

# SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

## CINÉTICA DE ABSORÇÃO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> E Mg<sup>2+</sup> EM PLANTAS JOVENS DE QUATRO CLONES DE EUCALIPTO<sup>(1)</sup>

Augusto Miguel Nascimento Lima<sup>(2)</sup>, Júlio César Lima  
Neves<sup>(3)</sup>, Ivo Ribeiro Silva<sup>(3)</sup> & Fernando Palha Leite<sup>(4)</sup>

### RESUMO

Modelos mecanísticos baseados em princípios de transporte de solutos podem ser de grande utilidade para prever os impactos do cultivo de florestas plantadas, por exemplo, com eucalipto sobre o capital e fluxo de nutrientes no solo. Dentre as variáveis de entrada demandadas por tais modelos, tem-se os valores das constantes V<sub>max</sub>, K<sub>m</sub> e C<sub>min</sub> da cinética de absorção iônica. Assim, os objetivos do presente trabalho foram determinar os valores de V<sub>max</sub>, K<sub>m</sub> e C<sub>min</sub> para K, Ca e Mg, bem como avaliar as respectivas eficiências nutricionais de clones de eucalipto. O estudo consistiu de três ensaios em solução nutritiva (um para cada cátion), sendo utilizadas mudas propagadas vegetativamente de um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* (clone 1213) e de três híbridos de *E. grandis* (clones 7074, 57 e 129). Com base nos teores de cada um desses nutrientes nas soluções de depleção, em cada tempo de amostragem, no volume inicial e final de solução nos vasos e no peso de matéria fresca de raízes, foram obtidos os valores das constantes cinéticas. Para K, o clone 7074 apresentou o menor valor de V<sub>max</sub> em relação aos demais clones, os quais não diferiram entre si, e em relação ao K<sub>m</sub> e C<sub>min</sub>, os clones não diferiram estatisticamente. Para Ca, os clones estudados diferiram quanto ao valor de V<sub>max</sub> e K<sub>m</sub>, não diferindo, entretanto, para o C<sub>min</sub>. Os menores valores de K<sub>m</sub> para Mg foram verificados para os clones 57 e 7074, ou seja, as proteínas transportadoras de Mg na membrana plasmática das células radiculares apresentaram maior afinidade para esse nutriente. Contudo, os valores de V<sub>max</sub> e C<sub>min</sub> não diferiram entre os clones estudados. Diferenças na eficiência nutricional dos clones estudados quanto a K e a Ca foram devidas às diferenças na eficiência de absorção, e para Mg às diferenças na eficiência de absorção e de utilização.

**Termos de indexação:** modelos mecanísticos, constantes cinéticas, eficiência de absorção, eficiência de utilização, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*.

<sup>(1)</sup> Trabalho recebido para publicação em e aprovado em setembro de 2003 e aprovado em setembro de 2005.

<sup>(2)</sup> Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa – UFV. Av. PH Rolfs s/n, Departamento de Solos, CEP 36571-000 Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: lima.ufv@bol.com.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Solos, UFV. Bolsista do CNPq. E-mails: julion2003@gmail.com; ivosilva@ufv.br

<sup>(4)</sup> Pesquisador da Celulose Nipo-brasileira S.A. – CENIBRA. BR 381, Km 172, CEP 35196-000 Belo Oriente (MG).

**SUMMARY: UPTAKE KINETICS AND NUTRITIONAL EFFICIENCY FOR  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  AND  $Mg^{2+}$  IN FOUR EUCALYPT CLONES SEEDLINGS**

*The use of mechanistic models based on principles of solute transport may be of great utility to estimate, for example, the impact of eucalypt forest cultivation on the pools and fluxes of nutrient in soils. Among the parameters required by such models are the values of the ion absorption kinetics constants  $V_{max}$ ,  $K_m$  and  $C_{min}$ . Thus, the objective of this study was to determine the values of  $V_{max}$ ,  $K_m$  and  $C_{min}$  for K, Ca and Mg, as well as to evaluate the nutritional efficiency of eucalypt clones to these nutrients. The present study consisted of three experiments in solution culture (one for each cation). It was employed four genetic materials (clones 7074, 57, 1213 and 129) originated from clonal propagation. Clone 1213 is an *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* hybrid, whereas the others are natural hybrids of *E. grandis*. The concentration of each nutrient being studied in the depletion solution at specific sampling times, initial and final pot solution volume and fresh root weight were used in order to obtain the value of the kinetics constants. For K, clone 7074 showed the lowest  $V_{max}$  value in relation to the other clones, which did not differ among themselves. All clones did not differ statistically in relation to  $K_m$  and  $C_{min}$  for K. For Ca, the studied clones differed in relation to the values of  $V_{max}$  and  $K_m$  but, they did not differ for  $C_{min}$ . The lower values of  $K_m$  for Mg were observed for the clones 57 and 7074, that is, the carrier proteins at the root cells plasma membrane have a high affinity for this nutrient. Nevertheless, the values of  $V_{max}$  and  $C_{min}$  did not differ among the studied clones. Differences in nutritional efficiency of the studied clones in relation to K and Ca were due to differences in the absorption efficiency and for Mg were related with differences in the nutrient use efficiency and absorption efficiency.*

*Index terms: Mechanistic models, kinetics constants, absorption efficiency, utilization efficiency, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*.*

## INTRODUÇÃO

O eucalipto é a essência florestal mais utilizada nas florestas plantadas no Brasil, ocupando cerca de 3,0 milhões de hectares, aproximadamente 60 % da área de florestas plantadas no País (SBS, 2005). O setor industrial de base florestal responde por US\$ 21 bilhões (SBS, 2005), o que realça a importância econômica dessas florestas e, especialmente, do eucalipto.

Em ambientes tropicais, a sustentabilidade da produção florestal é governada, principalmente, pelos fluxos de água e nutrientes no solo, uma vez que, geralmente, temperatura e radiação solar não são limitantes (Barros & Comerford, 2002). Em solos sob cultivo de eucalipto no Brasil, têm sido verificados significativos decréscimos na disponibilidade de nutrientes no solo, especialmente de K, Ca e Mg (Leite, 2001), que podem comprometer, dessa maneira, a sustentabilidade da produção florestal, caso não seja feita a reposição desses nutrientes mediante fertilização.

A necessidade de buscar a otimização da relação custo-benefício tem levado algumas empresas florestais a desenvolver pesquisas voltadas à seleção de materiais genéticos adaptados às diversas condições ambientais. Alguns trabalhos indicam

diferenças consideráveis quanto à absorção e utilização de nutrientes (Furtini Neto, 1994; Silva et al., 1996), mostrando a possibilidade de seleção e adaptação de diferentes materiais genéticos a distintas condições edafoclimáticas. Por exemplo, diferentes valores de  $V_{max}$ ,  $K_m$  e  $C_{min}$  podem ocorrer para materiais genéticos distintos, indicando diferenças na capacidade de absorção (Ruiz, 1985; Furtini Neto, 1994). Para o eucalipto, existem valores das constantes da cinética de absorção iônica para P (Vale et al., 1984; Furtini Neto et al., 1996), e para N, tanto como nitrato como amônio (Vale et al., 1984), não sendo relatados valores para K, Ca e Mg.

Podem-se prever os impactos do cultivo de florestas plantadas sobre os fluxos de nutrientes no solo, por meio da utilização de modelos mecanísticos baseados em princípios de transporte de soluto (Neves, 2000), que requerem para sua utilização várias informações relativas a solo (KD - coeficiente de partição, por exemplo) e planta ( $V_{max}$ ,  $K_m$  e  $C_{min}$ ) (Nye & Tinker, 1997; Smethurst & Comerford, 1993; Barber, 1995; Novais & Smith, 1999).

Este trabalho teve como objetivos determinar os valores de  $V_{max}$ ,  $K_m$  e  $C_{min}$  para K, Ca e Mg, assim como avaliar as respectivas eficiências nutricionais de quatro clones de eucalipto.

## MATERIAL E MÉTODOS

Plantas provenientes de micropropagação vegetativa, com idade média de 21 dias, obtidas junto a CENIBRA FLORESTAL S.A., representativas de quatro materiais genéticos (clones 7074, 57, 1213 e 129) em uso nos plantios comerciais da empresa, foram transferidas para recipientes plásticos (profundidade de 25 cm) que continham 5 L de solução nutritiva de Clark (Clark, 1975), meia-força (metade da concentração de nutrientes sugerida pela metodologia), e com pH ajustado inicialmente e corrigido periodicamente (a cada dois dias), para 6,0. O clone 1213 foi obtido de híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, enquanto os demais de híbridos de *E. grandis*.

As plantas foram cultivadas em casa de vegetação por 21 dias (para o experimento de depleção de K), por 35 dias (para o de Mg) e por 42 dias (para o de Ca). Nessas ocasiões, as plantas, após terem sido selecionadas quanto à uniformidade de raízes e de parte aérea, foram transferidas para ambiente controlado (câmara-de-crescimento), com umidade em torno de 50 % e temperatura de cerca de 27 °C, sendo postas em vasos plásticos (profundidade de 15 cm) com 1,5 L de solução nutritiva de igual composição à anteriormente usada, onde permaneceram por mais sete dias. Cada planta ficava fixada em tampa de isopor sobre o vaso plástico, onde apenas o sistema radicular estava em contato com a solução nutritiva. Para cada nutriente e clone estudados, foram utilizadas três repetições, dispostas inteiramente ao acaso. Cada experimento foi repetido duas vezes, com pequenos ajustes entre o primeiro e o segundo.

Após o período de aclimação, procedeu-se à troca das soluções por outras de igual composição, mas isentas de K, de Ca ou de Mg, de acordo com o cátion que estava sendo avaliado. As plantas permaneceram nessa solução por sete dias. Em seguida, as soluções foram novamente trocadas, sendo acrescidas de K (100 µmol L<sup>-1</sup>) ou de Mg (100 µmol L<sup>-1</sup>), conforme o nutriente a ser estudado. Para Ca, entretanto, as plantas não foram submetidas a essa solução de pré-exaustão. Assim, para K e para Mg, após duas horas nas soluções de pré-exaustão, as soluções foram renovadas por outras de igual composição, que constituíram as soluções de depleção. Desta forma, as concentrações iniciais de K, de Ca e de Mg nas respectivas soluções foram de 100 µmol L<sup>-1</sup>. Na solução de depleção de K, foram adicionados Ca e Mg (ambos em 100 µmol L<sup>-1</sup>); na solução de depleção de Mg, fez-se a adição de K e Ca (ambos em 100 µmol L<sup>-1</sup>) e, na solução de depleção de Ca, fez-se a adição de K e Mg (ambos em 100 µmol L<sup>-1</sup>).

Durante um período de 12 horas, e a intervalos de meia hora, as soluções de depleção foram amostradas (para K: 2 mL de alíquota, para Ca e

Mg: 5 mL), bem como efetuada uma última amostragem 24 horas após o início dos experimentos. Logo após, as plantas foram colhidas, separadas em parte aérea e raízes, que foram pesadas, e mediu-se o volume de solução remanescente nos vasos.

Nas alíquotas coletadas, efetuou-se a determinação de K, de Ca e de Mg, conforme o nutriente estudado. A determinação de K foi feita por fotometria de emissão de chama, e as de Ca e de Mg, por espectrofotometria de absorção atômica.

O material vegetal (parte aérea e raízes), após secagem em estufa de circulação forçada de ar a 72 °C, por 72 h, foi pesado, moído e mineralizado pela mistura nítrico-perclórica, determinando-se, nos extratos, os teores de K, Ca e Mg.

Os teores de cada um desses nutrientes nas soluções de depleção, em cada tempo de amostragem, bem como os dados relativos ao volume inicial e final de solução nos vasos, e o peso de matéria fresca de raízes foram utilizados no software Cinética 2.0 (Ruiz & Fernandes Filho, 1992), obtendo-se, desse modo, os valores das constantes cinéticas V<sub>max</sub> e K<sub>m</sub>. O valor de C<sub>min</sub> foi a menor concentração observada na solução de depleção. Os valores das taxas de influxo para cada nutriente estudado foram calculados com base na quantidade (µmol) de nutriente absorvida pelas plantas em relação à unidade de massa fresca de raízes (RF), mediante a utilização de aproximação gráfico-matemática (Ruiz, 1985) também usada por outros autores (Furtini Neto, 1994; Castel, 1984). Para quantificar a eficiência nutricional, determinaram-se, também, os valores de eficiência de absorção pela fórmula EA = (mg do nutriente na planta/grama de matéria seca da raiz) e a eficiência de utilização (EU), sendo EU = (matéria seca)<sup>2</sup>/conteúdo do nutriente, conforme Siddiqui & Glass (1981).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade pelo programa estatístico SAEG 5,0 (FUNARBE, 1993).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferença significativa na produção de matéria seca da parte aérea e total entre os clones estudados para K, Ca e Mg (Quadro 1). Assim, as variações na relação parte aérea/raiz foram devidas principalmente às diferenças de produção de raízes (Quadro 1).

Houve diferença na eficiência de absorção de Mg, tendo os clones 1213, 129 e 7074 apresentado os maiores valores e o clone 57 o menor valor (Quadro 2). Não houve diferença significativa na eficiência de utilização (EU) de K e Ca entre os clones

estudados. No entanto, observa-se que o clone 57 apresentou maior EU para o Mg em relação aos demais clones (Quadro 2).

Diferenças na eficiência nutricional dos clones estudados quanto a K e a Ca deveram-se às diferenças na eficiência de absorção e não a diferenças na eficiência de utilização (Quadro 2). Comportamento inverso foi observado para variedades de trigo em relação a P (Abichequer & Bohnen, 1998). Para Mg, as diferenças nutricionais dos clones em estudo foram decorrentes de diferenças no influxo (Figura 1) e de diferenças na eficiência de utilização (Quadro 2). Alguns estudos indicam variações na eficiência nutricional entre espécies de eucalipto (Furtini Neto, 1988; Moraes et al., 1990) e entre clones da mesma espécie (Barros et al., 1985; Silva, 1990; Molica, 1992; Grespan, 1997; Neves, 2000). Essas diferenças genotípicas contribuem para explicar a capacidade que certas espécies e cultivares têm de se adaptar às diversas condições de estresses ambientais (Alves, 1994).

O clone 7074 apresentou o menor valor de Vmax para K em relação aos demais clones, os quais não diferiram entre si (Quadro 3). Em relação ao Km, os clones não diferiram estatisticamente entre si. Sendo assim, o clone 7074, pelo fato de apresentar um menor Vmax, apresentou menor capacidade potencial de absorção de K (Marschner, 1988; Glass, 1989, Engels et al., 2000). Desta maneira, um clone

**Quadro 1. Produção de matéria seca na parte aérea (MSpa) e sistema radicular (MSsr) por quatro clones de eucalipto, nos experimentos de K, Ca e Mg**

Clone	MSsr	MSpa	MStotal	MSpa/MSsr
————— g planta <sup>-1</sup> —————				
Experimento de potássio				
7074	4,6 a <sup>(1)</sup>	10,2 a	14,8 a	2,2 b
57	2,7 b	10,8 a	13,5 a	4,0 a
1213	3,0 b	11,0 a	14,0 a	3,6 a
129	2,2 c	9,4 a	11,6 a	4,2 a
Experimento de cálcio				
7074	7,5 a	15,7 a	23,2 a	2,1 d
57	3,7 b	19,3 a	23,0 a	5,2 b
1213	3,2 b	18,8 a	22,0 a	5,8 a
129	4,3 b	15,4 a	19,7 a	3,5 c
Experimento de magnésio				
7074	2,4 b	11,8 a	14,1 a	5,3 a
57	3,9 a	16,0 a	19,9 a	4,1 a
1213	2,1 b	11,8 a	13,9 a	5,5 a
129	2,9 b	12,1 a	14,9 a	4,2 a

<sup>(1)</sup> Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5 %.

**Quadro 2. Eficiência de absorção (EA) e eficiência de utilização (EU) de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> em quatro clones de eucalipto**

Clone	EA	EU
	mg g <sup>-1</sup>	g <sup>2</sup> mg <sup>-1</sup>
	Potássio	
7074	35,9b	1,3a
57	54,3a	1,2a
1213	42,7b	1,5a
129	46,7ab	1,3a
	Cálcio	
7074	20,8c	3,6a
57	41,1a	3,5a
1213	45,9a	3,2a
129	28,3b	3,2a
	Magnésio	
7074	9,6a	9,3b
57	6,9b	14,7a
1213	10,7a	8,5b
129	9,6a	8,0b

<sup>(1)</sup> Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5 %.

com maior Vmax seria mais eficiente na absorção numa condição de elevada disponibilidade do nutriente. Por outro lado, um clone com menor Km seria mais eficiente na absorção de determinado nutriente numa condição de menor disponibilidade. Em relação ao Cmin, os clones estudados também não diferiram estatisticamente entre si (Quadro 3). Em termos práticos, espera-se que materiais genéticos com maior Vmax e menor Km sejam, comparativamente, superiores, tanto em alta quanto em baixa disponibilidade do nutriente no solo.

Em cultivos comerciais de eucalipto, frequentemente, o K é aplicado e sua disponibilidade no solo nas camadas superficiais pode atingir valores relativamente elevados em virtude da maior densidade de cargas negativas. No entanto, menor disponibilidade deste nutriente pode ser observada em camadas subsuperficiais. Desta maneira, pelo fato de a cultura do eucalipto apresentar um sistema radicular que atinge elevadas profundidades no solo, é interessante que as plantas apresentem um baixo valor de Km, o que possibilita absorção mais eficiente de K nessas camadas. O aproveitamento de K de camadas profundas e úmidas pode ser particularmente importante durante os períodos de seca por causa do reduzido fluxo de massa e da difusão causada pela baixa disponibilidade de água nas camadas superficiais (Vilela & Ritchey, 1985).

O efeito conjunto de Vmax e Km sobre o influxo estimado de K nos clones estudados (Figura 1a)

**Quadro 3. Valores de Vmax, Km e Cmin para K, Ca e Mg para mudas de quatro clones de eucalipto**

Clone <sup>(1)</sup>	Potássio			Cálcio			Magnésio		
	Vmax	Km	Cmin	Vmax	Km	Cmin	Vmax	Km	Cmin
	$\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$	$\mu\text{mol L}^{-1}$		$\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$	$\mu\text{mol L}^{-1}$		$\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$	$\mu\text{mol L}^{-1}$	
7074	0,4 b <sup>(2)</sup>	21,3 a	9,4 a	0,7 b	69,8 a	46,3 a	0,7 a	77,3 b	68,4 a
57	1,1 a	6,7 a	4,1 a	1,6 b	45,5 b	15,1 a	0,9 a	79,5 b	54,5 a
1213	1,0 a	10,9 a	3,4 a	2,9 a	72,2 a	44,0 a	1,5 a	91,0 ab	60,6 a
129	1,3 a	6,2 a	3,4 a	1,3 b	65,4 a	34,1 a	1,8 a	122,0 a	74,3 a
Média	0,9	11,2	5,1	1,6	63,2	34,9	1,2	92,5	64,4
CV <sup>(3)</sup> (%)	38,1	62,2	56,9	57,6	21,5	53,7	40,9	22,2	13,4

<sup>(1)</sup> Híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* (clone 1213) e híbridos de *E. grandis* (clones 7074, 57 e 129).

<sup>(2)</sup> Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5 %. <sup>(3)</sup> Coeficiente de variação das médias entre os clones.

evidencia a seqüência: 129 > 57 > 1213 > 7074. Esses valores distintos das constantes cinéticas (Vmax, Km e Cmin) são devidos a diferenças genéticas entre os clones (Furtini Neto, 1994) que refletem no tipo, número e atividade de transportadores e canais envolvidos na absorção de K pelas raízes (Véry & Sentenac, 2003).

Observou-se diferença significativa quanto à eficiência de absorção de K, tendo os clones 57 e 129 apresentado maiores valores e os clones 7074 e 1213 menores valores (Quadro 2). Segundo Föhse et al. (1988), plantas com alta eficiência de absorção em relação a P são aquelas que apresentam não só alta taxa de absorção do nutriente por unidade de massa de raiz (alto influxo), mas também alta relação parte aérea/raiz. Isto pode ser observado para o K, onde os clones 129 e 57 apresentaram maior influxo estimado (Figura 1a) e uma maior relação parte aérea/raiz (Quadro 1). O clone 7074 foi o que apresentou menor relação parte aérea/raiz nos experimentos de K e de Ca (Quadro 1). A menor relação parte aérea/raiz pode ser vantajosa sob determinadas condições. Por exemplo, em solos pouco férteis, plantas adaptadas geralmente apresentam baixa relação parte aérea/raiz e exploram maior volume de solo (Alves, 1994). Isso pode ser determinante no seu crescimento, pois, além das características fisiológicas (Vmax, Km e Cmin), as características morfológicas do sistema radicular influenciam a absorção de nutrientes, como foi observado para P em soja por Claassen & Barber (1976).

Para Ca, os valores de Vmax e Km diferiram estatisticamente entre os clones (Quadro 3). O clone 57 apresentou o menor valor de Km; entretanto, seu valor de Vmax foi estatisticamente menor do que o do 1213, este com o maior Vmax dentre os clones estudados. Isto evidencia que não há necessariamente relação direta ou inversa entre Vmax e Km.

As diferenças nos valores de Vmax entre os clones estudados podem ser reflexos das diferenças na atividade e, ou, no número de carreadores nas raízes (Furtini Neto, 1994). Um valor intermediário de Vmax parece ser um mecanismo mais apurado de regulação de absorção, impedindo, desta maneira, um excesso de absorção de determinado nutriente, o que poderia provocar sua toxidez (Furtini Neto, 1994). Além disso, o efluxo pode ser um mecanismo para a planta manter a concentração interna de íons em níveis adequados, como foi observado para o fósforo por Bielecki & Ferguson (1983).

O efeito conjunto dos valores das constantes Vmax e Km (influxo) (Figura 1b) mostra que o clone 1213 apresentou os maiores valores de influxo estimado de Ca, vindo, em seguida, o 57, o 129 e, por último, o 7074. Quando a concentração de Ca na solução era baixa, o clone 57 apresentou maior influxo que o 1213. Os clones 1213 e 57 também apresentaram maiores valores de eficiência de absorção para Ca e o clone 7074 o menor valor (Quadro 2).

Os menores valores de Km para Mg (Quadro 3) foram verificados para os clones 57 e 7074, ou seja, estes teriam maior eficiência de absorção desse nutriente. No entanto, não foi possível constatar diferenças estatisticamente significativas quanto ao Vmax e Cmin.

As curvas de influxo estimado dos clones 1213 e 57 mostraram-se muito próximas entre si: no entanto, percebeu-se que a curva do clone 57 estava acima da curva do clone 1213 nas menores concentrações de Mg em solução. Todavia, quando a concentração de Mg era maior que 70  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , o clone 1213 mostrou-se crescentemente superior (Figura 1c). Tal comportamento pode ser explicado pelo menor valor de Km do clone 57 e pelo maior valor de Vmax do clone 1213 (Quadro 3). Föhse et al (1991) também observaram diferença no influxo de P para distintas espécies que foi atribuída à

diferença no  $V_{max}$ , além do número e do comprimento dos pêlos radiculares.

Neste trabalho foi observado que os clones com maior valor de influxo para K, Ca ou Mg (Figura 1) apresentaram maior relação parte aérea/raiz (Quadro 1). Pelo fato de tais clones apresentarem essa

característica fisiológica mais eficiente, tem-se condição para que haja um maior transporte desses nutrientes para a parte aérea, resultando, conseqüentemente, em um maior crescimento desse compartimento.

## CONCLUSÕES

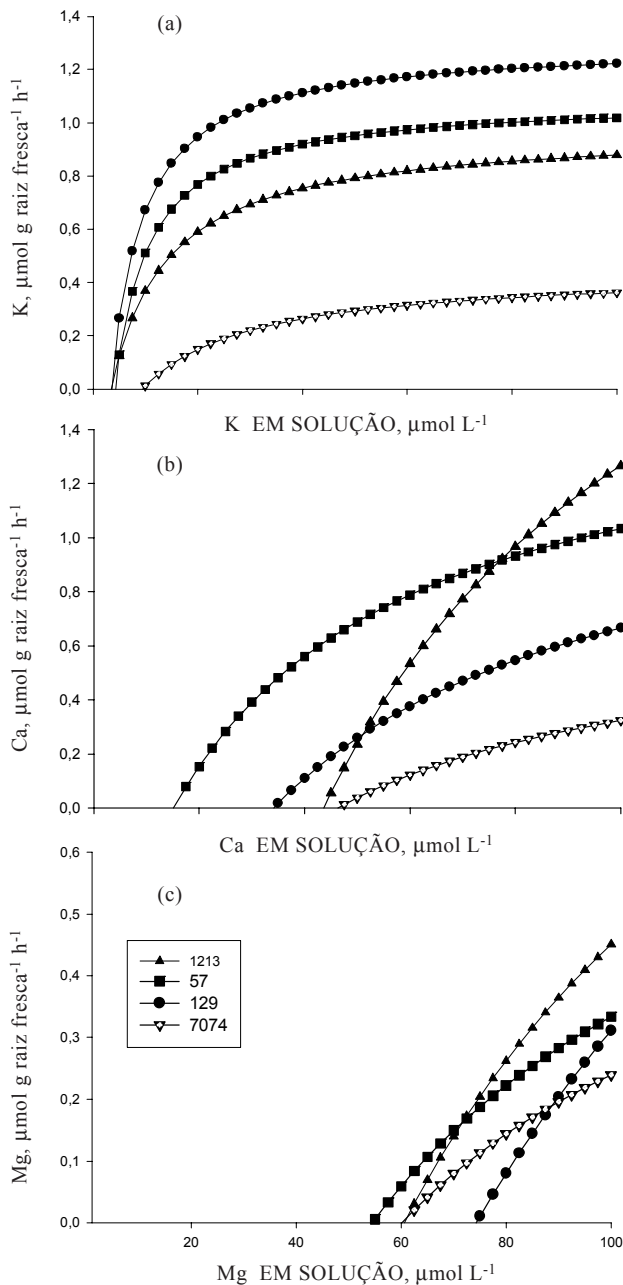
1. Para K e Ca, as diferenças na eficiência nutricional dos clones estudados foram devidas apenas às diferenças na eficiência de absorção, e para Mg às eficiências de absorção e de utilização.

2. O clone 57 apresentou a maior eficiência de absorção para o K. O mesmo comportamento foi observado para os clones 57 e 1213 em relação ao Ca. Para Mg, contudo, o clone 57 apresentou a menor eficiência de absorção e a maior eficiência de utilização.

3. O 'ranking' dos clones quanto às constantes cinéticas variou conforme o nutriente em estudo. Por esse motivo, a seleção de plantas com constantes cinéticas favoráveis a vários nutrientes simultaneamente parece não ser uma estratégia viável.

## LITERATURA CITADA

- ABICHEQUER, A.D. & BOHNEN, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. R. Bras. Ci. Solo, 22:21-26, 1998.
- ALVES, V.M.C. Frações de fósforo, de açúcares solúveis e de nitrogênio em quatro híbridos de milho submetidos à omissão e ao ressuprimento de fósforo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 106p. (Tese de Doutorado)
- BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1995. 414p.
- 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, 20., Belém, 1985. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p.109.
- BARROS, N.F. & COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Folha de Viçosa, 2002. v.2. p.487-592.
- BIELESKI, R.L. & FERGUSON, I.B. Physiology and metabolism of phosphate and its compounds. In: LAUCHLI, A. & BIELESKI, R.L., eds. Inorganic plant nutrition. Encyclopedia of plant physiology. Berlin, Springer-Verlag, 1983. v.15. p.422-449.



**Figura 1. Influxos estimados de K (a), de Ca (b) e de Mg (c) em mudas de clones de eucalipto, considerando de suas respectivas concentrações em solução. O clone 1213 foi obtido de híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, enquanto os demais foram de híbridos de *E.grandis*.**

- CASTEL, A.J. Absorção de fósforo e de cálcio como critério de seleção de genótipo de soja (*Glycines max* L. Merrill) quanto à tolerância ao alumínio. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1984. 62p. (Tese de Mestrado)
- CLAASSEN, N. & BARBER, S.A. Simulation model for nutrient uptake from soil by a growing plant root system. *Agron. J.*, 68:961-964, 1976.
- CLARK, R.B. Characterization of phosphate of intact maize roots. *J. Agric. Food Chem.*, 23:458-460, 1975.
- ENGELS, C.; NEUMANN, G.; GAHOONIA, T.S.; GEORGE, E. & SCHENK, M. Assessing the ability of roots for nutrient acquisition. In: SMIT, A.C.; BENGOUGH, A.G.; ENGELS, C.; NOORDWIJK, V.M.; PELLERIN, S. & VAN, G.S.C., eds. *Root methods. A handbook*. Berlin, Springer, 2000. p.403-459.
- FÖHSE, D.; CLAASSEN, N. & JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. I. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. *Plant Soil*, 110:101-109, 1988.
- FÖHSE, D.; CLAASSEN, N. & JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. II. Significance of root radius, root hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant Soil*, 132:261-272, 1991.
- FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES - FUNARBE. Saeg-Sistema para análise estatística. V. 5.0. Viçosa-MG, 1993.
- FURTINI NETO, A.E. Efeito do enxofre no crescimento e assimilação do nitrogênio por diferentes espécies de eucalipto. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1988. 95p. (Tese de Mestrado)
- FURTINI NETO, A.E. Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em *Eucalyptus* spp. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 99p. (Tese de Doutorado)
- FURTINI NETO, A.E.; BARROS, N.F.; OLIVEIRA, M.F.G. & NOVAIS, R.F. Eficiência nutricional de mudas de *Eucalyptus* spp em relação a fósforo. *R. Árvore*, 20:17-28, 1996.
- GLASS, A.D.M. Plant nutrition. An introduction to current concepts. Boston, Jones and Bartlett Publishers, 1989. 234p.
- GRESPLAN, S.L. Produção e eficiência nutricional de clones de eucalipto no Norte do Espírito Santo e suas relações com características do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 81p. (Tese de Mestrado)
- LEITE, F.P. Relações nutricionais e alterações edáficas de solos da região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, pelo cultivo de eucalipto. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 66p. (Tese de Doutorado)
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London, Academic Press, 1988. 889p.
- MOLICA, S.G. Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1992. 120p. (Tese de Doutorado)
- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:353-362, 1990.
- NEVES, J.C.L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. (Tese de Doutorado)
- NOVAIS, R.F. & SMITH, T.J. Fósforo em solos e plantas em condições Tropicais. Viçosa, Folha de Viçosa, 1999. 399p.
- NYE, P.H. & TINKER, P.B. Solute movement in the soil-root system. Berkeley, University of California Press, 1997. 342p.
- RUIZ, H.A. Estimativa dos parâmetros cinéticos Km e Vmax por uma aproximação gráfico-matemática. *R. Ceres*, 32:79-84, 1985.
- RUIZ, H.A. & FERNANDES FILHO, E.I. Cinética: Software para estimar as constantes Vmax e Km da equação de Michaelis-Menten. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 10., Piracicaba, 1992. Anais. Piracicaba, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.124-125.
- SIDDIQUI, M.Y. & GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *J. Plant Nutr.*, 4:289-302, 1981.
- SILVA, A.E. Inheritance studies of phosphorus acquisition and utilization efficiency in maize (*Zea mays* L.). Madison, University of Wisconsin, 1990. 149p. (Tese de Doutorado)
- SILVA, I.R.; FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R. & CURTI, N. Eficiência nutricional para Potássio em espécies florestais nativas. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:257-264, 1996.
- SMETHURST, P.J. & COMMEFORD, N.B. Simulating nutrient uptake by single or competing and contrasting root systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:1361-1367, 1993.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. Disponível em: < <http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm> >. Acessado em 03 jun. 2005.
- VALE, F.R.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & MILAGRES, B.G. Absorção de nitrato e amônio por raízes intactas de milho pré-tratadas com alumínio. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:215-218, 1984.
- VÉRY, A. & SENTENAC, H. Molecular mechanisms and regulation of K<sup>+</sup> transport in higher plants. *Ann. Rev. Plant Biol.*, 54:575-603, 2003.
- VILELA, L. & RITCHEY, K.D. Potassium in intensive cropping systems on highly weathered soils. In: MUNSON, R.D., ed. Potassium in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1985. p.1155-1199.