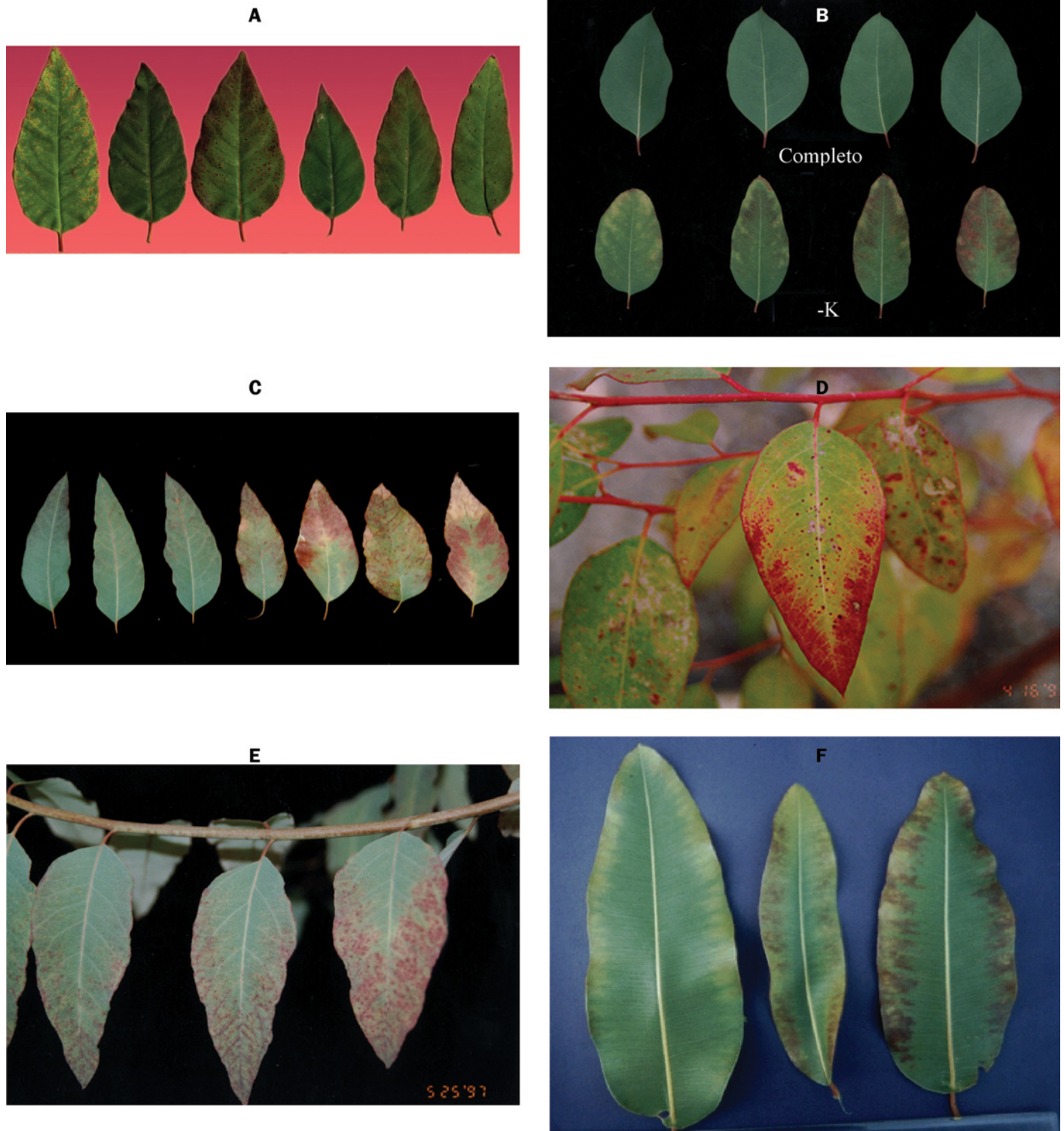
Fonte: Silveira & Malavolta (2003).

### 3. SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE POTÁSSIO

O potássio tem alta redistribuição nos tecidos, por isso, os sintomas de carência surgem nas folhas mais velhas (Malavolta *et al.*, 1997). No estágio inicial da deficiência aparecem manchas cloróticas nos espaços entre as nervuras e espalhadas irregularmente por toda a superfície foliar. Com a evolução dos sintomas, as manchas se unem formando faixas cloróticas ou avermelhadas nas margens das folhas velhas, com posterior necrose dos tecidos (Will, 1961; Kaul *et al.*, 1966, 1968, 1970a e 1970b; Rocha Filho *et al.*, 1978; Dell *et al.*, 1995; Dell, 1996; Silveira *et al.*, 1996, 1997 e 2000c; Silveira & Malavolta, 2000). No estágio mais avan-

çado, a presença de clorose e necrose ocorre até nas folhas mais jovens, enquanto que as folhas velhas enroscam e secam. As plantas também podem apresentar aumento das brotações laterais com a paralização do desenvolvimento vegetativo conforme verificado por Kaul *et al.* (1966) e Rocha Filho *et al.* (1978).

As Figuras 5 A-E e 6 A-E mostram os sintomas de deficiência de potássio em algumas espécies de *Eucalyptus*. Observam-se algumas variações de coloração e intensidade, sendo que alguns genótipos apresentam a clorose marginal como sintoma característico e, enquanto outros o sintoma de avermelhamento das bordas das folhas é o mais marcante.



**Figura 5.** Sintomas de deficiência de potássio. **A.** Em clones híbridos de *Eucalyptus*. **B.** Folhas normais e deficientes em *E. urophylla*. **C.** Progressão dos sintomas em clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **D.** Avermelhamento marginal em clone híbrido de *Eucalyptus*. **E.** Avermelhamento seguido de necrose marginal em clone híbrido de *Eucalyptus*. **F.** Progressão dos sintomas em *Eucalyptus ptychocarpa*.

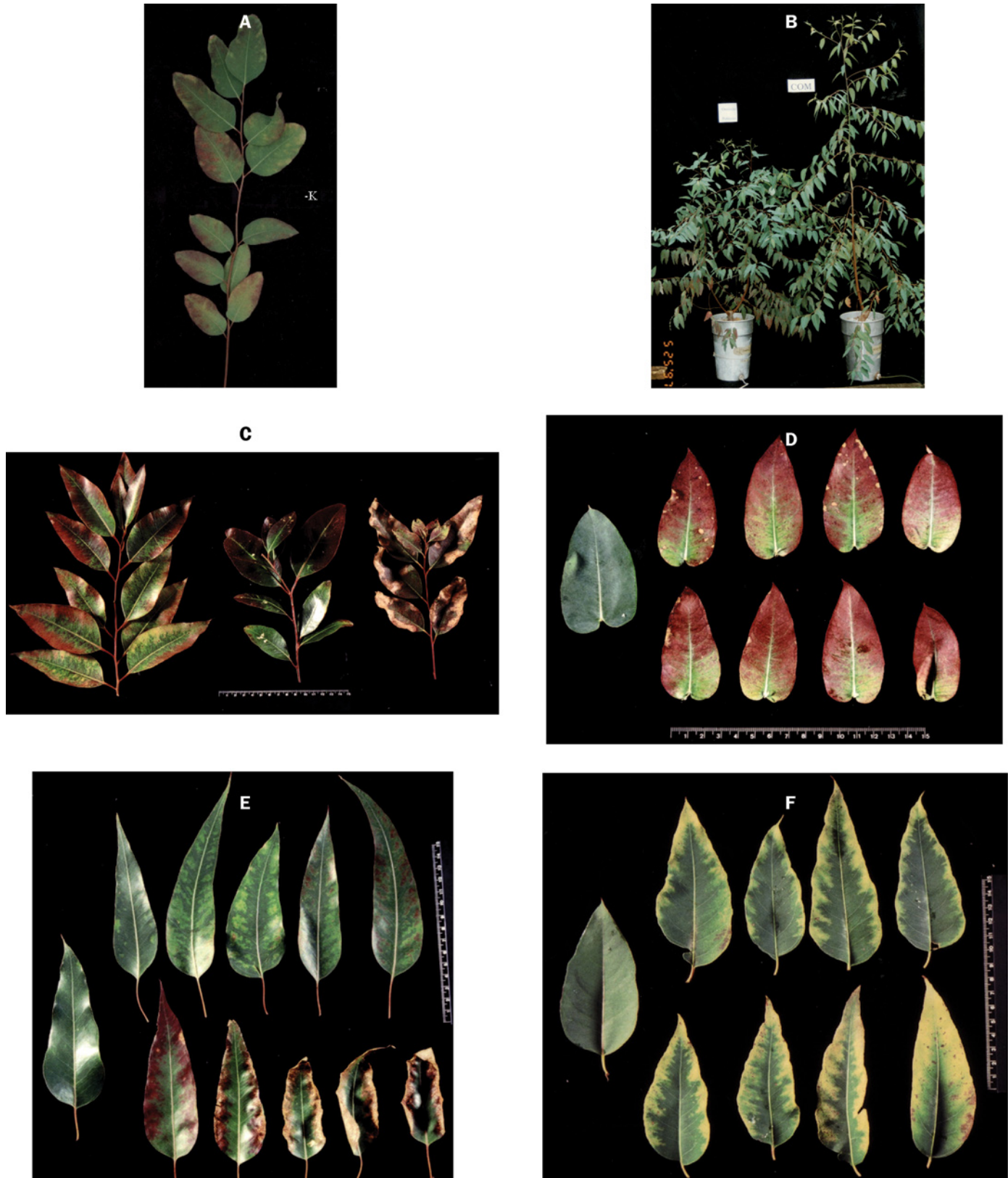
Fotos cedidas por Higashi & Silveira.

#### 4. EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DO *Eucalyptus* EM RELAÇÃO A POTÁSSIO

##### 4.1 Produtividade, biomassa e quantidade de potássio no sistema solo-planta

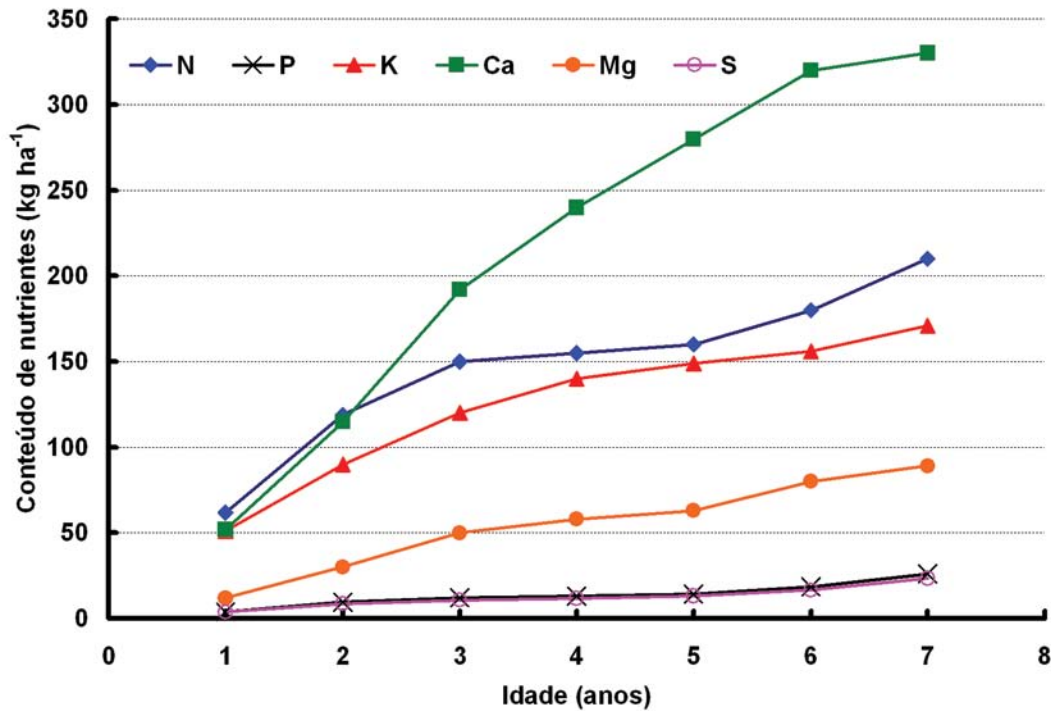
Normalmente, o potássio é o segundo ou terceiro nutriente mais acumulado pelo *Eucalyptus*, ficando às vezes abaixo do nitrogênio e do cálcio. Em trabalho realizado por Bellote

(1979), a quantidade acumulada de potássio aos 6 anos em *E. grandis* foi de 245 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que a quantidade dos demais macronutrientes por hectare foi de: 518 kg para Ca; 472 kg para N, 160 kg para S; 125 kg para magnésio e 30 kg para fósforo. Resultados similares foram obtidos por Araújo *et al.* (2001) para clones de eucalipto na região sul da Bahia, onde a extração de nutrientes aos 7 anos de idade obedeceu a seguinte ordem: Ca > N > K > Mg > P > S (Figura 7).



**Figura 6.** Sintomas de deficiência de potássio. **A.** Progressão dos sintomas foliares em função da posição das folhas no ramos em *Eucalyptus urophylla*. **B.** Brototação normal e deficiente em clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **C.** Em *Eucalyptus pellita*. **D.** Folha normal e deficientes em *Eucalyptus globulus*. **E.** Folha normal e progressão dos sintomas de deficiência em *Eucalyptus saligna*. **F.** Folha normal e progressão dos sintomas de deficiência em *Eucalyptus dunnii*.

Fotos cedidas por Higashi & Silveira.



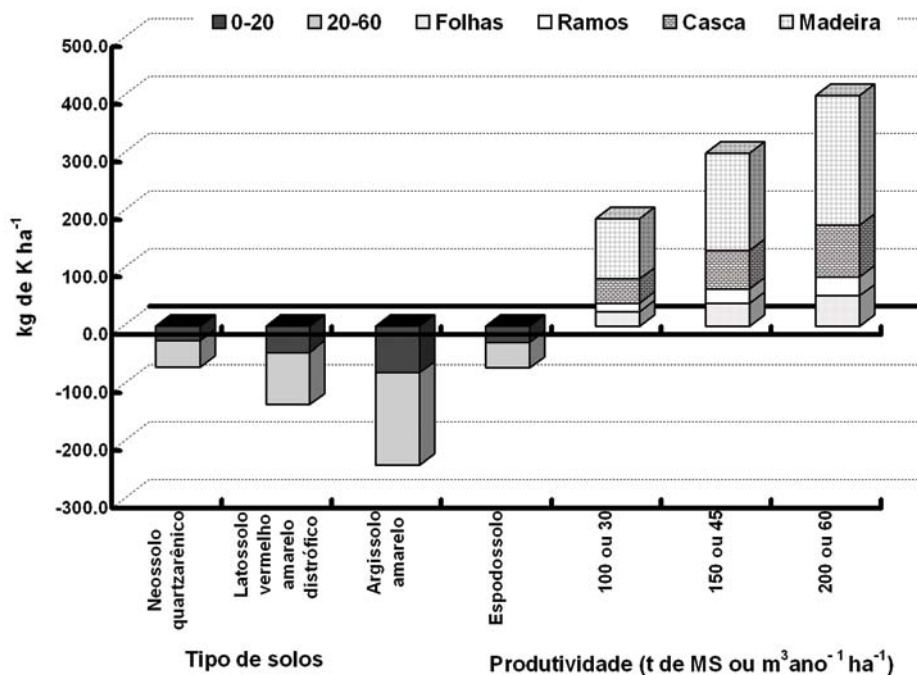
**Figura 7.** Acúmulo de nutrientes em diversos clones de eucalipto em função da idade na região sul da Bahia.

Fonte: Araújo et al. (2001).

Os plantios de *Eucalyptus* concentram-se normalmente em solos de baixa fertilidade (Tabela 4). A quantidade de potássio disponível nos primeiros 20 cm da maioria dos solos florestais é insuficiente para atender uma demanda média de K pelo *Eucalyptus* com idade aproximadamente de 7 anos, conforme mostra a Tabela 5, exceção feita para alguns Latossolos vermelho distroférrico situados na região de Pompéu/MG e Argissolos amarelos situados na região de Santa Branca/SP.

Para uma produtividade de 30 a 60 m<sup>3</sup> ha ano<sup>-1</sup>, a quantidade total acumulada de potássio pelo eucalipto aos 7 anos de idade varia de 190 a 400 kg de K ha<sup>-1</sup>, muito superior ao conteúdo de potássio trocável nos primeiros 60 cm de profundidade da maioria dos solos florestais, exceção

feita a alguns Argissolos amarelos da região sul da Bahia ou do Vale do Paraíba/SP (Figura 8). Existem alguns latossolos argilosos no cerrado de Minas Gerais que também apresentam teores mais elevados de potássio, similares aos encontrados nos Argissolos, porém, são muito pouco utilizados em plantios de eucalipto. Em trabalho realizado em 5 sítios florestais do estado de São Paulo (Angatuba, Itapetininga, Paraiçuna, São Miguel Arcanjo e São José dos Campos), foi constatado que os nutrientes mais limitantes à produtividade no próximo ciclo seriam o potássio e o cálcio. Em todos esses sítios, com exceção de São José dos Campos, o conteúdo de potássio disponível no solo não seria possível para um número médio de cortes superior a 2, ou seja, aproximadamente 13 anos.



**Figura 8.** Estimativa do balanço de potássio em florestas de *Eucalyptus grandis* com 7 anos de idade.

Fonte: modificado de Santana et al. (1999) e Araújo et al. (2001).

**Tabela 4.** Características químicas de solos florestais na profundidade de 0-20 cm em diferentes localidades do Brasil.

Local	Fonte	pH	MO	P-resina	K	Ca	Mg	CTC	V	K/CTC	K
		CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		mmolc dm <sup>-3</sup>			%	kg ha <sup>-1</sup>	
<b>Neossolo quartzarênico</b>											
Itatinga/SP	1	3,7	12	9	0,5	3	1,5	37	13	1,3	39,0
Lençóis Paulista/SP	1	3,8	14	4	0,4	4	1,0	34	15	1,2	31,2
Bofete/SP	1	3,6	17	3	0,2	2	1,0	45	7	0,4	15,6
Luiz Antonio/SP	2	4,0	21	5	0,3	4	2,0	54	11	0,6	23,4
João Pinheiro/MG	6	4,0	15	1	0,3	2	1,0	25	13	1,2	23,4
<b>Média</b>		<b>3,8</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>0,3</b>	<b>3</b>	<b>1,3</b>	<b>39</b>	<b>12</b>	<b>0,9</b>	<b>26,5</b>
<b>Latossolo Vermelho distroférico</b>											
Lençóis Paulista/SP	1	3,9	21	4	0,4	1	1,0	-	-	-	31,0
Guatapar/SP	2	4,1	24	10	0,6	7	3,0	72	15	0,8	46,8
São Miguel Arcanjo/SP	4	4,0	47	3	0,6	2	3,0	141	4	0,4	46,8
Capo Bonito/SP	10	3,9	20	2	0,5	1	1	66	4	0,8	39,0
Pompeu/MG	6	4,6	28	1	3,1	12	10	85	29	3,6	241,8
Paraopeba/MG	6	4,1	26	2	0,6	6	3,0	66	14	0,9	46,8
Bocaiuva/MG	6	4,0	36	3	0,2	3	1,5	88	5	0,2	15,6
<b>Mdia</b>		<b>4,1</b>	<b>29</b>	<b>4</b>	<b>0,9</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>86</b>	<b>12</b>	<b>1,1</b>	<b>66,8</b>
<b>Latossolo Vermelho ferico</b>											
Capo Bonito/SP	1	3,8	38	4	0,3	2	1,0	101	3	0,3	23,4
<b>Latossolo Vermelho Amarelo distrfico</b>											
Itatinga/SP	1	3,4	19	5	0,6	3	2,0	70	9	0,9	46,8
Prata/MG	3	3,6	17	4	0,3	1	1,0	35	6	0,9	23,4
Angatuba/SP	4	3,9	10	2	0,2	1	1,0	62	4	0,3	15,6
Itapetinga/SP	4	3,7	19	7	0,1	1	1,0	54	4	0,2	7,8
Paraibuna/SP	4	3,7	33	3	0,6	1	1,0	97	3	0,6	46,8
<b>Mdia</b>		<b>3,7</b>	<b>23</b>	<b>4</b>	<b>0,3</b>	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>70</b>	<b>5</b>	<b>0,5</b>	<b>27,3</b>
<b>Argissolo amarelo</b>											
Teixeira de Freitas/BA	5	4,3	15	3	0,7	12	2,0	44	33	1,6	54,6
Eunpolis/BA	7	4,4	25	3	0,8	18	38,0	95	60	1,3	62,4
Paraibuna/SP	9	4,2	23	5	1,2	9	3,0	59	23	2,0	93,6
Santa Branca/SP	8	3,8	26	5	2,7	9	3,5	65	23	4,1	210,6
<b>Mdia</b>		<b>4,2</b>	<b>22</b>	<b>4</b>	<b>1,3</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>66</b>	<b>35</b>	<b>2,2</b>	<b>105,3</b>
<b>Espodossolo</b>											
Teixeira de Freitas/BA	5	4,2	11	3	0,4	2	1,8	31	14	1,3	31,2
Eunápolis/BA	7	4,3	13	3	0,3	14	18	50	60	0,6	23,4
<b>Média</b>		<b>4,2</b>	<b>12</b>	<b>3</b>	<b>0,3</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>40</b>	<b>37</b>	<b>0,9</b>	<b>27,3</b>

Fontes: 1 Silveira et al. (1995c); 2 Silveira et al. (2003a); 3 Silveira et al. (2001c); 4 Santana et al., (1999); 5 Silveira (2000a); 6 Silveira et al. (2003b); 7 Silveira et al. (2003d); 8 Sgarbi & Silveira (2001); 9 Silva et al. (2000); 10 Silva et al. (2003).

Conclui-se que a adubao potássica na maioria dos solos florestais  essencial, uma vez que esses solos são altamente intemperizados e caracterizados por baixo conteudo trocável de K, textura arenosa, baixo teor de matéria orgânica e baixa capacidade de troca catiônica. Isso faz com que o efeito residual da adubao seja pequeno, havendo a necessidade de várias aplicações durante o ciclo de produção.

Vários trabalhos apresentam o conteudo de potássio nas diferentes partes das plantas de várias espécies de *Eucalyptus* (Tabela 5). Nota-se uma grande variação do conteudo em função da espécie, idade, fertilidade do solo, produtividade e local. Os valores médios mostram que cerca de 23% do conteudo total encontra-se nas folhas, 12% nos ramos, 20% na casca e 45% na madeira.

Em uma produtividade de 30 a 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, a quantidade média exportada pela casca e madeira do eucalipto está na faixa de 100 a 250 kg de K ha<sup>-1</sup> dependendo da espécie e

do sítio (Tabela 5), que equivaleria a uma reposição de 167 a 300 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. Para manter a sustentabilidade das rotações futuras  necessário que a quantidade exportada seja repostada. Caso não seja realizado o descascamento no campo, a quantidade de cloreto de potássio aplicada será de 380 a 500 kg ha<sup>-1</sup>. Em sistemas de colheita, em que se faz o descascamento, a quantidade de cloreto de potássio aplicada para repor a quantidade exportada pela madeira será de 192 a 350 kg ha<sup>-1</sup>. Portanto, o descascamento no campo pode diminuir a quantidade de potássio aplicada na próxima rotação em 40 a 80 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, dependendo da produtividade desejada.

Araújo et al. (2001) verificaram diferenças entre as unidades de manejo em relação ao acúmulo de potássio por clones de eucalipto na região sul da Bahia. A quantidade acumulada variou muito entre os tipos de solos. Aos 7 anos de idade, os argissolos amarelos textura arenosa/argilosa de mdia a alta fertilidade acumularam aproximadamente 80% a mais de po-

tássio quando comparado com os espodossolos de baixa fertilidade (Figura 9). A razão para tal diferença seria o potencial produtivo de cada solo, sendo que os argissolos apresentaram uma produtividade média de 49 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> contra somente

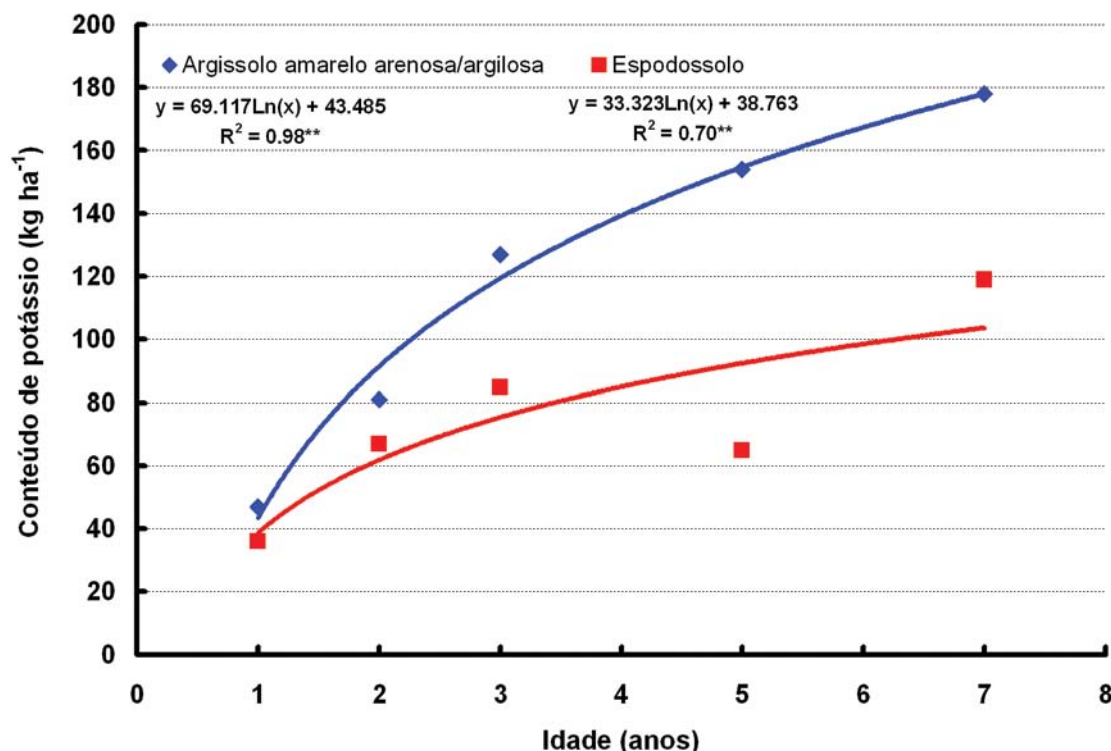
23 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> dos espodossolos. Ao considerar a idade de 7 anos, constatou-se que a eficiência de utilização de potássio, m<sup>3</sup> de madeira produzida por kg de K absorvido, foi de 1,92 para os argissolos e de 1,35 para os espodossolos.

**Tabela 5.** Produtividade de florestas de *Eucalyptus* e o conteúdo de potássio em diferentes localidades brasileiras.

Espécie	Idade (anos)	Local	K na planta						Total F+R+ C+M	Produtividade		Fonte**
			Copa			Caule				MS	Volume	
			Folhas (F)	Ramos (R)	F+R	Casca (C)	Madeira (M)	C + M				
kg ha <sup>-1</sup>												
<i>E. grandis</i> (Atherton)	8	Viçosa/MG	138 (18)*	61 (8)	198 (26)	97 (13)	457 (61)	554 (74)	753	448	-	1
	8	Paraopeba/MG	58 (28)	53 (25)	111 (53)	43 (21)	54 (26)	97 (47)	208	128	-	1
<i>E. grandis</i>	6	Mogi Guaçu/SP	28 (11)	23 (9)	51 (20)	-	-	194 (79)	245	249	-	2
		Bom Despacho/MG	35 (19)	38 (20)	63 (39)	66 (35)	51 (27)	117 (61)	190	85	-	4
	6,5	São Paulo***	-	-	57 (22)	61 (23)	144 (55)	205 (78)	262	136	329	6
<i>E. globulus</i>	4	Butia/RS	77 (33)	35 (15)	112 (48)	26 (11)	92 (40)	118 (51)	230	83	-	3
<i>E. saligna</i>	9	Curvelo/MG	28 (20)	23 (16)	51 (36)	29 (21)	61 (43)	90 (64)	141	-	289	5
	6,5	São Paulo***	-	-	49 (22)	46 (21)	123 (57)	169 (78)	218	117	267	6
<i>E. cloezina</i>	8	Viçosa/MG	31 (15)	21 (10)	52 (25)	79 (37,5)	79 (37,5)	158 (75)	210	231	-	1
<i>E. citriodora</i>	9	Curvelo/MG	141 (42)	25 (7)	166 (49)	78 (23)	91 (28)	169 (51)	335	-	195	5
Média	7,1		67 (23)	35 (12)	102 (35)	58 (20)	128 (45)	186 (65)	288	185	-	

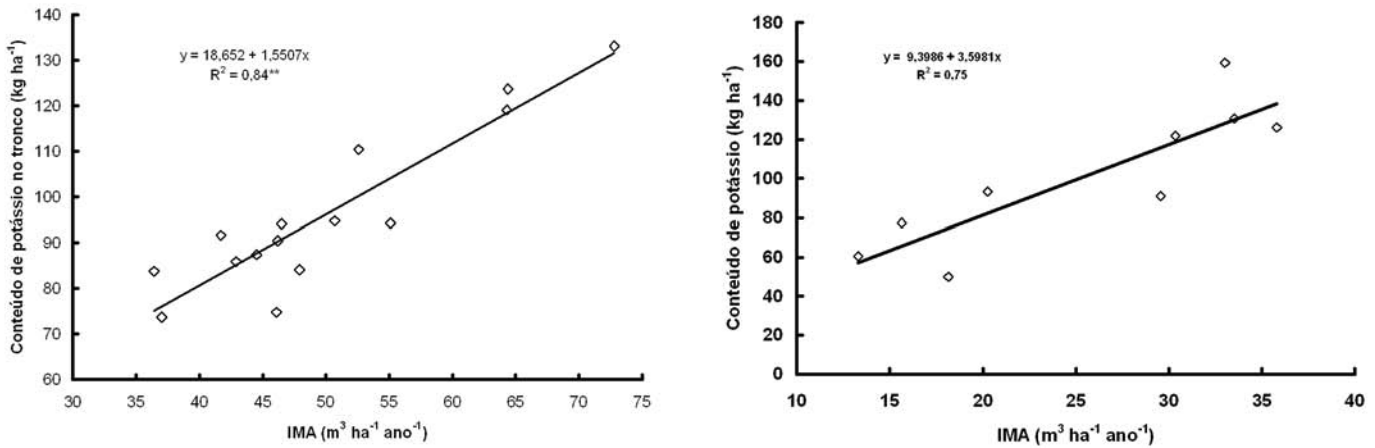
\* - entre parênteses estão os valores percentuais em relação ao total. \*\* 1 - Morais et al. (1990); 2 - Belotte (1979); 3 - Schumacher & Caldeira (2001); 4 - Reis et al. (1987); 5 - Pereira et al. (1984); 6 - Santana et al. (1999).

\*\*\* média de 5 localidades no Estado de São Paulo (Angatuba, Itapetininga, Paraibuna, São José dos Campos e São Miguel de Arcanjo)



**Figura 9.** Acúmulo de potássio em clones de eucalipto em diferentes idades e tipos de solos na região sul da Bahia.

Fonte: Araújo et al. (2001).



**Figura 10. A.** Conteúdo de potássio no tronco de clones híbridos de *Eucalyptus* em função da produtividade, aos 57 meses de idade, na região do Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. **B.** Conteúdo de potássio no tronco de rebrota de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade em sítios com diferentes produtividades na região de Capão Bonito, São Paulo.

Fonte: Faria et al. (2002, modificada) e Higashi et al. (1998).

O trabalho de Faria et al. (2002a) mostrou a relação entre a produtividade de madeira (IMA) e o conteúdo de potássio no tronco em clones de *Eucalyptus* na região do Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. Verificou-se uma correlação linear entre essas duas variáveis, sendo que aos 57 meses de idade, uma produtividade média de 45 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> acumulou aproximadamente 88 kg de K no tronco (Figura 10). Trabalho semelhante foi realizado por Higashi et al. (1999) em brotação de *Eucalyptus saligna*. Houve correlação linear entre a quantidade acumulada de potássio e a produtividade, sendo que o sítio mais produtivo (35,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) acumulou aproximadamente 138 kg de K ha<sup>-1</sup> aos 7 anos de idade.

**4.2 Eficiência de utilização e exigência de potássio**

A Tabela 6 mostra o conteúdo de potássio, a produção de matéria seca total e a eficiência de utilização de potássio em mudas de *E. grandis*. Em relação a eficiência nutricional, nota-se que Camargo (1997) encontrou diferença significativa entre os clones de *E. grandis*, sendo que o mais eficiente apresentou uma conversão de 114,7 mg de MS para cada mg acumulada de K, enquanto o menos eficiente, 87,7 mg de MS por mg de K. Silveira (2000b) também observou diferenças entre as progênies de *E. grandis* para eficiência de utilização de potássio na fase de muda, a progênie mais eficiente apresentou 120,9 mg de matéria seca produzida

**Tabela 6.** Produção de matéria seca total, conteúdo e eficiência de utilização de potássio em mudas de *Eucalyptus grandis*.

<i>E. grandis</i>	Idade (dias)	Local	K na planta mg/planta				MST <sup>1</sup> g/planta	EKT <sup>2</sup> mg MST mg <sup>-1</sup> de K	Referência
			Folhas	Caule	Raízes	Total			
Clone - Procedência Chisengu <sup>3</sup>	62	casa-de-vegetação	88,1 (56) <sup>4</sup>	30,9 (19)	39,4 (25)	158,4	11,4	72,0	Souza (1994)
Clone - Procedência Mechece <sup>3</sup>	62	casa-de-vegetação	92,9 (54)	38,2 (22)	41,6 (24)	172,7	13,7	79,3	Souza (1994)
Clone - Procedência Penhalonga <sup>3</sup>	62	casa-de-vegetação	94,9 (49)	46,9 (24)	52,6 (27)	194,4	14,7	75,6	Souza (1994)
Clone - Procedência Tilbury <sup>3</sup>	62	casa-de-vegetação	109,1 (60)	39,6 (22)	33,7 (18)	182,4	13,9	76,2	Souza (1994)
Semente Procedência Bofete	97	viveiro	7,0 (47)	5,0 (33)	3,0 (20)	15,0	2,1	140,0	Silveira et al. (1995a)
Clone A7	90	viveiro	3,4 (45)	2,9 (39)	1,2 (16)	7,5	0,86	114,7	Camargo (1997)
Clone C4	90	viveiro	3,7 (38)	4,3 (44)	1,7 (18)	9,7	0,88	90,7	Camargo (1997)
Clone D19	90	viveiro	4,1 (42)	4,1 (42)	1,6 (16)	9,8	0,86	87,7	Camargo (1997)
Clone F40	90	viveiro	3,7 (52)	2,5 (35)	0,9 (13)	7,1	0,66	92,9	Camargo (1997)
Progênie 1	110	viveiro	7,1	6,9	2,2	16,2	1,96	120,9	Silveira (2000)
Progênie 2	110	viveiro	5,3	4,7	1,4	11,4	1,24	108,8	Silveira (2000)
Progênie 3	110	viveiro	8,5	5,8	2,9	17,2	1,99	116,2	Silveira (2000)
Progênie 4	110	viveiro	7,7	6,3	2,6	16,6	1,74	104,8	Silveira (2000)

1 – matéria seca total; 2 – eficiência de utilização de potássio; 3 – média de vários clones; 4 – percentual em relação ao conteúdo total de potássio.

para cada mg acumulado de potássio, enquanto a de menor eficiência, teve uma conversão de 104,8 mg de matéria seca por cada mg extraído de potássio. Analisando ainda a **Tabela 6**, observa-se uma tendência que quanto maior a idade da muda mais elevados são os valores de eficiência de utilização de potássio.

A eficiência de utilização de nutrientes é o quociente entre a matéria seca e o conteúdo de determinado nutriente na planta. Este índice é resultado da evolução das espécies frente a ambientes distintos. Barros *et al.* (1985) verificaram que não existe necessariamente uma relação direta entre a produção de biomassa e a eficiência de utilização dos nutrientes.

Cada material genético tem habilidade diferenciada de uso de um ou de outro nutriente absorvido. Além disso, considerando a vasta diversidade ambiental encontrada na região de origem das espécies de *Eucalyptus* (Barros *et al.*, 1990), espera-se que ocorra grande diferenciação quanto a eficiência de absorção e utilização dos nutrientes pelos materiais genéticos de *Eucalyptus*. Neste sentido, Souza (1994) constatou diferenças significativas entre 15 clones de *E. grandis* plantados na região de Quartel Geral/MG, sendo que as variações foram de 541 a 937 kg de MS de tronco produzida para cada kg de K absorvido. Teixeira *et al.* (1989) também constataram maior eficiência do *E. saligna* em relação ao *E. citriodora* para o uso do potássio, ou seja, 1715 kg de madeira para cada kg de K contra 1072 kg de madeira produzida para cada kg de K, respectivamente. Notaram ainda que o *E. saligna* foi muito mais eficiente na utilização de Ca e Mg (2575 kg de madeira para cada kg de Ca absorvido e 7500 kg de madeira para cada kg de Mg absorvido) para a produção de madeira quando comparado ao *E. citriodora* (478 kg de madeira para cada kg de Ca absorvido e 3374 kg de madeira para cada kg de Mg absorvido).

Leite *et al.* (1998) observaram que *E. grandis* com 31 meses de idade, na região de Santa Bárbara/MG, apresentava uma produção de 552 kg de MS de tronco para cada kg de potássio contido na planta. Para idades mais avançadas (9 anos), Pereira *et al.* (1984) encontraram valores de eficiência de utilização de K mais altos que os obtidos por Leite *et al.* (1998), 1667 kg de tronco para cada kg de K em *E. saligna* e 1005 kg de tronco para cada kg de K em *E. citriodora*. Resultados similares foram verificados por Galo (1993), sendo que o valor para a eficiência de utilização de potássio para *E. grandis* aos 78 meses de idade, na região de Itamarandiba/MG, foi de 1300 kg de tronco para cada kg de K absorvido.

Silva *et al.* (1983) estudando a eficiência de utilização de K em 5 espécies de *Eucalyptus*, verificaram que o *E. grandis* foi a espécie mais eficiente, seguida em ordem decrescente pelo *E. saligna*, *E. dunnii*, *E. propinqua* e *E. robusta*. Poggiani *et al.* (1984) também verificaram que o *E. grandis* era menos exigente e o mais eficiente no uso de nutrientes quando comparado com *E. saligna* e *E. urophylla*.

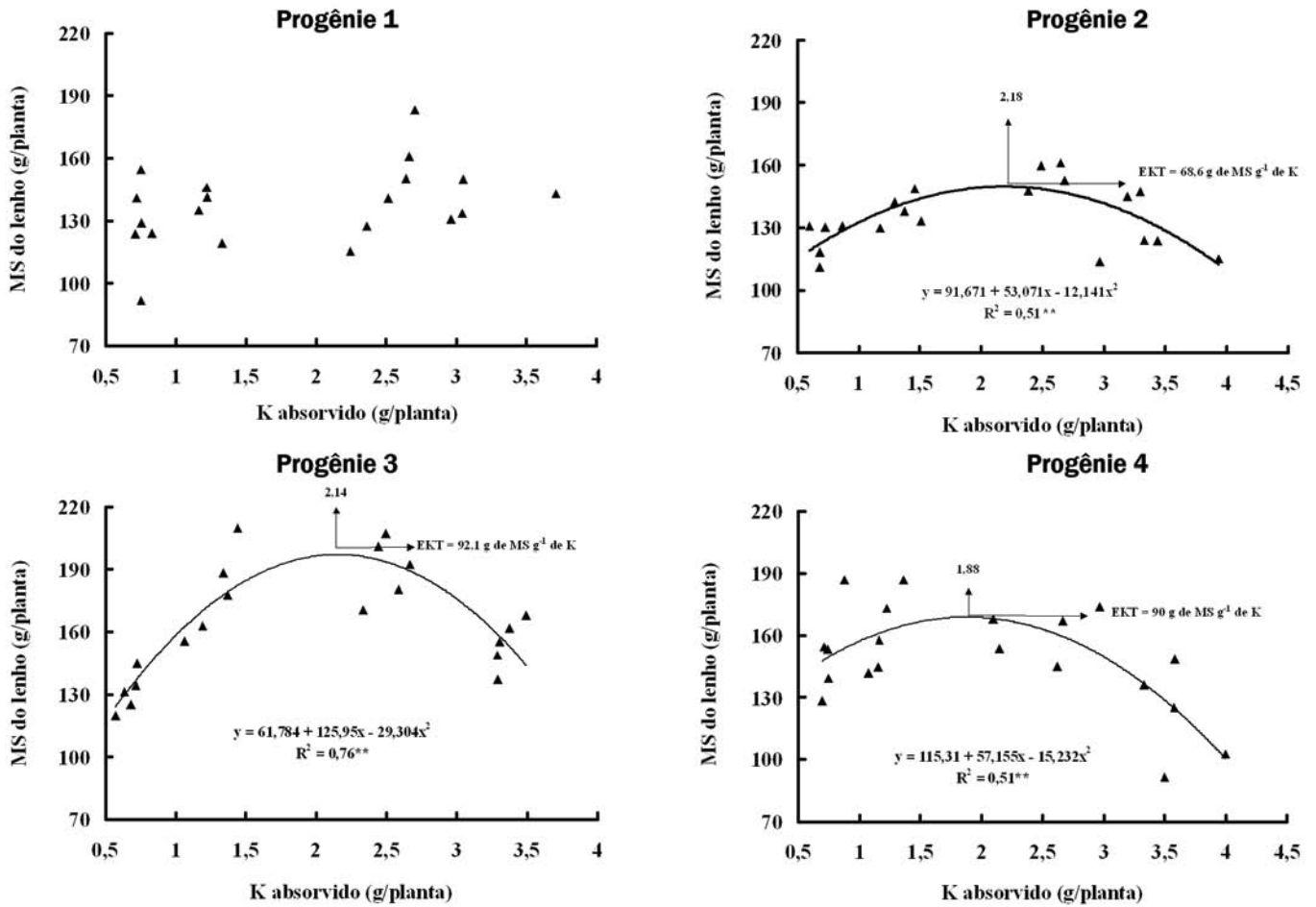
Morais *et al.* (1990) encontraram variações na produção de MS e na extração de nutrientes pelo *E. grandis* com oito anos de idade em duas regiões bioclimáticas estudadas. Verificaram que na região de Viçosa/MG houve maior produção de MS, bem como, a extração de nutrientes quando comparada a região de Paraopeba/MG. Isto ocorreu devido as condições edafoclimáticas de Viçosa assemelharem-se mais as do local de origem dessa espécie, ou seja, maior dispo-

nilidade de água e nutrientes quando comparadas as de Paraopeba. As extrações totais de nutrientes em kg ha<sup>-1</sup> para Viçosa e Paraopeba foram, respectivamente de: 1.313 de N e 458 de N; 56 de P e 30 de P; 753 de K e 208 de K; 775 de Ca e 309 de Ca; 344 de Mg e 81 de Mg. Nota-se que o potássio foi o terceiro nutriente em quantidade extraída, ficando abaixo do nitrogênio e do cálcio. Resultados semelhantes foram obtidos por Bellote (1979) para *E. grandis* aos 6 anos de idade, na região de Mogi Guaçu/SP, verificando que o K foi também o terceiro nutriente em quantidade extraída. A quantidade de nutriente em kg ha<sup>-1</sup> contida na parte aérea foi de 473 de N, 32 de P, 245 de K, 555 de Ca, 126 de Mg e 159 de S. Neste estudo, a quantidade percentual de N, P, K, Ca, Mg e S presentes no caule (lenho + casca) em relação ao total foi de 73, 73, 79, 72, 84 e 86, respectivamente. Em outro estudo, nas regiões de Carbonita e Bom Despacho, a extração de potássio pelo *E. grandis* foi inferior somente a de nitrogênio. Para a região mais produtiva (Bom Despacho), a quantidade de N, P, K, Ca e Mg alocada na parte aérea em kg ha<sup>-1</sup> foi de 323, 24, 190, 150 e 44, respectivamente. A percentagem dos nutrientes presentes na madeira em relação ao total foi de: 46 para N; 27 para P; 26 para K; 19 para Ca e 25 para Mg (Reis *et al.*, 1987).

A relação entre a quantidade absorvida de potássio e a produção de matéria seca de lenho (EKT) e celulose (EKCT) em progênies de *Eucalyptus grandis* na fase juvenil está apresentada nas **Figuras 11 e 12**. Na progênie 1 não houve relação significativa entre o conteúdo de potássio absorvido e a produção de matéria seca do lenho. Observa-se ainda que as diferenças para utilização de potássio entre as progênies 3 e 4 não foram significativas, embora a progênie 3 tenha sido mais responsiva à adição de potássio. Essas duas progênies apresentaram maior eficiência de uso de potássio em relação à progênie 2. Ao comparar as progênies, verificou-se que para a produção de uma unidade de matéria seca de lenho, a progênies 2 consumiu 34% e 31% a mais de potássio que as progênies 3 e 4, respectivamente.

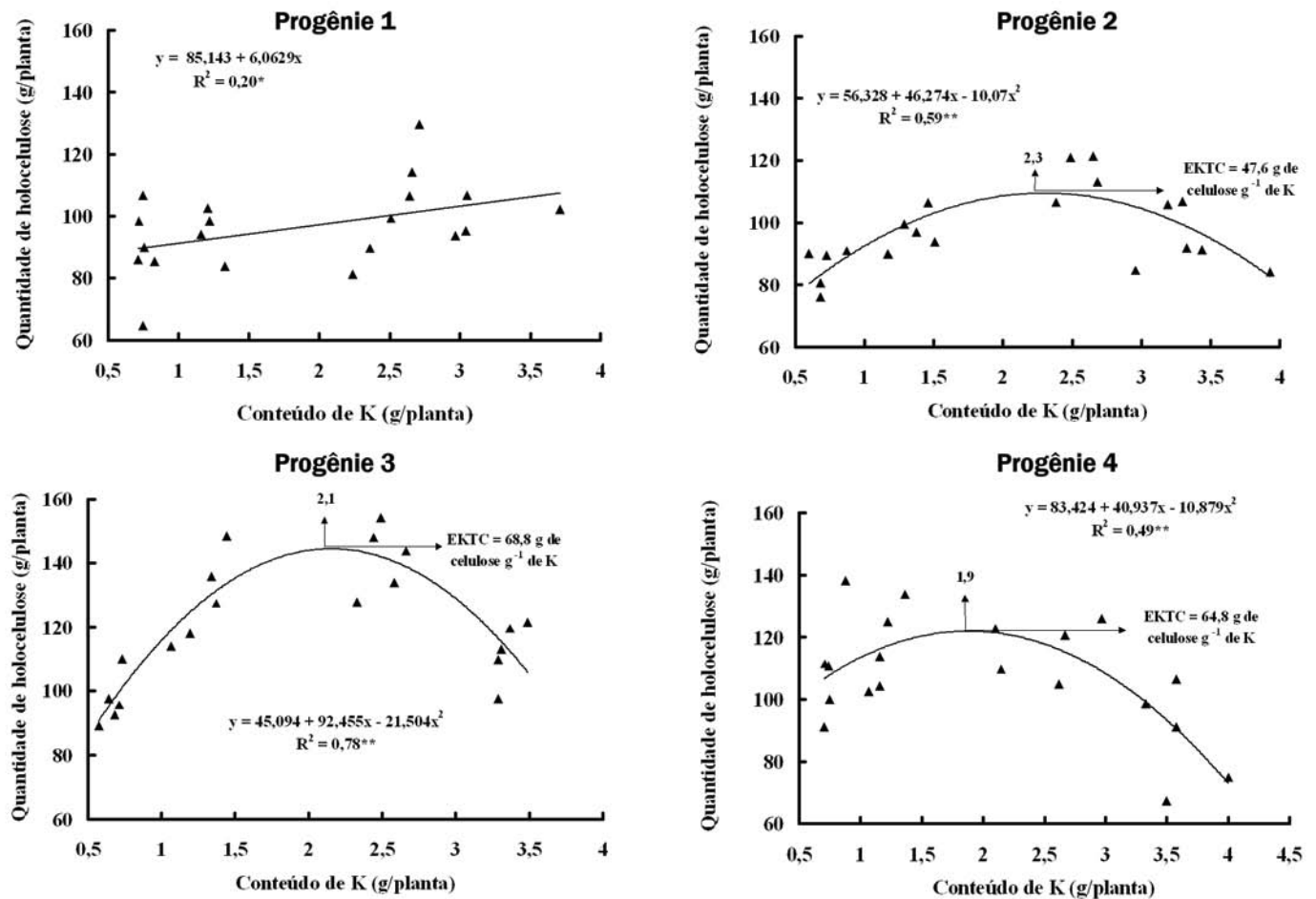
A maioria dos estudos sobre eficiência de utilização dos nutrientes em *Eucalyptus* tem sido voltado para a produção de madeira (lenho) ou biomassa total, sem considerar o principal produto, que no caso das indústrias de papel e celulose é a holocelulose. Com esse objetivo, foi calculado o índice EKCT, que é expresso pelo quociente entre a quantidade de holocelulose produzida e o conteúdo de potássio na planta. Os resultados para eficiência de utilização de potássio em relação à produção de celulose foram semelhantes aos obtidos para a produção de lenho (**Figura 12**). A maior eficiência de uso de potássio foi encontrada nas progênies 3 e 4, não havendo diferença entre elas. Entretanto, ao comparar as progênies, verificou-se que a progênie 2 consumia 45% a mais de potássio que a progênie 3, para produzir uma unidade de holocelulose, valor este mais alto que o obtido para a produção de lenho (35%). Portanto, a baixa eficiência de uso de potássio na progênie 2 foi mais acentuada quando se analisou a produção de holocelulose.

Silveira *et al.* (2002b) estudaram a eficiência de utilização de potássio (EUK) para seis clones comerciais da Votorantim Celulose e Papel. Verificaram consideráveis diferenças entre os clones, sendo que o clone Cd apresentou menor EUK para produção de lenho e de matéria seca total tanto em condições de baixo como de adequado fornecimento de potássio (**Tabela 7**). Considerando a produção de lenho em condições de baixo suprimento de potássio,



**Figura 11.** Relação entre a matéria lenhosa produzida e o conteúdo de potássio nas progênie de *Eucalyptus grandis*.

Fonte: Silveira & Malavolta (2003).



**Figura 12.** Relação entre a quantidade de holocelulose produzida e o conteúdo de potássio nas progênie de *Eucalyptus grandis*.

Fonte: Silveira & Malavolta (2003).

os clones foram agrupados em ineficiente (Cd), baixa eficiência (Ca e Ce) e alta eficiência (Cb, Cc e Cf). No entanto, em condições de bom fornecimento de potássio, os clones Cc e Cf continuaram sendo os mais eficientes no uso de potássio em relação aos demais genótipos. Observa-se ainda que os clones Ca, Cc e Ce foram mais responsivos, atingindo ganhos superiores a 60% em relação a matéria seca de lenho. O clone menos responsivo foi o clone Cf que com a adição de potássio apresentou um aumento de matéria seca de lenho de somente 20%. Esses resultados mostram grande diferença entre a eficiência de uso e a capacidade de resposta a potássio dos clones de *Eucalyptus*, ou seja, muitas vezes um clone é eficiente no uso de potássio, porém não é responsivo, como o exemplo do clone Cf. A seleção dos genótipos deve buscar materiais eficientes no uso e altamente responsivos como o clone Cc.

Nos programas de melhoramento de *Eucalyptus*, quando se utiliza a eficiência nutricional como critério de seleção, é fundamental saber: a) que o genótipo eficiente no uso de um determinado nutriente poderá não ser para outro; b) se existe correlação entre a eficiência nutricional e as características de crescimento (DAP, altura), celulose, densidade básica etc; c) qual é o nutriente mais limitante economicamente ao crescimento na situação analisada (sítio, tipo de solo e região).

Faria *et al.* (2002a) estudaram a seleção de genótipos de *Eucalyptus* spp quanto a utilização de nutrientes na região de Itamarandiba/MG, Vale do Jequitinhonha. O incremento médio anual (IMA) de volume e a biomassa do tronco variaram significativamente entre os híbridos estudados. A diferença de volume entre o híbrido mais produtivo (I-224) e o menos produtivo (HCT-037) foi de aproximadamente 200%, sendo que o clone I-224 apresentou uma utilização de 1307 kg de MS de tronco para cada kg de potássio contido no tronco, enquanto que no clone HCT-037, a utilização foi de apenas 949 kg de MS tronco para cada kg de potássio contido no tronco. No entanto, os materiais que apresentaram a maior eficiência de utilização de potássio, não foram os mais produtivos como os clones I-225 e HC-373. Nota-se ainda que os híbridos de *E. urophylla* (I) de polinização natural apresentaram maior eficiência quando comparados

aos híbridos de *E. urophylla* com *E. grandis* (HC) e *E. urophylla* com *E. camaldulensis* e *E. grandis* (HCT). No entanto, deve-se considerar que a análise isolada dos genótipos, mostrou que nem sempre a maior absorção significou maior eficiência de uso de potássio, exceto para o clone I-225 (Tabela 8). Resultados semelhantes foram obtidos por Santana *et al.* (2002), os quais observaram que a alta eficiência de utilização dos nutrientes não está necessariamente relacionada à alta produtividade.

#### 4.3. Concentração de Potássio e Outros Nutrientes nas Partes da Planta

Haag *et al.* (1976) estudaram a composição mineral das folhas de 5 espécies de *Eucalyptus* na condição de campo, e encontraram diferenças na concentração dos nutrientes, principalmente, para os macronutrientes. De maneira geral, as maiores concentrações foram observadas no *E. grandis* quando comparada com as outras espécies. Em relação ao potássio, houve variações significativas, as quais obedeceram a seguinte ordem decrescente de concentração nas folhas: *E. grandis* (21,2 g kg<sup>-1</sup>) > *E. saligna* (17,7 g kg<sup>-1</sup>) > *E. robusta* (15,1 g kg<sup>-1</sup>) = *E. microcorys* (14,6 g kg<sup>-1</sup>) = *E. resinifera* (14,1 g kg<sup>-1</sup>). Porém, no estudo realizado por Silva *et al.* (1983), não houve efeito significativo das espécies de *Eucalyptus* sobre as concentrações foliares de potássio. As concentrações de potássio encontradas nas diversas espécies foram inferiores às obtidas por Haag *et al.* (1976). As concentrações de potássio em g kg<sup>-1</sup> foram de 8,38, 8,34, 8,32, 8,29 e 7,4 para *E. robusta*, *E. grandis*, *E. saligna*, *E. propinqua* e *E. dunnii*, respectivamente. Ao contrário das folhas, verificaram-se diferenças entre os materiais genéticos para a concentração de potássio nos ramos, casca e lenho. Nos ramos, as concentrações variaram de 1,8 g kg<sup>-1</sup> (*E. robusta*) a 3,2 g kg<sup>-1</sup> (*E. propinqua*), enquanto que na casca e lenho, 4,1 g kg<sup>-1</sup> (*E. dunnii*) a 2,2 g kg<sup>-1</sup> (*E. propinqua*) e 1,3 g kg<sup>-1</sup> (*E. propinqua*) a 0,6 g kg<sup>-1</sup> (*E. grandis*), respectivamente. Ao comparar as espécies em relação a concentração de potássio, observaram que o *E. propinqua* apresentava maior concentração nos ramos e no lenho e menor na casca em relação as demais espécies.

**Tabela 7.** Eficiência de uso de potássio (EUK)<sup>a</sup> no caule e na matéria seca total de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em função das doses de potássio aplicadas via solução nutritiva, aos 240 dias após plantio.

Clones	Dose de K (mg L <sup>-1</sup> )	Teor de potássio g kg <sup>-1</sup>				Matéria seca g/planta					Conteúdo de potássio mg/planta					EUK <sup>a</sup> g MS <sup>2</sup> /mg de K	
		F <sup>b</sup>	R	C	L	F	R	C	L	To	F	R	C	L	To	C	L
Ca	25	2,1	1,9	2,1	1,4	44	17	5	14	80	93	32	11	20	156	1,25	41,0
Cb	25	2,3	1,9	2,6	1,6	41	19	6	19	85	93	38	15	30	176	2,05	41,0
Cc	25	2,1	1,7	2,4	1,1	48	19	6	19	93	102	32	15	22	171	2,11	50,6
Cd	25	2,7	2,3	2,2	1,2	34	17	4	11	66	91	40	9	13	153	0,79	28,5
Ce	25	2,2	1,5	2,1	0,9	45	19	6	15	84	97	29	13	14	153	1,47	46,1
Cf	25	2,4	1,9	2,7	1,4	46	16	7	20	89	111	31	19	29	190	2,10	41,7
Ca	200	7,0	6,5	6,8	3,4	60	26	9	23	117	419	170	60	77	726	0,72	18,8
Cb	200	8,3	6,5	5,9	3,7	45	24	7	25	102	372	156	44	91	660	0,95	15,8
Cc	200	6,1	6,1	7,1	3,5	56	24	10	31	121	339	146	71	108	664	1,44	22,0
Cd	200	9,0	9,0	7,6	3,2	49	25	6	15	96	443	228	46	49	766	0,29	12,0
Ce	200	7,1	5,7	5,9	3,3	56	27	9	24	117	395	158	56	79	688	0,84	19,9
Cf	200	6,1	5,9	7,8	4,5	44	18	9	25	96	268	107	71	112	558	1,12	16,5

(EUK)<sup>a</sup> = (matéria seca do caule ou total)/quantidade total de potássio acumulada na parte aérea segundo Siddiqui & Glass (1981).

b - F = folha; R = ramo; C = casca; L = lenho e To = total.

Fonte: Silveira *et al.* (2002b).

**Tabela 8.** Incremento médio anual (IMA), biomassa de copa, lenho e tronco, conteúdo e eficiência de utilização de potássio no tronco de híbridos de *Eucalyptus* aos 57 meses de idade.

Clone	IMA m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	Biomassa			Conteúdo de K no tronco kg ha <sup>-1</sup>	CUB <sup>a</sup> de K kg de MS kg <sup>-1</sup> de K
		Copa	Lenho	Tronco		
			t ha <sup>-1</sup>			
I-224	72,8 A	13,8 A	157,1 A	174,0 A	133,1 A	1307 B
I-060	64,4 B	9,1 A	134,4 A	149,1 B	127,0 A	1205 D
I-144	64,3 B	16,2 A	144,8 A	160,1 A	119,1 A	1342 B
I-225	55,1 C	11,5 A	128,4 B	140,4 B	94,3 B	1488 A
I-044	52,6 C	12,4 A	115,8 B	127,8 B	110,4 B	1159 D
Média	61,8	12,6	136,1	150,3	116,1	1300
HC-162	50,7 C	13,0 A	103,4 C	117,3 C	94,8 B	1237 C
HC-249	47,9 D	14,5 A	97,7 C	109,6 C	84,1 B	1302 B
HC-232	46,2 D	12,0 A	84,1 D	96,8 D	90,5 B	1069 F
HC-373	46,1 D	14,2 A	97,6 C	108,7 C	74,8 B	1453 A
HC-257	44,5 E	16,1 A	87,6 D	98,4 D	87,4 B	1126 F
HC-344	42,9 E	13,2 A	79,7 D	90,9 D	85,9 B	1057 F
HC-289	41,7 E	12,9 A	83,2 D	95,7 D	91,7 B	1056 F
Média	45,7	13,7	90,5	102,5	87,0	1186
HCT-041	46,5 D	10,4 A	93,5 C	105,3 C	94,1 B	1119 E
HCT-027	37,0 F	8,3 A	71,4 D	82,0 D	73,7 B	1112 E
HCT-037	36,4 F	9,2 A	69,4 D	79,5 D	83,8 B	949 G
Média	40,0	9,3	78,1	88,9	83,9	1060

Médias seguidas de mesmas letras, em cada coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. I = híbridos de *E. urophylla* em polinização controlada; HC = híbridos de *E. urophylla* com *E. grandis*; HCT = híbridos de *E. urophylla* com híbridos de *E. camaldulensis* e *E. grandis*. (CUB)<sup>a</sup> = coeficiente de utilização biológica, kg de MS do lenho kg<sup>-1</sup> de potássio no lenho.

Fonte: Faria et al. (2002a).

Judd (1996) relata as concentrações médias de N, P, K, Ca e Mg em g kg<sup>-1</sup> nas partes da planta de espécies de *Eucalyptus* pertencentes ao sub-gênero *Symphyomyrtus*. Para o N, 17,5 nas folhas, 4,0 nos ramos, 3,5 na casca e 1,2 no lenho; para o P, 1,2 nas folhas, 0,4 nos ramos e na casca e 0,05 no lenho; para o K, 7,0 nas folhas, 3,5 nos ramos, 3,2 na casca e 1,2 no lenho; para o Ca, 7,0 nas folhas, 7,5 nos ramos, 24,0 na casca, 1,0 no lenho; para o Mg, 3,0 nas folhas, 1,5 nos ramos, 1,9 na casca e 0,3 no lenho. Leite et al. (1998) encontraram as seguintes concentrações de N, P, K, Ca e Mg em g kg<sup>-1</sup> nos órgãos de *E. grandis* com 31 meses de idade: para o N, 19,2 nas folhas, 2,4 na casca, 3,4 nos ramos e 0,7 no lenho; para o P, 1,1 nas folhas, 0,3 nos ramos, 0,4 na casca, 0,1 no lenho; para o K, 7,5 nas folhas, 2,5 nos ramos, 5,8 na casca e 1,4 no lenho; para o Ca, 4,4 nas folhas, 3,0 nos ramos, 8,6 na casca e 0,7 no lenho; para o Mg, 1,9 nas folhas, 0,4 nos ramos, 1,6 na casca e 0,2 no lenho.

Kaul et al. (1968) verificaram em *E. grandis* com aproximadamente 8 meses de idade, concentrações de potássio nas folhas de 8,0 e 4,0 g kg<sup>-1</sup> quando cultivado na presença e na ausência de K na solução nutritiva, respectivamente. Em estudo similar, com *E. globulus*, os valores foram de 10,5 e 4,7 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Kaul et al., 1970a).

## 5. INTERAÇÕES ENTRE POTÁSSIO E OUTROS NUTRIENTES

Os efeitos interiônicos entre K, Ca e Mg ocorrem na forma de inibição competitiva, normalmente ao nível de membrana celular (Epstein, 1975). Segundo Malavolta (1980), esse processo ocorre quando dois elementos

se combinam pelo mesmo sítio ativo do carregador. Um exemplo clássico é dado pelas altas doses de potássio no meio, inibindo a absorção de Ca e Mg, chegando muitas vezes a causar a deficiência desses dois nutrientes com queda de produção. Marschner (1995) também relata que cátions como o potássio podem atravessar a membrana plasmática com maior velocidade, deprimindo a absorção de cátions mais lentos como Ca e Mg. A absorção preferencial do íon K<sup>+</sup> ocorre por ser monovalente e de menor grau de hidratação quando comparado aos divalentes (Kabata Pendias & Pendias, 1984).

Schonau (1981) ao estudar o efeito da aplicação de fertilizantes sobre os teores foliares dos nutrientes em *E. grandis*, verificou que a aplicação de K reduzia os teores de Ca, Zn e Fe e não afetava os de Mg, enquanto que a fertilização fosfatada e a aplicação de calcário diminuía os teores de K nas folhas. Schmidt (1995) avaliou o crescimento e a absorção de K, Ca e Mg por mudas de *E. camaldulensis* e *E. grandis* em resposta à aplicação de K no solo (0, 30, 90, 180 e 270 mg kg<sup>-1</sup>) e a adição de corretivos com diferentes relações Ca/Mg. Verificou que a dose de K para obter 90 % da produção máxima foi de 60,7 e 50,7 mg de K kg<sup>-1</sup>, na presença de corretivo, para *E. camaldulensis* e *E. grandis*, respectivamente. Constatou ainda que com o aumento do nível de corretivo, uma maior quantidade de K foi necessária para manter o balanço catiônico e proporcionar uma maior produção de matéria seca.

Em *E. fastigata* com 3 anos de idade, Knight (1988) encontrou correlações significativas e negativas entre a concentração de potássio e a de cálcio ( $r = -0,70$ ) e a de magnésio nas folhas ( $r = -0,84$ ).

## 6. DIGNOSE FOLIAR

### 6.1. Faixas Adequadas e Deficientes dos Nutrientes

Malavolta *et al.* (1997) citam os teores de macro ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) associados a altas produtividades de *E. grandis* no Estado de São Paulo: N = 21 a 23; P = 1,3 a 1,4; K = 9 a 10; Ca = 5 a 6; Mg = 2,5 a 3; S = 1,5 a 2,5; B = 25 a 30; Cu = 7 a 10; Fe = 100 a 140; Mn = 300 a 400 e Zn = 12 a 17.

Silveira *et al.* (1995b) realizaram um levantamento sobre a ocorrência de deficiências nutricionais em florestas plantadas com *Eucalyptus* de 22 empresas florestadoras. Concluíram que a deficiência de K, P e B foram as mais comumente encontrada.

As faixas adequadas e deficientes dos macro e micronutrientes nas folhas de *Eucalyptus* de acordo com vários autores são apresentadas na Tabela 9.

A Tabela 10 apresenta a faixa deficiente e adequada de potássio nas folhas de várias espécies de *Eucalyptus* no estádio adulto e juvenil. Nota-se que existe grande variação na concentração adequada de potássio em função do material genético. Por exemplo, para o *E. grandis* na fase juvenil, segundo Novais *et al.* (1980), a faixa adequada estava compreendida entre 3,3 e 8,1 g de  $\text{K kg}^{-1}$ , enquanto que para *E. urophylla*, de 15 a 18 g de  $\text{K kg}^{-1}$  conforme Dell *et al.* (1995). Silveira & Malavolta (2003) também verificaram grandes diferenças entre progênies de *Eucalyptus grandis* quanto a faixa adequada de potássio nas folhas, durante a fase juvenil. A faixa de concentração adequada para a progênie mais responsiva foi de 6,4 a 15,3  $\text{g kg}^{-1}$ , enquanto que para a progênie menos responsiva, de 3,1 a 14,0  $\text{g kg}^{-1}$ .

Silveira *et al.* (1997) analisaram as folhas de diferentes espécies de *Eucalyptus* com e sem sintomas visuais de deficiência de potássio, os quais são caracterizados por clorose marginal ou avermelhamento seguida de necrose das margens. As folhas sem sintomas estavam localizadas na parte superior da copa e as com sintomas na parte inferior da copa. O solo da área é caracterizado por textura arenosa e baixos teores de potássio trocável ( $< 1,0 \text{ mmol c dm}^{-3}$ ). A espécie que apresentou maior diferença entre folhas com e sem sintomas foi o *E. citriodora*, sendo que as folhas com sintomas apresentaram apenas 26% do teor encontrado nas folhas sem sintomas (Tabela 11).

### 6.2. Monitoramentos Nutricionais

O monitoramento nutricional dos plantios de eucalipto tem se tornado uma importante ferramenta na tomada de decisão em relação às adubações corretivas a serem efetuadas durante o ciclo de produção, aos ajustes no programa operacional de adubação e também as avaliações de eficiência das adubações realizadas.

A Tabela 12 mostra a interpretação do estado nutricional do eucalipto em relação ao potássio pelo método do nível crítico em diferentes regiões do Brasil. Nota-se grande variação dos teores foliares de potássio em uma mesma região. O teor mais elevado foi encontrado na região Sul da Bahia, enquanto o menor na região de Bocaiúva/MG. Comparando os teores obtidos nos levantamentos nutricionais com os considerados adequados pela literatura, observa-se que na região de Curvelo/MG se constatou baixa frequência de deficiência de potássio. Os solos dessa região são argilosos e caracterizados por teores trocáveis de potássio, na profundidade de 0-40 cm, quase sempre maior que  $1,0 \text{ mmol c dm}^{-3}$ , atingindo muitas vezes valores superiores a  $3,0 \text{ mmol c dm}^{-3}$ . A deficiência de potássio não tem sido registrada com frequência também nos plantios do Vale do Paraíba e na região Sul da Bahia. Nos sítios dessas duas regiões, a deficiência de cálcio aparece com maior frequência que a de potássio. A região do Vale do Paraíba, é caracterizada por argissolos que apresentam elevada quantidade de minerais secundários contendo potássio estrutural, com isso na maioria das vezes os teores trocáveis de potássio são altos. No entanto, os teores trocáveis de potássio nos solos do sul da Bahia são bem inferiores quando comparados com os teores da região de Curvelo/MG e do Vale do Paraíba/SP, e mesmo assim, a deficiência na planta não tem sido comumente encontrada. As hipóteses levantadas para esse fato seriam que: a) a precipitação na região sul da Bahia é maior e melhor distribuída durante o ano quando comparada às outras duas regiões, favorecendo desse modo uma maior absorção de potássio; b) os plantios estão próximos da região litorânea, podendo haver alguma adição de potássio pelos ventos marítimos, ajudando dessa maneira a suprir a demanda desse nutriente. Talvez, devido a uma maior e melhor distribuição das chuvas na região sul da Bahia, os níveis críticos de potássio no solo considerados para a recomendação de adubação devam ser inferiores aos da região do cerrado, onde o período de

**Tabela 9.** Interpretação dos dados de análise de folhas para o *Eucalyptus*.

Elementos	Faixa adequada			Faixa deficiente		
	Boardman <i>et al.</i> (1997) <sup>1</sup>	Dell <i>et al.</i> (1995) <sup>1</sup>	Silveira <i>et al.</i> (1999) <sup>2</sup>	Malavolta (1987) <sup>3</sup>	Boardman <i>et al.</i> (1997) <sup>3</sup>	Silveira <i>et al.</i> (1999) <sup>1</sup>
<b><math>\text{g kg}^{-1}</math></b>						
N	16-29	18 - 34	22 - 27	8 - 13	< 15	< 16
P	1-3	1,0 - 2,2	1,7 - 2,2	0,4 - 0,8	< 0,7	< 1,1
K	6-18	9 - 18	8,5 - 9,0	6 - 8	< 5	< 7,0
Ca	2-4	3 - 6	7,1 - 11	2 - 4	< 1	< 5,5
Mg	1-3	1,1 - 2,1	2,5 - 2,8	1,5 - 2,0	< 0,6	< 2,1
S	1,5-2,0	1,5 - 2,3	1,5 - 2,1	0,8 - 1,2	< 1	< 1,3
<b><math>\text{mg kg}^{-1}</math></b>						
B	15-100	15 - 27	34 - 44	15 - 20	< 8	< 21
Cu	4-12	2 - 7,4	6 - 7	4 - 6	< 2	< 4
Fe	50-156	63 - 128	65 - 125	75 - 100	-	-
Mn	190-700	193 - 547	200 - 840	< 100	-	-
Zn	15-46	17 - 42	15 - 20	20 - 30	< 7	< 7

1 - dados referentes a *E. grandis* no estádio adulto; 2 - referentes a *E. grandis* no Estado de São Paulo; 3 - *Eucalyptus* na fase juvenil.

**Tabela 10.** Faixa deficiente e adequada das concentrações de potássio nas folhas recém maduras de espécies de *Eucalyptus* no estágio juvenil e adulto.

Espécie	Faixa		Autor
	Deficiente	Adequada	
g kg <sup>-1</sup>			
<b>Estádio juvenil</b>			
<i>E. globulus</i>	4-5	10-15	Dell <i>et al.</i> (1995)
<i>E. globulus</i>	< 4	8-12	Boardman <i>et al.</i> (1997)
<i>E. grandis</i>	-	3,3-8,1	Novais <i>et al.</i> (1980)
<i>E. grandis</i>	< 5	12-14	Dell <i>et al.</i> (1995)
<i>E. grandis</i> - progênie pouco responsiva	< 3,1	3,1-14,0	Silveira & Malavolta (2003)
<i>E. grandis</i> - progenie responsiva	< 6,4	6,4-15,3	Silveira & Malavolta (2003)
<i>E. cloeziana</i>		7,0-13,8	Novais <i>et al.</i> (1980)
<i>E. pellita</i>	3-4	9-15	Dell <i>et al.</i> (1995)
<i>E. urophylla</i>	3-5	15-18	Dell <i>et al.</i> (1995)
<i>E. urophylla</i>	-	8-14	Huoran & Wenlong (1996)
<i>E. pilularis</i>	< 3	3,5-5	Cromer <i>et al.</i> (1981)
<i>E. saligna</i>	-	11	Yost <i>et al.</i> (1987)
<i>E. camaldulensis</i>	-	6-10	Boardman <i>et al.</i> (1997)
<i>E. maculata</i>	< 4	10-17	Dell (1996)
<b>Estádio adulto</b>			
<i>E. saligna</i>	< 6	8,5-10	Silveira <i>et al.</i> (1998)
<i>E. grandis</i>	< 7	8-10	Silveira <i>et al.</i> (1998)
<i>E. grandis</i>	5-6	9-18	Dell <i>et al.</i> (1995)
<i>E. grandis</i>	< 5	6-18	Boardman <i>et al.</i> (1997)
<i>E. globulus</i>	< 4,5	5-12	Boardman <i>et al.</i> (1997)
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	2-6	9-15	Dell <i>et al.</i> (1995)
<i>Eucalyptus</i> spp	6-8	10-12	Malavolta (1987)
<i>E. globulus</i>	4-7	9-11	Dell <i>et al.</i> (1995)
<i>E. camaldulensis</i>	< 6	6-8	Boardman <i>et al.</i> (1997)
<i>E. urophylla</i>	-	8-14	Dell <i>et al.</i> (1995)
<i>E. dunnii</i>	-	8-15	Boardman <i>et al.</i> (1997)
<b>Varição</b>	<b>2-7</b>	<b>3,5-18</b>	-

**Tabela 11.** Teores de potássio em folhas com e sem sintomas visuais de deficiência em espécies de *Eucalyptus* na região de Botucatu/São Paulo.

Espécies	Sem sintomas	Com sintomas
	g de K kg <sup>-1</sup>	
<i>E. citriodora</i>	5,85 (100)	1,51 (26)
<i>E. dunii</i>	4,89 (100)	2,19 (45)
<i>E. exerta</i>	7,48 (100)	3,94 (53)
<i>E. grandis</i>	4,84 (100)	3,21 (66)
<i>E. pilularis</i>	4,08 (100)	2,07 (51)
<i>E. pellita</i>	5,66 (100)	2,55 (45)
<i>E. ptychocarpa</i>	4,61 (100)	2,78 (60)
<i>E. robusta</i>	3,93 (100)	2,45 (62)
<i>E. saligna</i>	5,84 (100)	2,68 (46)
<b>Média</b>	<b>5,24 (100)</b>	<b>2,60 (50)</b>

Fonte: Silveira *et al.* (1997).

déficit hídrico é mais marcante. Isso mostra a necessidade de se priorizar experimentos para determinar o nível crítico de potássio em função do regime hídrico da região, uma vez que o potássio está envolvido no controle estomático.

A deficiência de potássio é comumente encontrada em latossolos arenosos e neossolos quartzarênicos situados nas regiões de Bofete, Itatinga, Luiz Antonio e Lençóis Paulista, em São Paulo e na região de João Pinheiro, Minas Gerais.

Silveira *et al.* (2003a) verificaram que 93% da área amostrada de um clone de rápido crescimento apresentavam carencia de potássio (Tabela 12). Os resultados obtidos por Bellote & Ferreira (1993) em cinco municípios do estado de São Paulo (Mogi Guaçu, Casa Branca, Itirapina, Itatinga e Angatuba) corroboram com os obtidos nos monitoramentos nutricionais nesses tipos de solos. Esses autores verificaram que o potássio e o magnésio foram os nutrientes mais limitantes para o crescimento do *Eucalyptus grandis*.

Aumentos nas concentrações foliares de potássio proporcionaram maiores alturas que aumentos nas concentrações de Mg. Boas produtividades foram alcançadas quando as árvores apresentavam teores de potássio maior ou igual a 7,5 g kg<sup>-1</sup> (Figura 13). Nos neossolos quartzarênicos e latossolos arenosos, a adubação potássica deve ser parcelada, uma vez que são caracterizados por baixa capacidade de troca catiônica, o que acaba proporcionando um pequeno efeito residual da adubação. Nos solos mais argilosos como os da região sul do estado de São Paulo ou do norte e noroeste do cerrado de Minas Gerais, a limitação de crescimento pela carência de potássio também é freqüente. Porém, o que muda é que esses solos têm um maior efeito residual da adubação (maior CTC), com isso uma menor necessidade de parcelamento da dose total recomendada.

Em sítios de alta produtividade, Silveira *et al.* (2000c) verificaram relação linear entre a concentração foliar de K e

o volume de madeira para *E. grandis* com 2 anos de idade, na região de Capão Bonito/SP (Figura 14A).

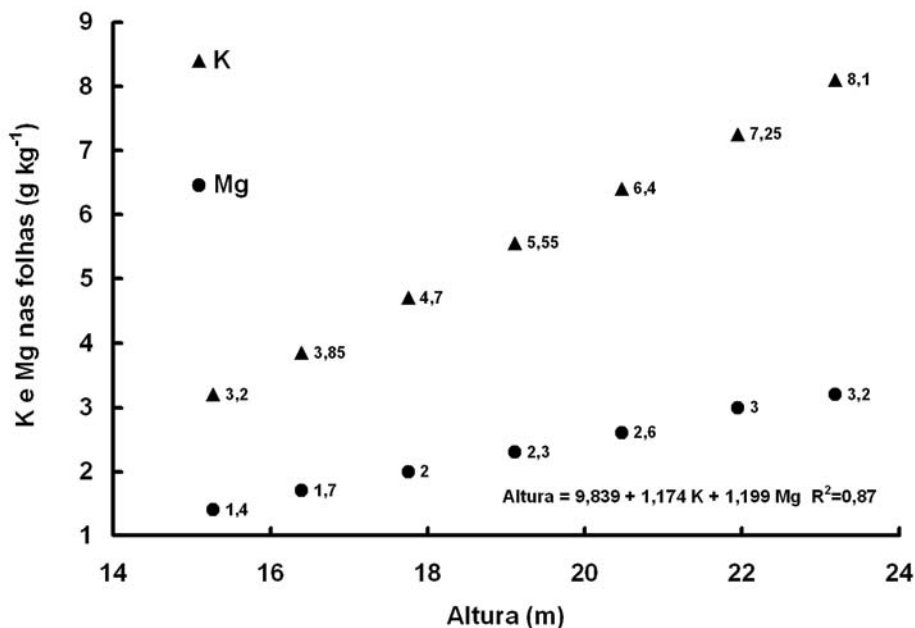
Herbert (1996) encontrou que a relação foliar N/K e K/P considerada ótima para o crescimento do *E. grandis* foi de 3,5 e 5, respectivamente. Silveira *et al.* (2000c) também citam que as maiores produtividades de *E. grandis* (75 a 95 st ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), com 2 anos de idade, na região de Lençóis Paulista/SP, estavam associadas a razões foliares de K/Ca na faixa de 1,3 a 1,5, sendo que para relações menores que 1,0, ocorriam quedas significativas na produtividade (Figura 14 B). A queda de produtividade estava associada à aplicação de 10 a 20 t ha<sup>-1</sup> de "lama de cal" (resíduo da indústria de celulose, rico em Ca, 24%) nos solos de textura arenosa (> 90% de areia). Houve um desequilíbrio na relação K/Ca que acabou proporcionando uma severa deficiência de K com comprometimento no crescimento.

**Tabela 12** Concentrações foliares de potássio em plantios de *Eucalyptus*, em diferentes regiões e suas interpretações.

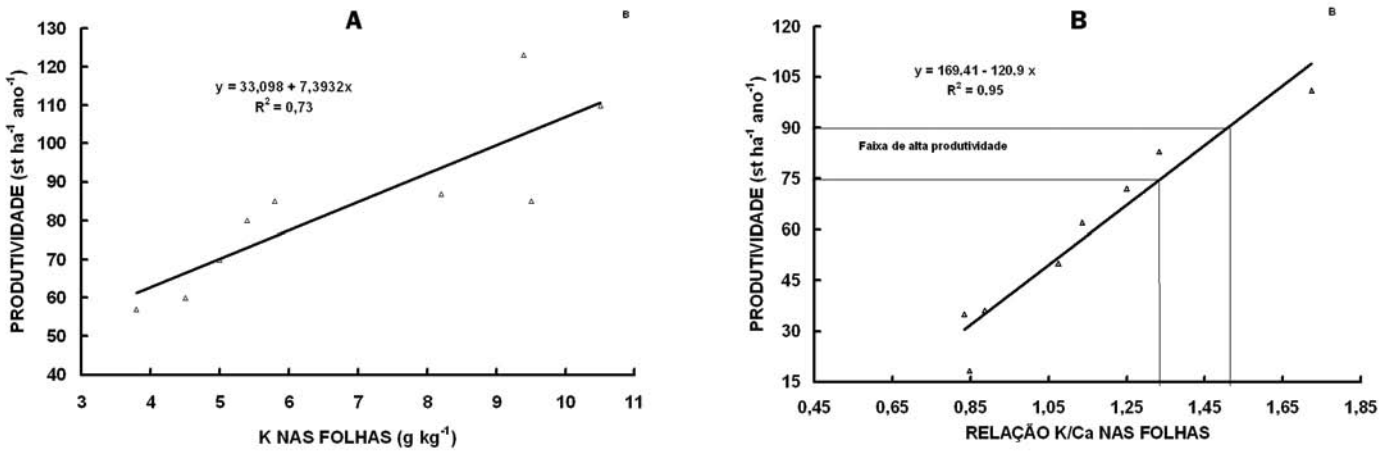
Região	Fonte	Idade (meses)	Faixa de variação		Deficiente	Adequada	Acima da adequada
			Mínima	Máxima			
			g kg <sup>-1</sup>		área amostrada (%)		
Bofete e Itatinga/SP	1	12 e 24	4,5	13,0	41	54	5
Sul do Estado de SP*	1	12 e 24	4,5	11,0	69	18	13
Sul do Estado de SP	2	18	5,4	9,5	40	60	0
Vale do Paraíba/SP	2	18	5,9	15,5	15	54	31
Sul da Bahia	3	12	5,1	18,2	13	50	37
Itatinga/SP	4	12 a 60	4,8	9,6	80	20	0
Lençóis Paulista/SP	5	12 a 18	4,9	14,0	55	43	2
Luiz Antônio/SP**	6	24 a 36	5,3	9,0	93	7	0
João Pinheiro/MG	7	12 a 36	4,5	11,0	78	22	0
Bocaiúva/MG	7	12 a 36	3,7	9,0	88	12	0
Curvelo/MG***	7	12 a 36	8,4	12,3	8	59	33

1 - Silveira *et al.* (2002a); 2 - Sgarbi & Silveira (2001); 3 - Silveira *et al.* (2001a); 4 - Silveira *et al.* (1995b); 5 - Silveira *et al.* (1999); 6 - Silveira *et al.* (2003a); 7 - Silveira *et al.* (2003b).

\* definida pelas cidades de Itapetinga, Capão Bonito, Buri, São Miguel Arcanjo e Angatuba. \*\* monitoramento nutricional realizado em um clone de rápido crescimento inicial. A avaliação foi realizada em 32 sítios com diferentes níveis de produtividades. \*\*\* compreende também as cidades de Pompeu, Abaeté e Felixlândia.



**Figura 13.** Relação entre a altura das árvores e os teores de potássio e magnésio nas folhas de *Eucalyptus grandis* com 3 anos de idade. Fonte: adaptado de Belotte & Ferreira (1993).



**Figura 14. A.** Relação entre a concentração de potássio nas folhas e a produtividade de *E. saligna*, na região de Capão Bonito/SP; **B.** Efeito da relação K/Ca nas folhas sobre a produtividade de *E. grandis* na região de Lençóis Paulista/SP.

Fonte: Silveira et al. (2000c).

Dentre as formas de avaliação do estado nutricional das plantas utilizando-se a análise foliar tem-se o DRIS (Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação). Esse método utiliza as razões entre os nutrientes para interpretar os resultados das análises foliares. A maior vantagem é que quando se tem dois ou mais nutrientes abaixo da faixa adequada, esse método permite determinar qual nutriente está mais afetando a produtividade, uma vez que ordena a limitação. Gava (2003)

avaliando plantas de *Eucalyptus grandis* com e sem adubação potássica, em Latossolo vermelho amarelo distrófico com textura média, constatou-se que na sua ausência de potássio, esse nutriente foi na maioria das parcelas o segundo nutriente mais limitante logo depois do cobre. Quando se realizou a adubação potássica, o potássio passou a ser o terceiro ou quarto nutriente mais limitante, sempre depois do Cu e Mn, e às vezes depois do boro (Tabela 13).

**Tabela 13.** Interpretação do estado nutricional de *Eucalyptus grandis* aos 7 anos de idade na presença e ausência de potássio.

Trat*	Rep**	Teor nas folhas											Produtividade (IMA) m³ ha⁻¹ ano⁻¹
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		g kg⁻¹						mg kg⁻¹					
Com K 180 kg ha⁻¹ de K₂O	1	19,4	1,1	8,5	10,4	3,9	1,1	23	6	82	210	12	45,8
	2	19,9	1,2	7,9	8,6	4,3	1,1	29	4	85	374	12	49,0
	3	22,0	1,0	7,5	8,4	3,2	1,8	27	4	78	142	6	42,4
	4	20,6	0,9	6,4	6,7	3,3	1,1	27	2	74	115	12	50,4
	5	20,4	1,1	8,2	7,7	3,1	1,3	24	4	76	338	12	47,4
Sem K	1	21,7	1,0	5,6	8,1	1,7	1,3	18	5	61	291	10	22,4
	2	21,1	0,9	5,1	8,7	2,3	1,4	17	4	59	265	11	34,1
	3	20,1	1,0	4,8	13,1	2,7	1,2	19	5	72	966	10	31,2
	4	19,8	0,9	7,1	13,4	4,1	1,2	24	4	97	1031	12	33,6
	5	15,2	1,0	6,5	8,8	2,7	1,3	23	6	81	495	12	30,6
		Índices DRIS											Ordem de limitação
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Com K 180 kg ha⁻¹ de K₂O	1	317	261	-60	440	352	273	-87	-865	-38	-391	157	Cu>Mn>B>K>Fe> Zn>P>S>N>Mg>Ca
	2	445	354	-187	468	449	440	-41	-1191	13	-287	181	Cu>Mn>K>B>Fe> Zn>P>S>N>Mg>Ca
	3	623	543	-179	549	553	716	-25	-1274	-76	-599	67	Cu>Mn>K>Fe>B> Zn>P>Ca>Mg>N>S
	4	949	741	-315	758	860	1028	-15	-2410	-219	-951	532	Cu>Mn>K>Fe>B> Zn>P>Ca>Mg>N>S
	5	406	313	-83	397	301	424	-57	-1042	-47	-239	201	Cu>Mn>B>K>Fe> Zn>Mg>P>Ca>N>S
Sem K	1	390	293	-47	424	127	358	-96	-796	-26	-149	127	Cu>Mn>B>K>Fe> Zn=Mg>P>S>N>Ca
	2	562	408	-175	550	378	576	-120	-1260	-60	-313	222	Cu>Mn>K>B>Fe> Zn>Mn>P>Ca>N>S
	3	587	431	-316	853	386	517	-213	-1418	301	201	37	Cu>K>B>Zn>Mn> Fe>Mg>P>S>N>Ca
	4	742	511	-326	968	607	703	-214	-2024	256	18	208	Cu>K>B>Mn>Zn> Fe>P>Mg>S>N>Ca
	5	174	158	-72	342	142	218	-24	-595	66	-2	86	Cu>K>B>Mn>Fe> Zn>Mg>P>N>S>Ca

\* Trat = tratamentos; \*\* Rep = repetição.

## 7. RESPOSTA DO *Eucalyptus* À APLICAÇÃO DE POTÁSSIO

O *Eucalyptus* tem apresentado resposta à aplicação de K em solos com teor de 0,2 até 1,0 mmol<sub>c</sub> de K dm<sup>-3</sup> de solo, conforme verificados por Barros *et al.* (1981), Barros & Novais (1990, 1996), Stape & Zani Filho (1990), Galo (1993), Scatolini *et al.* (1996), Valeri *et al.* (1996) e Gava (1997). Nos solos com valores acima de 1,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, os resultados têm sido contraditórios, sendo que na maioria das vezes não se encontram respostas à aplicação deste nutriente e quando ocorrem são justificadas pela estreita relação Ca:Mg (< 1 unidade) ou pelos elevados valores de Ca+Mg no solo (> 8 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Novais *et al.* (1980) verificaram que *E. grandis*, na fase de muda, não respondeu a aplicação de potássio, o contrário tendo sido observado para *E. cloeziana*. Os autores ainda sugerem que o nível crítico de K no solo para *E. grandis*, na fase inicial do crescimento, está abaixo de 0,23 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (extrator Mehlich 1), quando o solo é pobre em Ca e Mg. Para *E. cloeziana*, os valores estavam na faixa de 0,28 a 0,79 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, sendo que os valores mais altos foram obtidos para solos que receberam calagem. Ainda em relação ao nível crítico de K no solo para o crescimento de mudas de *E. grandis*, Prezotti (1985) verificou que os níveis para obtenção de 90 % da produção máxima foram de 1,20 a 1,33 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para solos de textura média a arenosa e 1,87 a 2,18 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para os de textura argilosa. Estes valores foram mais altos que os encontrados por Novais *et al.* (1980), sendo justificados em razão do pequeno volume de solo (400 cm<sup>3</sup>) que foi utilizado para a produção das mudas.

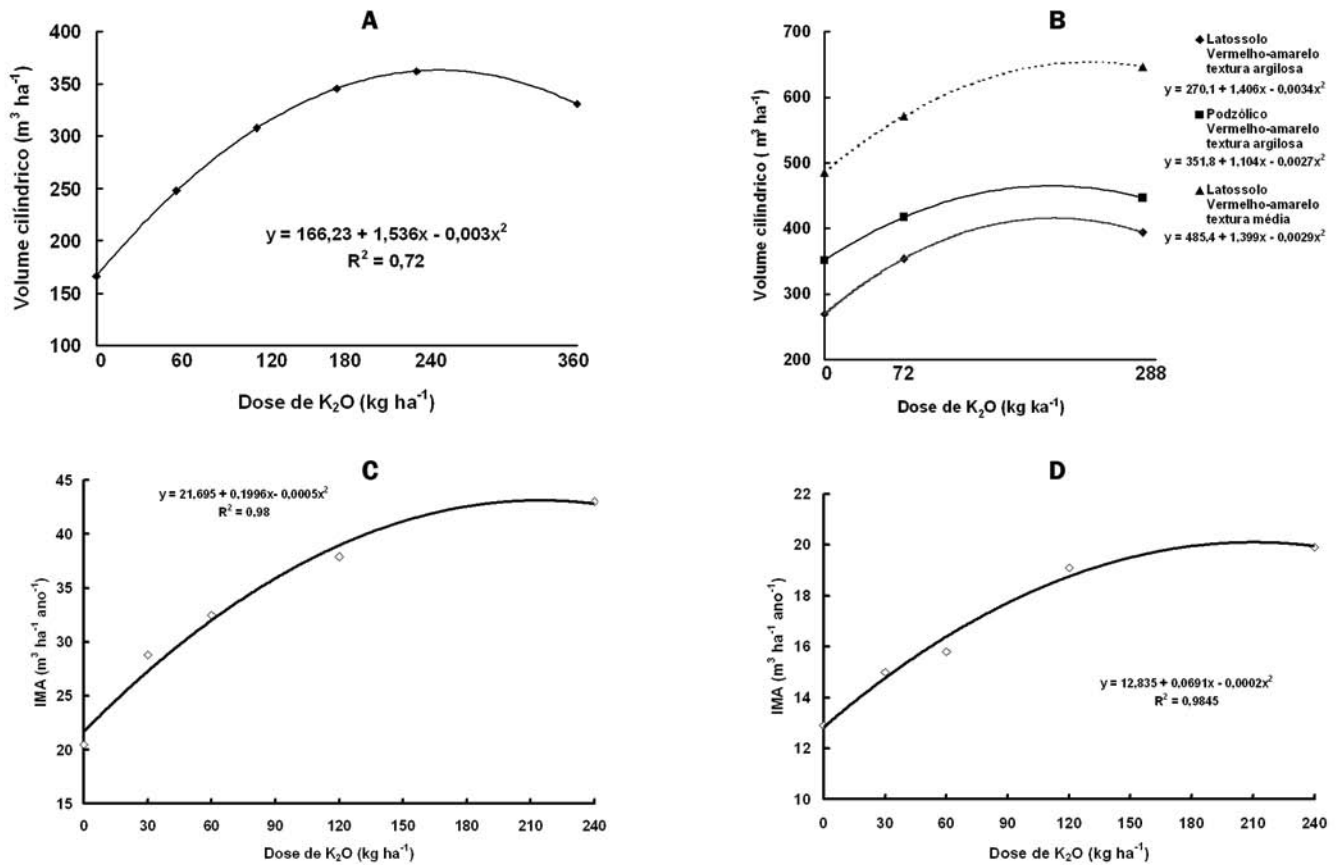
Resultados semelhantes aos encontrados por Novais *et al.* (1980) também foram verificados por Sgarbi *et al.* (1997), que não constataram redução no crescimento de *E. grandis* x *E. urophylla* quando cultivado na ausência de potássio em relação ao tratamento completo.

Valeri *et al.* (1991) estudaram o efeito de doses de N (0, 33 e 66 kg ha<sup>-1</sup>), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) e K<sub>2</sub>O (0, 33 e 66 kg ha<sup>-1</sup>) e calcário dolomítico (0 e 2 t ha<sup>-1</sup>) na produção de *E. grandis* plantado em neossolo quartzacênico, na região de Luís Antônio/SP. Não verificaram aumentos na produção de madeira com a aplicação de nitrogênio e fósforo. Em relação ao potássio, ocorreu efeito quadrático, sendo que a máxima produção (86 st ha<sup>-1</sup>) foi obtida com a dose estimada de 61 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. O *E. grandis* também respondeu a aplicação de calcário, com aumento de 13 % no volume de madeira em relação aos tratamentos que não receberam calagem. Valeri *et al.* (1996) estudaram o efeito do parcelamento e de doses de potássio (0, 50 e 100 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) nos 5 primeiros anos após o plantio, em neossolo quartzacênico e latossolo vermelho escuro álico. Concluíram que no latossolo, o maior incremento em volume foi obtido com a aplicação de 50 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, parcelada nos 4 ou 5 primeiros anos, enquanto que na areia quartzosa, com aplicação de 100 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, parcelada em doses iguais nos cinco primeiros anos ou em doses crescentes nos 4 primeiros anos.

Barros & Novais (1990) relataram que a necessidade de potássio aumenta com o acúmulo de biomassa e, portanto, com a idade do *Eucalyptus*. De acordo com os resultados de Barros & Novais (1990), Rocha Filho *et al.* (1978) cultivando mudas de *E. urophylla* para obtenção de sintomas de deficiência dos macronutrientes, boro e ferro, constataram que os sintomas de carência de potássio foram os últimos a aparecer.

Plantas jovens requerem pouco potássio e solos com níveis de K em torno de 0,51 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (20 mg kg<sup>-1</sup>) são suficientes para o crescimento inicial das mudas segundo Barros & Novais (1990). Entretanto, Barros *et al.* (1981) encontraram respostas à aplicação de potássio no plantio (27 g K<sub>2</sub>O planta<sup>-1</sup>) para *E. saligna* cultivado em solo com 0,67 mmol<sub>c</sub> de K dm<sup>-3</sup>, ocorrendo incrementos de 67 % no volume de madeira aos 78 meses de idade. Resultados semelhantes foram obtidos quando estudaram o efeito da aplicação de potássio (0, 60, 120, 180 e 240 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) sobre a produção de biomassa de *E. grandis* cultivado em solo com 0,54 mmol<sub>c</sub> de K dm<sup>-3</sup>. Verificaram que a produção máxima aos 6,5 anos foi obtida com a dose de 179 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, a qual aumentou em 63 % a produção quando comparada com a ausência de K na adubação (Barros *et al.*, 1992). Esses resultados são concordantes com os obtidos por Gava (1997), ao estudar o efeito da aplicação de K (0; 60; 120; 180; 240 e 360 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) em *E. grandis* sob condição de 2<sup>a</sup> rotação, plantados em dois solos, um com teor de 0,35 (argissolo vermelho amarelo, distrófico, textura arenosa/média localizado em Angatuba/SP) e outro com 1,7 mmol<sub>c</sub> de K dm<sup>-3</sup> (argissolo vermelho amarelo, textura média arenosa/argilosa localizado em São Miguel Arcanjo/SP). Observou resposta à aplicação de K até 256 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, no solo mais pobre em potássio, com aumento de 118 % em volume de madeira em relação a testemunha (Figura 15A). A dose de K<sub>2</sub>O para a obtenção de 90 % da produção máxima foi de 145 kg ha<sup>-1</sup>. No entanto, para o solo com nível mais elevado de potássio, a resposta à adição desse macronutriente foi nula. Scatolini *et al.* (1996) também obtiveram resultados similares para povoamentos de *E. grandis* localizados em solos com baixo teor de K trocável (0,7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), na região do Vale do Paraíba, ocorrendo respostas até 206 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> no argissolo vermelho amarelo textura argilosa e 240 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> no latossolo vermelho amarelo textura média (Figura 15B). Em outro estudo, Galo (1993) encontrou que a dose para se alcançar 90 % da produção máxima de madeira para *E. grandis* aos 6,5 anos de idade, foi de 108 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, em solos do cerrado de Itamarandiba/MG, cujo o teor original de K era de 0,59 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Neste estudo, os ganhos de produtividade com a aplicação de potássio foram de 92 % quando comparou-se a dose de 200 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> em relação a testemunha (Figura 15C). Na mesma área experimental do trabalho realizado por Galo (1993) em primeira rotação, Faria *et al.* (2002) observaram também ganhos consideráveis no volume de madeira da rebrota com a aplicação de potássio, sendo que a diferença de incremento médio anual (IMA) entre a testemunha e 240 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O foi de 63,7%. Constatou-se queda de produtividade da 1<sup>a</sup> rotação para a rebrota, independente da dose de potássio aplicada. Na testemunha, o IMA da rebrota foi equivalente a 63% da 1<sup>a</sup> rotação, na maior dose de potássio, a diferença percentual foi de 46% (Figura 15D).

Stape & Benedetti (1997) constataram respostas de *E. grandis* à aplicação de NK, em 2<sup>a</sup> rotação na região de Itirapina/SP (solos arenosos), principalmente o potássio (Figura 16A). Nota-se que houve uma diferença de 4,45 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> quando se compara parcelas com e sem NK, independente da faixa de produtividade, mostrando que a dose de NK (57 kg de N e 57 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) aplicada pós-desbrota aos 16 meses, com maior influência do potássio, foi importante para o acréscimo de produtividade. Esses resultados foram semelhantes aos verificados por Gava (1997) para *E. grandis* na região sul do estado de São Paulo.



**Figura 15.** Relação entre a adubação potássica e a produtividade do *E. grandis*. **A.** Volume de *E. grandis* aos 5 anos de idade em condição de segunda rotação na região de Angatuba/SP em função das doses de potássio; **B.** Volume de *E. grandis* aos 4 anos de idade em diferentes tipos de solos, na região do Vale do Paraíba, em função das doses de potássio; **C.** Produtividade de *E. grandis* aos 6,5 anos de idade na região de Itamarandiba/MG em função das doses de potássio, na condição de 1ª rotação. **D.** Produtividade de rebrota de *E. grandis* aos 6,5 anos de idade na região de Itamarandiba/MG em função das doses de potássio

Outros estudos realizados por Gava (2003) mostraram excelentes respostas do *Eucalyptus* à aplicação de potássio. Em Latossolo Vermelho Amarelo, textura média e distrófico, a fertilização potássica aos 2 e 4 anos após o corte aumentou em 27% a biomassa de lenho aos 6 anos de idade (Figura 16B). Observa-se que o maior acúmulo de potássio na casca e total ocorreu no tratamento que recebeu potássio, sendo nítido o incremento verificado após o segundo ano, quando foi realizada a primeira adubação potássica de manutenção. Nota-se ainda que após cinco anos de idade, ocorreu um incremento acentuado da quantidade acumulada de potássio reflexo da adubação realizada aos 4 anos de idade (Figura 16C). Ainda Gava (2003) estudando a produtividade de *Eucalyptus grandis* em solos de baixa fertilidade na condição de 2ª rotação, verificou resposta positiva à aplicação de potássio na maioria dos sítios, havendo recuperação da produtividade, ou seja, a produtividade da 2ª rotação foi superior a verificada na 1ª rotação (Figura 16D). Isso é um exemplo notório que mostra que a sustentabilidade florestal foi proporcionada pela adubação potássica.

Dentro de uma mesma região climática pode existir grande variação de resposta à fertilização potássica, principalmente quando se compararam sítios localizados em solos com as mesmas características físicas, porém, em diferentes condições de relevo. Esse exemplo foi notório em solos com baixo teor de potássio localizados na região da Serra do Mar em São Paulo. Nesse estudo constatou-se diferente potencial de resposta da fertilização potássica ao se comparar a base com o topo do lançante (morro). Os maiores ganhos de produtividade, em torno de 26%, foram obtidos

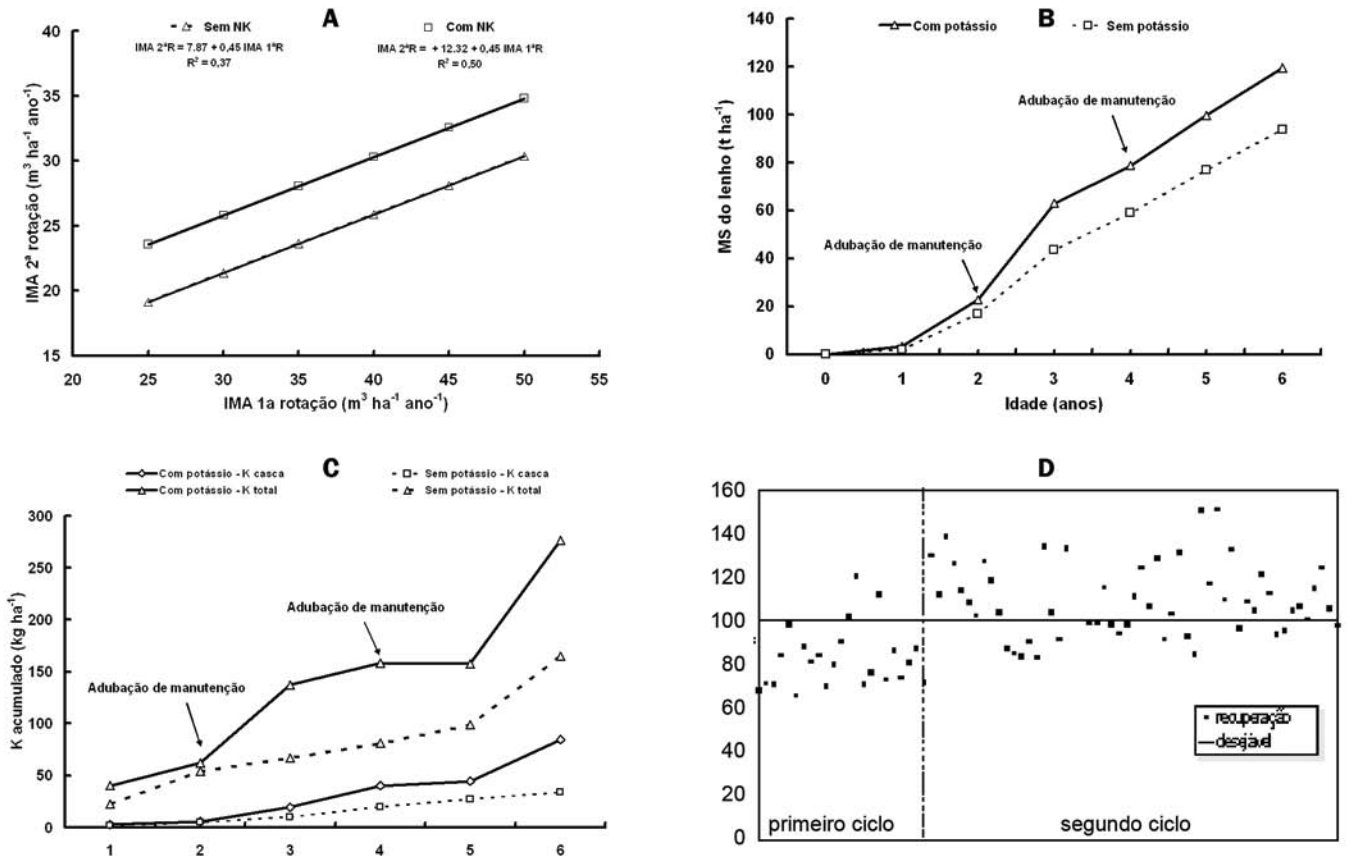
no sítio 2, localizado no topo do morro, com a aplicação de  $133 kg ha^{-1}$  de  $K_2O$ . No sítio 1, localizado na base do morro, o aumento máximo de incremento foi de apenas 10% com a dose de  $122 kg$  de  $K_2O ha^{-1}$  (Figura 17A). Segundo Gava (2003), esses resultados devem estar relacionados ao fluxo de água lateral e subsuperficial, uma vez que em áreas acidentadas a água infiltra e drena lateralmente, fazendo com que a parte baixa do terreno acumule água. Em condições de menor fornecimento de água, a exigência de potássio passa a ser maior devido a uma maior necessidade de controle estomático. Esses resultados indicam a necessidade de se diferenciar a fertilização potássica em função do regime hídrico dos solos. No caso de regiões acidentadas, seria importante que a adubação potássica fosse realizada considerando a cota do terreno e sua relação com a dinâmica da água, permitindo dessa forma o estabelecimento de curvas de respostas com posterior avaliação da relação custo/benefício.

São raras as informações referentes aos efeitos das relações K/Ca e K/Mg sobre a produtividade do *Eucalyptus*. Em estudo realizado em Latossolo argiloso de alta capacidade de troca catiônica e baixíssimos teores de cálcio, verificou-se a importância de se manter adequado os níveis de potássio como forma de potencializar a resposta à calagem. Quando a dose de potássio foi de  $60 kg ha^{-1}$  de  $K_2O$ , houve resposta positiva à aplicação de calcário dolomítico, independente da dose de nitrogênio ter sido  $30$  ou  $60 kg ha^{-1}$ . Porém, na dose mais baixa de potássio ( $30 kg ha^{-1}$  de  $K_2O$ ), a deficiência desse macronutriente inibiu a resposta à calagem (Figura 17B). Na maior dose de potássio combinada com a menor

dose de nitrogênio, o aumento proporcionado pela aplicação de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário em relação a testemunha foi de aproximadamente 12% e, na combinação com a maior dose de nitrogênio de 10%.

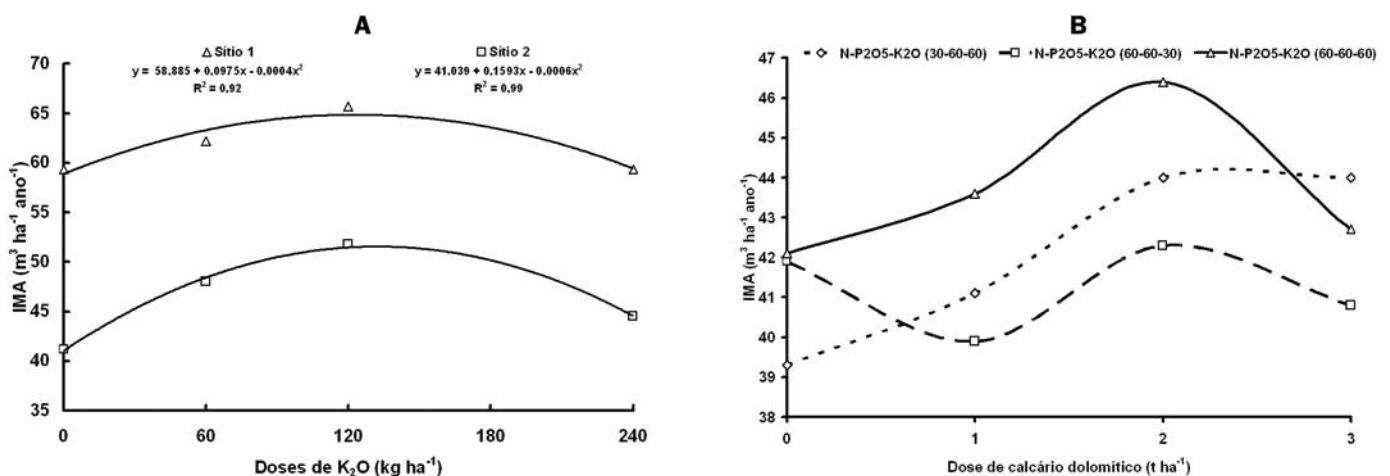
Outra interação que assume importância no crescimento do *Eucalyptus* é K/B. Gava (2003) verificou em sítios acidentados da serra do Mar, município de São Luiz do Pa-

raitinga, São Paulo, que a aplicação isolada de potássio promoveu aumento no teor foliar de boro em torno de 32% em relação à testemunha, que não recebeu boro e nem potássio. O aumento de produtividade obtido em relação a testemunha com a aplicação isolada de boro foi de 32,5%, com a de potássio 25% e quando os dois foram aplicados conjuntamente 40% (Figura 18).



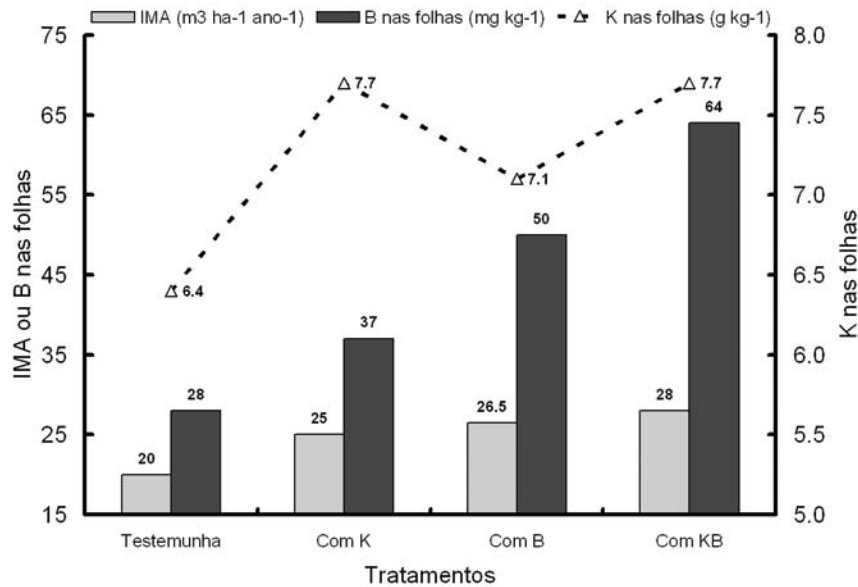
**Figura 16.** A. Relação entre o incremento médio anual da 2ª rotação aos 5,2 anos e o incremento médio anual da 1ª rotação aos 7 anos de idade para parcelas com e sem fertilização NK, numa ampla faixa de produtividade. B. Matéria seca de lenho de *Eucalyptus grandis* em função da fertilização potássica. C. Acúmulo de potássio na casca e total em *Eucalyptus grandis* em função da fertilização potássica. D. Recuperação da produtividade do *Eucalyptus* em diferentes sítios do estado de São Paulo devido a fertilização potássica na 2ª rotação.

Fonte: Gava (2003).



**Figura 17.** A. Resposta do *Eucalyptus grandis* aos 6 anos de idade à fertilização potássica em sítios com diferentes condições hídricas localizados na Serra do Mar de São Paulo. B. Produtividade do *Eucalyptus grandis* aos 6 anos de idade em diferentes doses de NPK e calcário dolomítico em Latossolo argiloso.

Fonte: Gava (2003).



**Figura 18.** Produtividade de brotação de *Eucalyptus grandis* aos 7 anos de idade na região da Serra do Mar, São Paulo em função da aplicação de boro e potássio.

Fonte: Gava (2003).

## 8. RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO

A recomendação de potássio é feita com base em curva de resposta e ajustada de acordo com o teor disponível no solo, textura do solo e teor de cálcio no solo. A dose total recomendada com base em curva de resposta e ajustada para o teor disponível em solos com diferentes classes texturais encontra-se na **Tabela 14**. Essa recomendação leva em conta o teor de argila do solo e tem mais classes de interpretação de K trocável quando comparada com a primeira recomendação de Silveira & Malavolta (2000) que está descrita na **Tabela 15**. Portanto, observa-se um avanço em relação à recomendação de potássio, sendo que o próximo passo será incluir diferentes condições de regime hídrico, adequando a recomendação para os diferentes sítios.

As doses totais apresentadas na **Tabela 15** devem ser parceladas em função da capacidade de troca catiônica do solo.

Em solos arenosos quando a dose recomendada for superior a 100 kg de  $K_2O$   $ha^{-1}$ , torna-se necessário parcelar a dose total em até 4 a 5 aplicações, enquanto que nos argilosos em até 2 a 3 aplicações.

Em plantações com deficiência de potássio, a adubação corretiva deve levar em conta os teores foliares. Com os resultados de vários monitoramentos nutricionais realizados entre 18-24 meses de idade em diferentes regiões do Brasil, elaborou-se a primeira aproximação da recomendação de adubação corretiva com base no teor foliar (**Tabela 16**). A Tabela foi elaborada com a seguinte equação: solo arenoso ou de textura média - Dose corretiva de  $K_2O$  (kg  $ha^{-1}$ ) =  $300 - 35 \times$  teor foliar; solo argiloso - Dose corretiva de  $K_2O$  (kg  $ha^{-1}$ ) =  $380 - 44 \times$  teor foliar. A adubação corretiva deve ser realizada entre 24 e 36 meses de idade, recomendando-se que as maiores doses sejam parceladas em duas aplicações.

**Tabela 14.** Nova recomendação de adubação potássica para *Eucalyptus* em função do teor de potássio trocável e argila do solo.

Textura/Teor de argila	Teor de K trocável no solo (mmolc $dm^{-3}$ )				
	0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-3,0	> 3,0
	Dose total de $K_2O$ (kg $ha^{-1}$ )				
Arenoso (< 15%)	160	120	80	40	20
Média (15-35%)	180	140	100	40	20
Argilosa (>35%)	220	160	120	60	20

**Tabela 15.** Recomendação de adubação potássica para *Eucalyptus* de acordo com o teor de K trocável no solo (0-20 cm).

Época	Forma de Aplicação	K trocável (mmolc $dm^{-3}$ )		
		0 - 1,0	1,0 - 1,5	> 1,5
Meses após plantio				
2-3	Coroa ou filete contínuo a 30 cm do colo da muda	20 a 30	20 a 30	20 a 30
6-9	Coroa ou filete contínuo a 30 cm do colo da muda	30 a 45	20 a 30	-
12-18	Filete contínuo nas entre linhas ou em Área total*	60 a 75	-	-
<b>Total aplicado</b>		<b>120 a 150</b>	<b>40 a 60</b>	<b>20 a 30</b>

Fonte: Silveira & Malavolta (2000).

**Tabela 16.** Recomendação da adubação corretiva com base nos teores de potássio nas folhas diagnósticos

K nas folhas (g $kg^{-1}$ )	Solo arenoso e textura média		Solo argiloso
	kg de $K_2O$ $ha^{-1}$		
< 4	160		200
4-6	120		160
6-8	60		70
> 8	0		0

## 9. AGRADECIMENTOS

A todos os profissionais das empresas florestais que tem acreditado no trabalho da RR Agroflorestal, permitindo dessa forma um grande avanço na área de nutrição e fertilização florestal. E tantos outros que de forma direta e indireta têm permitido tornar a nutrição florestal de eucalipto no Brasil reconhecida internacionalmente.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, E.F.; SANTANA, M.A.M.; SOUZA, A.J. Determinação da demanda nutricional de genótipos de *Eucalyptus* em áreas da Bahia Sul Celulose. **Relatório Final**, COTEC – 087/01, 19p, 2001.

BARROS, N.F. CARMO, D.N.; CALAIS, D; VIEIRA, F.S. Biomassa, absorção e eficiência de utilização de nutrientes por clones de eucalipto na região norte do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XX., Belém, 1985. **Programas e resumos**, Belém: Sociedade Brasileira de Ciência do Solos. 1985. p.109.

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**, Viçosa, v.5, n.1, p.90-103, 1981.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Eds). **Nutrition of Eucalyptus**. CSIRO Australia. 1996 p. 335-355.

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. (Eds). **Relação Solo- Eucalipto**. Ed. Folha de Viçosa, Viçosa. 1990. cap.4, p.127-86.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; Leal, P.G.L. Fertilizing eucalypt plantations on the Brazilian savannah soils. **South African Forestry Journal**, v.160, p.7-12. 1992.

BELLOTE, A.F.J. **Nahrelement versorgung und werches - leistung von gedungten *Eucalyptus grandis*- plantagen in Cerrado von São Paulo (Brasilien)**. Freiburg, 1990. 159 p. Tese (Doutorado) - Albert Ludwig- Universitat.

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.

BELLOTTE, A.F.J. **Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill ex maiden) em função da idade**. Piracicaba, 1979. 129p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

BERINGER, H.; NOTHDURFT, F. Effects of potassium on plant and cellular structures. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in Agriculture: American Society of Agronomy, Inc.; Crop Science Society of America, Inc.; Soil Science Society of America, Inc.** Madison, cap.14, p.35-67. 1985.

BOARDMAN, R; CROMER, R.N.; LAMBERT, M.J.; WEBB, M.J. Forest planations. In: REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B.. **Plant Analysis an Interpretation Manual**. Collingwood: CSIRO, 1997. cap.10, p.505-566.

CAMARGO, M.A.F. **Matéria seca, concentração e conteúdo de macronutrientes em mudas de clones de eucalipto, em função da idade**. Piracicaba, 1997. 94p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

CEPEA. **Centro de estudos avançados em economia aplicada**, 2002. [www.cepea.esalq.usp.br](http://www.cepea.esalq.usp.br).

COLEMAN, R.G.; RICHARDS, F.J. Physiological studies in plant nutrition. XVIII – 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.

CROMER, R.N.; CAMERON, D.; CAMERON, J.N.; FLINN, D.W.; NEILSEN, W.A.; RAUPACH, M.; SNOWDON, P.; WARRING, H.D. Response of eucalypt species to fertilizer applied soon after planting to several sites. **Australian Forestry**, v. 44, n.1, p.3-13.1981.

DELL, B. Diagnosis of nutrient deficiencies in Eucalypts. In: ATTIWILL, P.M. & ADAMS, M.A., (Eds.). **Nutrition of Eucalypts**, Collingwood, CSIRO Publishing. 1996. p.417-40.

DELL, B.; MALAJACZUK, N.; GROVE, T.S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1995. 104p.

ELLET, C.W. Soil Fertility and Disease Development. **Better crops with plant food**, v.57, p. 6-8, 1973.

EPSTEIN, E. **Nutrição Mineral de Plantas; princípios e perspectivas**: São Paulo: EDUSP, 1975. 341p.

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.

FARIA, G.E.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; TEIXEIRA, J. L. Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.5, p. 1-2, 2002b.

FARIA, G.E.; BARROS, N.F.; TEIXEIRA, J.L.; SANTOS, M.L. **Seleção de genótipos de *Eucalyptus* spp. quanto à utilização de nutrientes na região de Itamarandiba/MG**. XX REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, Rio de Janeiro, 2002. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Rio de Janeiro, 2002a. CD ROM.

FREDERICK, D.J.; MADGWICK, H.A.I.; JURGENSEN, M.F.; OLIVER, G.R. Dry matter content and nutrient distribution in na age series of *Eucalyptus regnans* plantations in New Zealand. **New Zealand Journal Forestry Science**, v.15, n.2, p.158-179. 1985.

GALO, M.V. **Resposta do eucalipto à aplicação de potássio em solo de cerrado**. Viçosa, 1993. 40p. Dissertação (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.

- CAVA, J.L. Fertilização potássica na Suzano Bahia Sul. **Relatório interno de pesquisa**, 20 p, 20003.
- GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e Espécies Típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, n.15, p.1-23, 1995.
- HAAG, H.P.; SARRUGE, J.R.; OLIVEIRA, G.D.; POGGIANI, F.; FERREIRA, C.A. Análise Foliar de cinco espécies de *Eucalyptus*. **IPEF**, Piracicaba, n.13, p.99-115, 1976.
- HERBERT, M.A. Fertilizers and eucalypt plantations in South Africa. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Eds.). **Nutrition of Eucalyptus**. Collingwood: CSIRO, 1996. p.303-326.
- HIGASHI, E.N.; SILVEIRA, R.L.V.A.; MOREIRA, A.; GONÇALVES, A.N.; RAGOZZINI, P.E.A.; FRANÇA, F.S. **Exportação de macronutrientes através da exploração da madeira de Eucalyptus**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, Brasília, 1999. Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. (CD Rom).
- HUBER, D.M.; ARNY, D.C. Interactions of potassium with plant disease. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in Agriculture**, Madison: ASA, CSSA and SSA, 1985. p.467-488.
- HUBER, S.C. Role of potassium in photosynthesis and respiration. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in Agriculture**, Madison: ASA, CSSA and SSA, 1985. p.369-391.
- HUORAN, W.; WENLONG, Z.; Fertilizer and eucalypt plantations in China. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Eds.). **Nutrition of Eucalyptus**. Collingwood: CSIRO, 1996. p.143-149.
- JUDD, T.S. Simulated nutrient losses due to timber harvesting in highly productive eucalypt forests and plantations. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Eds.). **Nutrition of Eucalyptus**. CSIRO Australia. 1996. p. 249-258.
- KABATA PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315p.
- KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; BORA, N.K.S. Nutrition studies on *Eucalyptus*. I. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus* Hybrid seedlings. **Indian Forester**, v.92, n.4, p.264-268. 1966.
- KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; NEGI, J.D.S. Nutrition studies on *Eucalyptus*. V. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus citriodora* seedlings. **Indian Forester**, v.96, n.10, p.787-90, 1970b.
- KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; TANDON, V.N. Nutrition studies on *Eucalyptus*. III. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus grandis* seedlings. **Indian Forester**, v.94, n.11, p.831-34, 1968.
- KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; TANDON, V.N. Nutrition studies on *Eucalyptus*. IV. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus globulus* seedlings. **Indian Forester**, v.96, n.6, p.453-56, 1970a.
- 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. (Eds): **Biochemistry and Physiology of Polyamines in Plants**. Boca Raton: CRC Press, cap.14, p.201-211, 1991.
- KNIGHT, P.J. Seasonal fluctuations in foliar nutrient concentration in a young nitrogen-deficient stand of *Eucalyptus fatigata* with and without applied nitrogen. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v.18, n.1, p.15-32, 1988.
- LEITE, F.P.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; FABRES, A.S. Acúmulo e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* sob diferentes densidade populacionais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.3, p.419-426, 1998.
- MADGWICK, H.A.I.; BEETS, P.; GALLAGHER, S. Dry matter accumulation, nutrient and energy content of the above ground portion of 4-year-old stands of *Eucalyptus nitens* and *Eucalyptus fastigata*. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v.11, n.1, p.53-59, 1981.
- MAKI, H.; ANDO, S.; KODAMA, H.; KOMAMINE, A. Polyamines and the cell cycle of *Catharanthus roseus* cells in culture. **Plant Physiology**, v. 96, n.4, p.1008-1013, 1991.
- MALAVOLTA, E. **Elementos da Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. Essências Florestais: Eucalipto e Pinus. In: MALAVOLTA, E. **Manual de Calagem e Adubação das principais culturas**, São Paulo, Ceres, 1987. cap.10, p. 376-96.
- MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O.J. Funções do potássio na planta. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. (Eds.). **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato (EUA), 1982. p.95-162.
- 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.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 888p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of Plant Nutrition**. Berna: International Potash Institute, 1978. 593p.
- MORAIS, E.J.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; BRANDI, R.M. Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.3, p.353-62, 1990.
- NOVAIS, R.F.; RÊGO, A.K.; GOMES, J.M. 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**, Viçosa, v.4, n.1, p.14-23. 1980.
- PEREIRA, A.R.; ANDRADE, D.C.; LEAL, P.G.L.; TEIXEIRA, N.C.S. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* cultivados na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Floresta**, v.15, n.1/2, p.8-16, 1984.
- PERRENOUD, S. **Potassium and Plant Health**. 2 ed. Berna, International Potash Institute, 1990. 363p.
- POGGIANI, F.; ZEN, S.; MENDES, F.S.; SPINA-FRANÇA, F. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. **IPEF**, Piracicaba, n.27, p.17-30, 1984.

- PRETTY, K.M. O potássio na qualidade dos produtos agrícolas. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. (Eds.) **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato (EUA), 1982. p.177-194.
- PREZOTTI, L.C. **Nível crítico de potássio no solo para produção de mudas de eucalipto**. Viçosa, 1985. 45p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- REIS, M.G.F.; BARROS, N.F.; KIMMINS, J.P. Acúmulo de nutrientes em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades em Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.11, n.1, p.1-15, 1987.
- ROCHA FILHO, J.V.C.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. Deficiência de macronutrientes, boro e ferro em *Eucalyptus urophylla*. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.35, n.35, p.19-34, 1978.
- SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.56, p.155-169, 1999.
- SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Eficiência de utilização e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.4, p.44-57, 2002.
- SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, v.1, p.231-233, 1975.
- SBS. Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2001. [www.sbs.org.br](http://www.sbs.org.br).
- SCATOLINI, F.M.; FIRME, D.J.; GARCIA, C.H.; GOMES, F.P.; CAMARGO, F.R. Parcelamento da adubação potássica em *E. grandis* em áreas de reforma da Votorantim Celulose e Papel (compact disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, Águas de Lindóia, 1996. Solo-suelo 96: trabalhos. Piracicaba: SBCS/SLCS. 1996.
- SCHIMIDT, D.V.C. **Crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus grandis* em resposta à fertilização potássica e a calagem**. 1995. 57p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa.
- SCHONAU, A.P.G. The effects of fertilizing on the foliar nutrient concentrations in *Eucalyptus grandis*. **Fertilizer Research**, v.2, n.2, p.73-87, 1981.
- SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da biomassa e conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, v.11, n.1, p.45-53, 2001.
- SGARBI, F.; SILVEIRA, R.L.V.A. Monitoramento nutricional e da fertilidade do solo em plantios de eucalipto na Votorantim Celulose e Papel, no sul do estado de São Paulo. **Relatório de pesquisa da Votorantim Celulose e Papel**, 43p, 2001.
- SGARBI, F.; SILVEIRA, R.L.V.A.; TAKAHASHI, E.; CAMARGO, M.A.F. Crescimento e produção de biomassa de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva com omissões de macronutrientes, boro e zinco. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *Eucalyptus*, Salvador, 1997. **Anais da Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos**, v.3: Silvicultura, produtividade e utilização de eucaliptos. Salvador, 1997. p.92-97.
- SIDDIQUI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to destination and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal Plant Nutrition**, v.4, n.3, p.289-302, 1981.
- SILVA, H.D.; POGGIANI, F.; COELHO, L.C. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. **Boletim Pesquisa Florestal**, n.6/7, p.9-25. 1983.
- SILVA, C.R.; SILVEIRA, R.L.V.A.; CAMARGO, F.R.A.; PATROCÍNIO, D.D.; HIGASHI, E.N. Crescimento de clone híbrido de *Eucalyptus* em função da aplicação de nitrogênio na presença e ausência de potássio. In: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Ribeirão Preto, 2003. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003, CD ROM.
- SILVA, C.R.; SILVEIRA, R.L.V.A.; CAMARGO, F.R.A.; HIGASHI, E.N.; PATROCÍNIO, D.D. Efeito da aplicação de nitrogênio e potássio sobre o desenvolvimento inicial de *Eucalyptus grandis* e sua relação com a ocorrência da ferrugem (*Puccinia psidii*). In: FERTIBIO 2000, Santa Maria, 2000. **Resumos expandidos...** Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000 (CD ROM).
- SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, J. L. M.; GONÇALVES, A. N.; BRANCO, E. F. Levantamento e estudo do mercado e uso de fertilizantes em florestas brasileiras. Piracicaba, **Relatório técnico**, IPEF/ESALQ.1995b. 117p.
- SILVEIRA, R.L.V.A. **Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden cultivadas em solução nutritiva**. 2000b. 169p. Tese de doutorado – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; ARAÚJO, E.F.; SOUZA, A.J. Avaliação do estado nutricional de clones de eucalipto na região sul da Bahia. In: XXV REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, VIII REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, III REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO – FERTIBIO 2000. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Sociedade Brasileira de Microbiologia, Santa Maria, 2000a, CD ROM.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; ARAÚJO, E.F.; SOUZA, A.J. **Avaliação do estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus* pelo método do nível crítico e DRIS**. Piracicaba: **Relatório de Pesquisa da Bahia Sul Celulose**, 2001a. 82 p.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; FANTINI JR, M.; SANTOS, N.S. Projeto "Monitoramento nutricional e adubações potenciais na Votorantim Celulose e Papel". **Relatório de pesquisa**, 15p, 2003d.

- SILVEIRA, R.L.V.A.; GONÇALVES, A.N.; SILVEIRA, R.I.; BRANCO, E.F. Levantamento nutricional de florestas de *E. grandis* da região de Itatinga/SP. II. Micronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995d. **Resumos expandidos**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995c. p.899-901.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; GONÇALVES, A.N.; SILVEIRA, R.I.; BRANCO, E.F. Levantamento nutricional de florestas de *E. grandis* da região de Itatinga/SP. I. Macronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995d. **Resumos expandidos**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995d. p.896-898.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; CAMARGO, M.A.F.; POPMERMAYER, P.N.; WILCKEN, C.F. Caracterização da deficiência de potássio em diferentes espécies de eucalipto. **Relatório de pesquisa**, 20p, 1997.
- 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: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds). **Nutrição e Fertilização Florestal**, Piracicaba, IPEF, 2000c. p. 80-104.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus*. **Informações Agrônomicas**, Potafos, Piracicaba, n. 91, 12p, 2000.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; PAULA, T.A.; BONINE, C.A. VALLE; BONINE, C.A.V.; TAKAHASHI, E.N.; SCARPINATTI, E.A. Exigência nutricional de clones de *Eucalyptus* em relação a potássio em condições de casa de vegetação. **Relatório de pesquisa da Votorantim Celulose e Papel**, Luiz Antonio, 18p, 2002b.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; POMPERMAYER, P.N. Monitoramento Nutricional na Siderúrgica Barra Mansa. **Relatório de Pesquisa e Assessoria**, Piracicaba, 92p. 1998a.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; MOREIRA, A. Monitoramento Nutricional na Lwarcel. **Relatório de Assessoria e Pesquisa**, Piracicaba, 62p. 1999.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; LUCA, E. F.; SHIBATA, F. Absorção de macronutrientes pelas mudas de *E. grandis* em condição de viveiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995a. **Resumos expandidos**, Viçosa: SBCS, 1995a. p. 839-41.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; MALAVOLTA, E. Produção e características químicas da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.63, p. 115-135, 2003c.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; MALAVOLTA, E.; BROETTO, F. Efeito do potássio na produção de matéria seca e na concentração de putrescina, espermidina e espermina em progênies de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 59, p.13-25, 2001b.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; MOTTER, M.M.; BOLOGNANI, H.A. Monitoramento nutricional e adubações corretivas na Vallourec & Mannesmann Florestal. **Relatório de Pesquisa**, Piracicaba, 36p, 2003c.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; LOPES, G.A.; ANDRADE, A.; BENEDETTI, V. Caracterização da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em diferentes condições edafoclimáticas. **Relatório de pesquisa da Faber-Castell**, 22p, 2001c.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; PAULA, T.A.; HIGASHI, E.N.; SILVA, C.R.; TAKAHASHI, E.N.; PATROCÍNIO, D.D.; FRANCISCATE, W.; SILVA, A.C. Monitoramento nutricional do clone C219 nas regiões de Luiz Antônio e Jacaréí, estado de São Paulo. **Relatório de Pesquisa da Votorantim Celulose e Papel**, Luiz Antonio, 20p, 2003a.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; SILVEIRA, R.I.; HIGASHI, E.N. Monitoramento nutricional nos povoamentos de *Eucalyptus*: Avaliação pelos métodos do nível crítico e DRIS. **Relatório de pesquisa da Eucatex**, Piracicaba, 29p. 2002.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; TAKAHASHI, E.N.; SGARBI, F.; BRANCO, E.F. Sintomas de deficiência de macronutrientes e boro em híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva (compact disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. Solo-suelo 96: trabalhos. Piracicaba: SBCS/SLCS. 1996.
- SMITH, T.A. Polyamines. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.36, p.117-143, 1985.
- SOUZA, M.E. **Correlação adulto-juvenil para a eficiência nutricional e comportamento de clones de *Eucalyptus grandis* em dois níveis de fertilidade do solo**. Viçosa, 1994. 49p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- STAPE, J.L.; BENEDETTI, V. Decréscimos de produtividade e resposta da brotação de *Eucalyptus grandis* à fertilização com macronutrientes em areia quartzosa no Estado de São Paulo-Brasil. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *Eucalyptus*, Salvador, 1997. **Anais da Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos**, v.3: Silvicultura, produtividade e utilização de eucaliptos. Salvador, 1997. p.112-117.
- STAPE, J.L.; ZANI FILHO, J. Aumento da produtividade do *E. grandis* em Areias Quartzosas, através da fertilização de manutenção. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos do Jordão, 1990. **Trabalhos**. Campos do Jordão: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p. 386-390.
- TEIXEIRA, J.L.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; CAMPOS, J.C.C.; LEAL, P.G.L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de duas espécies de eucalipto em diferentes ambientes do médio Rio Doce, MG. **Revista Árvore**, v.13, n.1, p.34-50.1987.
- TEIXEIRA, P.C.; LEAL, P.G.L.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Nutrición potásica y relaciones em plantas de *Eucalyptus* spp. **Bosque**, v. 16, n.2, p. 61-68, 1995.
- VALERI, S.V. **Efeito do fósforo e do cálcio no desenvolvimento de *Eucalyptus grandis* em um regossolo**. Jaboticabal, 1983. 129p. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista.
- 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.

VALERI, S.V.; ISMAEL, J.J. TORRES, R.M.; CORRADINI, L. Efeito do potássio no crescimento e idade de corte de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em areia quartzosa e latossolo vermelho escuro (compact disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. Solo-suelo 96: trabalhos. Piracicaba: SBCS/SLCS. 1996.

WILL, G.M. Some change in the growth habit of *Eucalyptus* seedlings caused by nutrient deficiencies. **Empire Forestry Review**, v.40, n.4, p. 301-307, 1961.

YOST, R.S.; DE BELL, D.S.; WHITESELL, C.D.; MIYASAKA, S.C. Early growth and nutrient status of *Eucalyptus saligna* as affected by nitrogen and phosphorus fertilization. **Australian Forest Research**, v.17, p.203-214, 1987.