

**TÚLIO ANSELMO SACRAMENTO VIEIRA**

**CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE LEGUMINOSAS  
ARBÓREAS PIONEIRAS E NÃO PIONEIRAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2013**

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

V658c  
2013  
Vieira, Túlio Anselmo Sacramento, 1986-  
Crescimento e eficiência nutricional de leguminosas  
arbóreas pioneiras e não pioneiras / Túlio Anselmo Sacramento  
Vieira. – Viçosa, MG, 2013.  
x, 74 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Haroldo Nogueira de Paiva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 54-66.

1. Leguminosa - Nutrição. 2. Leguminosa - Crescimento.  
3. Biomassa vegetal. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Engenharia Florestal. Programa de  
Pós-Graduação Mestrado em Ciência Florestal. II. Título.

CDO adapt CDD 22 ed. 634.916111

**TÚLIO ANSELMO SACRAMENTO VIEIRA**

**CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE LEGUMINOSAS  
ARBÓREAS PIONEIRAS E NÃO PIONEIRAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 29 de julho de 2013.

---

Júlio César Lima Neves  
(Coorientador)

---

Nairam Félix de Barros

---

Haroldo Nogueira de Paiva  
(Orientador)

Este trabalho,

A Deus

A minha saudosa mãe Elana

Ao meu pai Anselmo

A minha irmã Laíssa

A avó Geralda

Aos meus amigos e familiares

A todos que direta ou indiretamente me apoiaram

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre esteve presente iluminando os meus caminhos, possibilitando a realização dos meus ideais.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV), por intermédio do Departamento de Engenharia Florestal e do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, pela oportunidade oferecida para a realização deste programa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Departamento de Solos-UFV, pelo espaço e instalações cedidos para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Haroldo Nogueira de Paiva, pela orientação, apoio e conhecimentos transmitidos.

Ao professor Júlio César Lima Neves pelo aconselhamento, paciência e contribuição.

Ao professor Nairam Félix de Barros, pela atenção, colaboração no planejamento e execução deste trabalho.

A pesquisadora Loane Vaz Fernandes, pela colaboração, sugestões e amizade.

A minha saudosa mãe Elana Benigna de Castro Sacramento, meu exemplo de vida e perseverança, quem me ensinou acreditar e perseguir os meus ideais, que me fez ser capaz de superar as dificuldades propostas pela vida e sempre será lembrada por sua força de vontade e alegria.

Ao meu pai Anselmo Antônio Vieira, por ser presente e amigo, sempre me apoiando nos estudos e em todos os momentos da minha vida.

A minha irmã Laíssa pela amizade, carinho e dedicação.

A minha avó Geralda pelo exemplo e apoio.

Aos amigos e colegas da graduação e da pós-graduação, em especial Rafael Gomes Martins, Vinícius Tavares Ávila, Wanuza Helena Campos, Liniker Fernandes, Antônio José Vinha Zanuncio, Marciel Lelis Duarte, Alex Ferreira de Freitas, Patrícia Ramalho de Barros e a tantos outros, pela amizade e auxílio nas horas difíceis.

Ao José Gonçalves Bastos, pelas oportunidades, que muito contribuíram para minha formação profissional.

A todos familiares que sempre me incentivaram, com palavras e gestos de afeto.

A Viçosa, pela minha formação e crescimento pessoal, o qual foi de grande importância para o desempenho das atividades acadêmicas.

A todos que contribuíram e possibilitaram a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

TÚLIO ANSELMO SACRAMENTO VIEIRA, filho de Anselmo Antônio Vieira e Elana Benigna de Castro Sacramento (in memoriam), nasceu em Curvelo-MG, no dia 20 de dezembro de 1986.

Em 2004, concluiu o 2º grau no Instituto Pequeno Príncipe - Expansão, em Curvelo, Minas Gerais.

Em 2006, iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em julho de 2010.

Em agosto de 2010, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado em Ciência Florestal, concentrando as suas atividades na área de “Silvicultura”, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em julho de 2013.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1. Nutrição mineral .....	3
2.2. Parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes .....	5
2.3. Crescimento e acúmulo de nutrientes .....	7
2.4. Eficiência de absorção e utilização.....	8
2.5. Classificação em Grupos Ecológicos .....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	13
3.1. Características morfológicas de raízes e parte aéreas.....	14
3.2. Determinação dos teores e acúmulos nutricionais.....	15
3.3. Eficiência nutricional.....	15
3.4. Parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes .....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	18
4.1. Crescimento e produção de biomassa.....	18
4.2. Teores e acúmulos de nutrientes.....	22
4.3. Eficiência de absorção e utilização.....	31
4.3.1. Nitrogênio .....	32
4.3.2. Fósforo .....	32
4.3.3. Potássio .....	34
4.3.4. Cálcio .....	34
4.3.5. Magnésio.....	35
4.3.6. Enxofre.....	35
4.3.7. Manganês .....	36
4.3.8. Cobre.....	37
4.3.9. Ferro.....	37
4.3.10. Zinco .....	38
4.3.11. Classificação das espécies de leguminosas arbóreas nativas quanto à eficiência de absorção e utilização.....	39
4.4. Parâmetros Cinéticos de absorção de nutrientes .....	44
5. CONCLUSÕES .....	52
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXOS .....	66



## RESUMO

VIEIRA, Túlio Anselmo Sacramento, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2013. **Crescimento e eficiência nutricional de leguminosas arbóreas pioneiras e não pioneiras**. Orientador: Haroldo Nogueira de Paiva. Coorientador: Júlio César Lima Neves .

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar a produção de biomassa, os parâmetros morfológicos da parte aérea e raízes, a partição de nutrientes minerais, a eficiência de absorção e utilização de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Mn, Cu, Fe e Zn), bem como os parâmetros cinéticos ( $V_{max}$  e  $K_m$ ) de absorção iônica para P, N, Ca e Mg, em espécies leguminosas arbóreas nativas pertencentes a diferentes grupos de sucessão ecológica. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e câmara de crescimento do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (MG), utilizando-se mudas de seis leguminosas arbóreas pertencentes a diferentes grupos de sucessão ecológica (Pioneiras: *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Senna multijuga* / Não pioneiras: *Anadenanthera peregrina*, *Apuleia leiocarpa*, *Hymenaea courbaril* e *Machaerium nictitans*), cultivadas em solução nutritiva. Os tratamentos, representados por mudas das seis espécies, foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Foram determinados a produção de biomassa; os parâmetros morfológicos de parte aérea e raízes; os teores e acúmulos nutricionais; a eficiência de absorção, translocação e utilização; e os parâmetros cinéticos. Para produção de biomassa, quando agrupadas em função do grupo ecológico, as espécies pioneiras destacaram-se em relação às não pioneiras, esse comportamento também foi observado para área foliar, comprimento radicular e área de superfície radicular. Não foi observado distinção entre grupos de sucessão ecológica quanto à partição de nutrientes minerais, entretanto houve distinção entre as espécies. Para eficiência nutricional, foram identificadas diferenças na eficiência de absorção, translocação e utilização dos nutrientes em relação às espécies, contudo foi identificado distinção para os grupos de sucessão ecológica somente para eficiência de utilização. Dentre os parâmetros cinéticos de absorção iônica somente  $V_{max}$  de P, N, e Mg variaram entre espécies e nutrientes, não apresentando relação contrastante de acordo com grupo de sucessão ecológica, enquanto que o  $K_m$  apresentou-se estatisticamente distinto entre espécies somente para N. *Apuleia leiocarpa* destacou-se entre as demais leguminosas arbóreas por apresentar maior eficiência de absorção, maiores influxos e poder de absorção ( $\alpha$ ),

fato este que pode estar correlacionado às maiores áreas foliares e radiculares específicas apresentadas por esta espécie. Foram confeccionados diagramas para as relações entre eficiência de absorção e eficiência de utilização, assim como para  $V_{max}$  e  $K_m$ , permitindo a classificação das espécies quanto a eficiência nutricional e cinética de absorção iônica. As diferenças identificadas no presente trabalho em leguminosas arbóreas nativas pertencentes à diferentes grupos sucessionais na fase de mudas, sugere a possibilidade de seleção de espécies para diferentes condições de sítio, possibilitando um melhor manejo da adubação de acordo com demandas nutricionais das espécies vegetais.

## ABSTRACT

VIEIRA, Túlio Anselmo Sacramento. M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2013. **Growth and nutrition efficiency in pioneer tree and non pioneers**. Adviser: Haroldo Nogueira de Paiva. Coadviser: Júlio César Lima Neves.

The objective of this study was to evaluate the production of biomass, morphological parameters of shoots and roots, the partition of nutrients, the absorption efficiency and utilization of macro (N, P, K, Ca, Mg e S) and micronutrients (Mn, Cu, Fe e Zn), well as the kinetic parameters ( $V_{max}$  and  $K_m$ ) of ion absorption to P, N, Ca and Mg in native legume species belonging to different groups of ecological succession. The experiment was conducted in greenhouse and growth chamber of the Department of Soil Science, Federal University of Viçosa (MG), using six leguminous plants belonging to different groups of ecological succession (Pioneer: *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Senna multijuga* / Non-pioneer: *Anadenanthera peregrina*, *Apuleia leiocarpa*, *Hymenaea courbaril* e *Machaerium nictitans*), cultivated in nutrient solution. The treatments were represented by six species of seedlings were distributed in a completely randomized design with four replications. Biomass production, morphological parameters of shoots and roots, nutritional contents accumulations; efficiency of absorption, translocation and utilization and the kinetic parameters were determined. For biomass production, when grouped according to the environmental group, the pioneer species stood out in relation to non-pioneer, this behavior was also observed for leaf area, root length and root surface area. No distinction between groups of ecological succession considering mineral nutrient partitioning, however there is distinction between species. For nutritional efficiency, differences in the efficiency of absorption, translocation and utilization of nutrients in relation to species were stated, however was identified distinguish groups of ecological succession for efficiency of utilization. Among the kinetic parameters of ion absorption, only  $V_{max}$  of P, N, and Mg varied between species and nutrients, showing no contrast ratio according to group of ecological succession, while the  $K_m$  was statistically different only for N and different species. *Apuleia leiocarpa* stands out among the other tree legume due to its higher absorption efficiency, greater inflows and power absorption ( $\alpha$ ), a fact that can be correlated with higher specific leaf and root areas shown by this species. Diagrams were made from the relationships between absorption efficiency and utilization efficiency, and  $V_{max}$  and

Km, allowing classification of the species as the nutritional efficiency and kinetics of ion uptake. The differences identified in this study in native leguminous trees belonging to different successional groups in the seedling stage, suggests the possibility of selection of species for different site conditions, allowing better management of fertilizer according to nutrient demands of the plant species.

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente e potencial exploração de espécies arbóreas nativas para a recuperação e restauração ambiental, indústria moveleira, indústria farmacêutica, indústria de couros (tanino), entre outras finalidades, requer informações relevantes para a propagação e desenvolvimento dessas espécies.

Dentre as espécies autóctones, destacam-se as espécies pertencentes à família botânica das Fabáceas, conhecidas como leguminosas, por proporcionarem vantagens adicionais em relação às normalmente obtidas com plantas das outras famílias, uma vez que desempenham importante papel na incorporação e suprimento de nitrogênio aos ecossistemas. Logo, torna-se fundamental e indispensável a inserção de plantas leguminosas, preferencialmente as nativas, em qualquer tentativa de restauração e recuperação ambiental (SIQUEIRA et al., 1995). Segundo Schumacher et al. (2004), informações sobre as exigências nutricionais de espécies arbóreas leguminosas nativas são muito relevantes, entretanto, escassas.

Devido a grande diversidade das espécies autóctones e seus distintos comportamentos nutricionais, é difícil generalizar suas demandas nutricionais e respostas à fertilização. Essas informações são muito importantes para o êxito dos programas de reflorestamento (SIQUEIRA et al., 1995).

Espécies pioneiras são mais exigentes nutricionalmente e apresentam sensível redução de crescimento em solos pobres, mostrando-se bastante responsivas à fertilização, enquanto que espécies não pioneiras são mais adaptadas a solos pobres e menos responsivas ao fornecimento de nutrientes, ou seja, o estímulo ao crescimento proporcionado pela adubação é menos pronunciado e, algumas vezes, inexistente (LAMBERS & POORTER, 1992).

A adequada nutrição de uma planta depende de suas características morfológicas e fisiológicas, que determinam a absorção de nutrientes, bem como da disponibilidade dos mesmos no solo.

Mais da metade das terras cultivadas dos trópicos apresenta baixa fertilidade do solo, que é caracterizado pela acidez elevada, baixa capacidade de retenção de cátions (CTC), baixos teores de bases trocáveis e elevada fixação de fósforo pelo solo (GOEDERT, 1983). Assim, a seleção de cultivares mais eficientes nutricionalmente é uma alternativa para o aumento de produtividade e redução no fornecimento de

nutrientes via aplicação de adubos, o que reduz os custos de produção (GOURLEY et al., 1994).

Um cultivar nutricionalmente mais eficiente apresenta maior capacidade de absorver e utilizar nutrientes. A eficiência de absorção pode ser representada pela quantidade de nutrientes absorvidos por unidade de comprimento e ou, de massa de raiz e pode ser avaliada inclusive em estudos de cinética de absorção de nutrientes (BALIGAR & FAGERIA, 1998). Eficiência de utilização pode ser expressa pela quantidade de massa produzida em relação a quantidade de nutrientes na planta e pode ser influenciada pelo crescimento, pela eficiência de aquisição, de translocação e alocação dos nutrientes (MARTINEZ et al., 1993).

A eficiência nutricional é influenciada por atributos morfológicos e fisiológicos das plantas, como: extensão do sistema radicular, relação entre raízes e parte aérea, habilidade do sistema radicular em modificar a rizosfera, capacidade de manter o metabolismo normal com baixo teor de nutrientes nos tecidos, alta taxa fotossintética, velocidade de absorção ( $V_{max}$ ), a afinidade dos carregadores pelo íon a ser transportado (constante de Michaelis-Menten,  $K_m$ ) e a concentração na solução do solo junto às raízes (FAGERIA & BALIGAR, 1993).

Os parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes sofrem influência de diversos fatores morfológicos e fisiológicos.

A avaliação dos parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes e da demanda nutricional de espécies florestais, procedências e, ou, clones auxilia o silvicultor na escolha do material a ser utilizado nos reflorestamentos (CALDEIRA, 1998), e no manejo da nutrição.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de biomassa, os parâmetros morfológicos da parte aérea e raízes, a partição de nutrientes minerais, a eficiência de absorção e utilização de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Mn, Cu, Fe e Zn), bem como os parâmetros cinéticos ( $V_{max}$  e  $K_m$ ) de absorção iônica para P, N, Ca e Mg, em espécies leguminosas arbóreas nativas pertencentes a diferentes grupos de sucessão ecológica.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Nutrição mineral

O crescimento e o desenvolvimento das plantas depende, além de outros fatores como luz, água e gás carbônico, de um fluxo contínuo de elementos minerais. Segundo Dechen e Nachtigall (2006), sob o ponto de vista da nutrição mineral, os elementos essenciais são classificados em macro e micronutrientes, de acordo com as quantidades exigidas pelas plantas. Os macronutrientes - nitrogênio (N); fósforo (P); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); enxofre (S) - são exigidos em maior quantidade (da ordem de  $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca da planta), já os micronutrientes - ferro (Fe); boro (B); manganês (Mn); zinco (Zn); cobre (Cu); molibdênio (Mo); cloro (Cl); níquel (Ni) - são absorvidos pelas plantas em pequenas quantidades (da ordem de  $\text{mg kg}^{-1}$  de matéria seca da planta).

A água desempenha importante papel no crescimento e desenvolvimento da planta, por atuar na expansão celular, no metabolismo básico, na turgescência celular, na formação e desenvolvimento dos órgãos, no mecanismo estomático, e por ser essencial, também, para o transporte de solutos e gases (LUCCHESI, 1987).

Para que os nutrientes sejam absorvidos, estes devem ser transportados até a superfície das raízes (difusão e fluxo de massa) ou se encontrarem na rota de crescimento das raízes (interceptação radicular). O fluxo de massa ocorre por fluxo convectivo, criado pela absorção de água pela raiz em resposta à transpiração, enquanto a difusão é induzida por uma zona de depleção, na qual ocorre diminuição da concentração dos íons pela absorção na superfície radicular (NYE & TINKER, 1977).

Segundo Marschner (1991), o acúmulo de nutrientes nas proximidades das raízes é mais comum quando o transporte do nutriente se dá por fluxo de massa e ocorre quando a taxa do seu suprimento é maior do que sua absorção. O inverso, depleção, ocorre quando os nutrientes são transportados por difusão (NIELSEN & BARBER, 1978).

O fluxo de massa é um importante mecanismo para o transporte de N, Ca, Mg e S, assim como a difusão é para o transporte de P e K (BARBER, 1974).

A disponibilidade dos nutrientes aos vegetais é influenciada por fatores como aeração, umidade e pH. Já a absorção desses íons é regulada por atributos fisiológicos: concentração externa do íon na solução; concentração interna; velocidade de transporte

dos íons da solução até a raiz e por atributos morfológicos da raiz: diâmetro, comprimento, área de superfície e volume (CLARKSON, 1985).

Para tornar a produção economicamente viável e maximizar o crescimento deve-se estabelecer as doses adequadas dos nutrientes, pois os desbalanços nutricionais podem acarretar prejuízos às culturas. Alguns estudos têm mostrado que a disponibilidade dos nutrientes altera a relação raiz/parte aérea. A falta ou excesso de nutrientes estimula alterações morfológicas das plantas, em condições de baixo suprimento nutricional observa-se menor crescimento da parte aérea e as raízes são longas e não ramificadas, enquanto que em condições de elevado suprimento nutricional observa-se maior desenvolvimento da parte aérea e raízes curtas com intensa ramificação (MARSCHNER, 1995).

Segundo Darrah (1993), nem todas as partes das raízes são eficientes na absorção de nutrientes, a zona de maior absorção de íons é a zona pilífera, a qual só está presente em raízes novas. Raízes mais finas apresentam características favoráveis para absorção de nutrientes, devido ao baixo grau de suberização dos seus tecidos mais externos e apresentam alta permeabilidade à penetração de água e nutrientes (GONÇALVES & MELLO, 2000).

Para alcançar a máxima expressão do potencial genético de crescimento das plantas é necessário conhecer os aspectos nutricionais, como: teores, relações entre nutrientes, eficiências nutricionais, padrões normais de acúmulo presentes na massa seca ao longo do tempo de cultivo e os parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes.

O conhecimento do processo de absorção e acúmulo de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da planta é relevante, pois mostra os picos de demanda por parte da planta, alterações nas taxas de absorção durante o ciclo da cultura e a proporção relativa entre os nutrientes no material seco, oferecendo subsídios para o manejo da adubação (MARTINEZ, 2002).

A adubação é necessária para um desenvolvimento adequado dos vegetais, pois fornece condições para explorar o solo e produzir, a fim de alcançar os níveis econômicos, sociais e ambientais almejados (TEDESCO et al., 1999).

Diferentes padrões das plantas quanto à carência ou excesso de nutrientes sugerem haver controle genético da nutrição, pois a aquisição de elementos minerais do ambiente está em função da morfologia radicular e da eficiência dos mecanismos de absorção (EPSTEIN & JEFFERIES, 1984; MARSCHNER, 1986; DUNCAN & BALIGAR, 1990).



## 2.2. Parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes

Pesquisas sobre os mecanismos de absorção ativa de íons pelas plantas superiores ajustam-se com a hipótese da existência de carregadores iônicos de natureza enzimática, que têm número finito de sítios de ligação. Dessa forma a absorção de nutrientes é influenciada pelos parâmetros cinéticos que compreendem a velocidade máxima de absorção ( $V_{max}$ ), a afinidade dos carregadores pelo íon a ser transportado (constante de Michaelis-Menten,  $K_m$ ) e a concentração na solução nutritiva junto às raízes onde o influxo deixa de ocorrer ( $C_{min}$ ).

As variações dos parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes sofrem influência de vários fatores; por exemplo: idade (EDWARDS & BARBER, 1976; SACRAMENTO & ROSOLEM, 1997), concentração do nutriente nas plantas (GRESPLAN et al., 1998; MARTINEZ et al., 1993; SACRAMENTO & ROSOLEM, 1997), morfologia radicular (WARNCKE & BARBER, 1974; ANGHINONI et al., 1989), presença de elementos tóxicos (VILELA & ANGHINONI, 1984; ALVES et al., 1988; PETRY et al., 1994), micorrizas (FAQUIN et al., 1990), mudanças climáticas (BASSIRIRAD, 2000) e, principalmente entre os genótipos e as espécies vegetais (NIELSEN & BARBER, 1978; SCHENK & BARBER, 1979; ANGHINONI et al., 1989; ALVES, et al., 2002).

Há evidências de que os parâmetros  $K_m$ ,  $V_{max}$  e  $C_{min}$  podem ser modificadas nas plantas micorrizadas. Plantas que possuem raízes associadas à micorrizas arbusculares, podem exibir maior taxa de absorção atribuída a maiores taxas de  $V_{max}$  e podem apresentar menores valores de  $K_m$  indicando maior eficiência na absorção (SHARMA et al., 1999). Podem também absorver nutrientes numa menor  $C_{min}$  na solução do solo, como já observado nas ectomicorrizas (PACHECO & CAMBRAIA, 1992).

A eficiência no processo de absorção de um dado nutriente pode ser dada por meio da equação de Michaelis-Menten (EPSTEIN, 1975; MARSCHNER, 1986; GLASS, 1990):

$$V = V_{Max} \frac{[C]}{[C] + K_M}$$

Onde:

$V$  = velocidade de absorção do íon

$[C]$  = concentração do íon na solução externa

$V_{Max}$  = velocidade máxima de absorção

$K_M$  = constante de Michaelis-Menten (concentração necessária para se atingir metade de  $V_{max}$ )

A absorção de íons pelas plantas teve em Epstein & Hagen (1952) o desenvolvimento de trabalhos pioneiros a caminho do esclarecimento de seu mecanismo e sua regulação. Estes pesquisadores relacionaram à cinética da ação enzima e substrato proposta por Michaelis e Menten (1913) ao transporte de íons na membrana de células vegetais, comparando os carreadores de íons a uma molécula de enzima e, os íons, ao substrato. Assim, a velocidade de transporte de um íon através da membrana estaria associada a dois fatores:  $V_{max}$  - Fator indicativo da velocidade máxima quando todos os sítios de ligação estariam saturados;  $K_m$  - Constante de Michaelis, equivalendo a concentração de íons em que ocorreria a metade da  $V_{max}$ . Portanto, seu valor refletiria o grau de afinidade entre o íon e o carreador.

Becking (1956) descrevendo a absorção de amônio, trabalhando com raízes de milho, observou que o influxo de  $NH_4^+$  em raízes intactas de plantas, que é dependente da concentração externa do íon, exibe uma cinética bifásica que pode ser separada em dois modelos distintos: um saturável de alta afinidade que é predominante em baixas concentrações externas de  $NH_4^+$ , e que se ajusta ao modelo cinético de Michaelis e Menten (1913), e outro não saturável, de baixa afinidade, que predomina em altas concentrações externas de amônio (acima de 1 mM) caracterizado por uma dependência linear da concentração externa de amônio (ULLRICH et al., 1984; WANG et al., 1993; KRONZUCKER et al., 1996). Esse tipo de transportador não saturável foi observado para fungos em concentração milimolar (SHELDEN et al., 2001).

O sistema de alta afinidade (High-Affinity Transport System - HATS) apresenta menores valores de  $K_m$  (ULLRICH et al., 1984; WANG et al., 1993; KRONZUCKER; et al., 1996). Já o sistema denominado de baixa afinidade (Low-Affinity Transport System - LATS), não saturável, é responsável pelo transporte de nutrientes que se encontram em a altas concentrações externas, exibindo aumento linear de atividade em resposta à concentração do nutriente (WANG et al., 1993; KRONZUCKER et al., 1996; RAWAT et al., 1999).

Um transportador de alta afinidade (baixo valor de  $K_m$ ), seria aquele capaz de transportar nutrientes quando em baixas concentrações externas. E baixa afinidade (Alto valor de  $K_m$ ), muitas vezes está correlacionado com uma alta capacidade de transporte, que é um parâmetro importante para manutenção de um grande influxo em elevadas

concentrações externas. Assim, a distinção entre sistemas de alta afinidade/baixa capacidade e baixa afinidade/alta capacidade de transporte, reflete seus papéis fisiológicos com maior precisão do que a baseada apenas na afinidade (WIRÉN et al., 2000).

Com relação a absorção de nutrientes, têm-se o parâmetro poder de absorção ( $\alpha$ ), que é a razão entre  $V_{max}$  e  $K_m$  ( $\alpha = V_{max}/K_m$ ), que concilia os efeitos desses dois parâmetros na eficiência de absorção e se aplica para concentrações muito baixas do nutriente em solução (muito inferiores ao  $K_m$  e próximas ao  $C_{min}$ ) (NYE & TINKER, 2000). Desse modo, o  $\alpha$  pode ser considerado como a eficiência de absorção específica, conforme denominação dada por Marschner (1995): quanto maior for o  $\alpha$ , maior será a taxa de absorção por unidade de raiz. Logo é possível inferir que para sistemas de alta afinidade, o poder de absorção assim como a eficiência de absorção de nutrientes serão maiores.

As curvas de absorção de nutrientes determinadas para algumas espécies têm mostrado que o acúmulo de nutrientes segue o mesmo padrão da curva de acúmulo de massa seca, geralmente apresentando três fases distintas: na primeira fase a absorção é lenta, seguida de intensa absorção até atingir o ponto máximo, a partir do qual ocorre um pequeno declínio (TYLER & LORENZ, 1964; PRATA, 1999; ARAÚJO et al., 2001; LIMA, 2001).

Para fins práticos, pode-se selecionar cultivares que possuem maior eficiência de absorção iônica, ou seja, menor  $K_m$  e maior  $V_{max}$ . O estudo da cinética de absorção iônica não só é importante para a seleção de cultivares mais eficientes na absorção e utilização de determinados íons, como também para a avaliação do metabolismo da planta.

Logo, o conhecimento dos parâmetros cinéticos de absorção, nas diferentes fases de desenvolvimento da planta é muito relevante, pois permite determinar em qual período de cultivo os elementos são mais exigidos, fornecendo informações de grande importância sobre a demanda nutricional do vegetal.

### **2.3. Crescimento e acúmulo de nutrientes**

No início do desenvolvimento de uma cultura, o crescimento é lento, dependente das reservas contidas nas sementes; posteriormente, o crescimento é rápido, mediante da retirada de água e de nutrientes do substrato e da elevada atividade fotossintética, pois já

possui parte aérea e sistema radicular, desenvolvidos. Após atingir o tamanho definitivo, entra para a fase de senescência, que resulta em um decréscimo no acúmulo de matéria seca (LUCCHESI, 1987).

De acordo com Gregory (1926), durante o desenvolvimento de uma cultura, ela ocupa, nas diferentes fases, diferentes períodos de crescimento e, conseqüentemente torna-se imprescindível o conhecimento dos principais fatores externos, e os da própria planta, que poderiam afetar cada uma das fases até o final do ciclo da mesma.

Como dito anteriormente, a água é um fator essencial à vida, ao crescimento e ao desenvolvimento da planta. As culturas consomem durante o seu ciclo de desenvolvimento um volume enorme de água, sendo que cerca de 98% deste volume apenas passa pela planta, perdendo-se posteriormente pelo processo de transpiração, através dos estômatos (REICHARDT, 1978).

Taiz & Zeiger (2004), verificaram que com o desenvolvimento da planta, o crescimento dos diversos órgãos é intensificado até chegar ao máximo, em consequência do intenso acúmulo de biomassa e nutrientes.

A curva de produção de matéria seca no tempo pode indicar com boa aproximação a curva do acúmulo de nutrientes. Em média, as plantas possuem cerca de 5% de nutrientes e minerais na matéria seca, havendo diferenças entre as espécies e as quantidades totais exigidas (SOUZA & COELHO, 2001).

A exigência nutricional de uma cultura varia de acordo com as fases de seu ciclo de desenvolvimento e, devido à interação entre os nutrientes, o conhecimento de um adequado equilíbrio nutricional é relevante, pois a adição de grande quantidade de determinado nutriente pode inibir outro.

Variações nos fatores ambientais como temperatura e umidade do solo podem afetar consideravelmente o conteúdo de nutrientes minerais nas folhas. Esses fatores influenciam tanto a disponibilidade dos nutrientes como a absorção destes pelas raízes e, conseqüentemente, o crescimento da parte aérea. Por outro lado, o acúmulo e a distribuição dos nutrientes minerais na planta dependem de seu estágio de desenvolvimento (MARSCHNER, 1995; GOTO et al., 2001).

#### **2.4. Eficiência de absorção e utilização**

Existem diversos conceitos para eficiência nutricional, entretanto, enfatizando-se a produtividade, o mais usual seria a capacidade de absorção e, ou, utilização de

nutrientes na síntese de biomassa (EPSTEIN, 1975; CLARKSON & HANSON, 1980; CLARK, 1983). Neste contexto, a alta eficiência de absorção otimiza a recuperação dos nutrientes fornecidos mediante aos fertilizantes aplicados, sendo de maior interesse nos estádios iniciais de crescimento e desenvolvimento (BARROS & Novais, 1990).

Destacando-se o requerimento nutricional interno na planta, geralmente a eficiência nutricional é conceituada como a biomassa produzida por unidade de nutriente aplicado no solo, que depende de dois componentes principais: a eficiência de aquisição dependente das eficiências de absorção e do nível de enraizamento, e a eficiência de utilização dependente das eficiências de translocação e conversão do carbono em biomassa (BAILIAN et al., 1991).

A eficiência de absorção significa a habilidade do sistema radicular em adquirir o nutriente e acumulá-lo na planta inteira, é representada pela razão entre o nutriente total absorvido e a matéria seca das raízes (SIDDIQI & GLASS, 1981). Segundo, Baligar & Fageria (1998) a eficiência de absorção é a relação entre a taxa de absorção de nutrientes por unidade de comprimento ou de massa de raízes.

Uma das maneiras para estudar a eficiência de utilização é o cálculo da relação entre a produção de matéria seca da planta toda e o conteúdo do nutriente na matéria seca (SWIADER et al., 1994). Siddiqi & Glass (1981) propuseram uma outra abordagem para eficiência de utilização, como sendo o produto do quociente de uso pela biomassa produzida, o que corresponde à razão entre o quadrado da produção (matéria seca) e a quantidade do nutriente contida na biomassa.

A aquisição de nutrientes depende da eficiência dos mecanismos de absorção e do volume de solo explorado pelas raízes. Por sua vez, a eficiência de utilização depende do transporte de nutrientes para a parte aérea e de sua exigência metabólica (MARTINEZ et al., 1993). Logo, o uso de um índice que relaciona a produção de biomassa com teor de nutrientes, é muito relevante para a classificação de genótipos quanto à eficiência nutricional, permitindo assim evitar que plantas eficientes na absorção de nutrientes, mas de baixa produção de biomassa sejam selecionadas (SIDDIQI & GLASS, 1981).

A eficiência de translocação, é um dos componentes básicos da eficiência de utilização e consiste na razão entre o conteúdo do nutriente na parte aérea e o seu conteúdo no total da planta (raiz + parte aérea) (LI et al., 1991).

Segundo Eberhardt et al. (1999), mesmo que cultivares de uma mesma espécie apresentem capacidades similares na absorção ou no acúmulo de um determinado nutriente, pode ocorrer grande diferença entre elas na produção de biomassa.

Fageria & Barbosa Filho (1982) e Martinez et al. (1993), observaram a possibilidade de selecionar cultivares adaptadas a diferentes condições de fertilidade do solo, o que tem colaborado para o aumento da produtividade, sendo atribuído também ao melhoramento genético associado as adequadas práticas de manejo.

A absorção de um dado nutriente, sua translocação e redistribuição no vegetal, sugerem controle genético da nutrição. Existe assim, a possibilidade de se melhorar e, ou, selecionar cultivares mais eficientes, quanto à utilização de nutrientes (GERLOFF & GABELMAN, 1983).

Segundo Furlani et al. (1984), do ponto de vista nutricional, um genótipo eficiente é aquele em que se obtêm boas produtividades, mesmo em condições de baixo suprimento de nutrientes pelo solo, e assim, comparativamente a outras cultivares, tem maior capacidade de absorver e utilizar os nutrientes, necessários para produção de biomassa.

Vários são os fatores que afetam a produtividade das culturas e também afetam a eficiência nutricional. Estes fatores são: idade, condições edafoclimáticas, nível de compactação do solo, entre outros (MOLICA, 1992).

O fornecimento adequado de nutrientes contribui de forma significativa, tanto no aumento da produtividade como no aumento do custo da produção. Logo, a otimização da eficiência nutricional tem grande importância na produção das culturas em solos de baixa fertilidade, devido aos elevados custos com fertilizantes. E estes, na agricultura convencional, representam em média 30% do custo total de produção (FAGERIA & BARBOSA FILHO, 2004).

Os fatores que afetam a absorção e utilização dos nutrientes devem estar no nível ótimo durante o desenvolvimento da cultura, a fim de obter-se máxima eficiência nutricional. Logo, os componentes do sistema de produção, devem ser manejados adequadamente.

A avaliação de genótipos vegetais através da eficiência nutricional tem se mostrado vantajosa, pois permite maior controle dos fatores de variação e da pressão de seleção. Estudos comparativos entre os resultados obtidos aprimorariam a compreensão e avaliação do sucesso do emprego dessas técnicas na seleção de genótipos eficientes, entretanto, são escassos (MACHADO et al., 2001).

## 2.5. Classificação em Grupos Ecológicos

A intensidade luminosa presente em um sítio florestal provoca variações nas respostas apresentadas pelas espécies quanto aos processos de germinação, estabelecimento, desenvolvimento e reprodução. De um lado encontram-se as espécies, que são positivamente influenciadas pela alta luminosidade e temperatura para seu crescimento e estabelecimento. No extremo oposto, situam-se espécies que não suportam as condições de plena exposição a altas intensidades luminosas e de temperatura, necessitando germinarem e se desenvolverem a sombra de outras árvores. Entre os dois extremos, posicionam-se as espécies que apresentam características ou adaptações ecológicas intermediárias, quanto às exigências e tolerâncias a luz (VACCARO, 1997).

Desta maneira, muitos autores têm agrupado as espécies florestais em grupos ecológicos com base na estratégia de regeneração que cada uma apresenta sendo classificadas em pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias ou climácicas.

Espécies pioneiras ou intolerantes à sombra são aquelas que necessitam de clareiras naturais como sítio de regeneração (HARTSHORN, 1978), cujas sementes germinam em clareiras, nas quais a radiação solar atinge o chão da floresta por pelo menos parte do dia (VAZQUEZ-YANES & OROZCO-SECOVIA, 1994).

Para Hartshorn (1978) existiam dois tipos de espécies secundárias: secundárias iniciais que se desenvolviam sobre sombreamento parcial, necessitando, apenas, de clareiras pequenas para seu desenvolvimento e secundárias tardias cujas sementes podem germinar na sombra do dossel e produzir plântulas tolerantes ao sombreamento, capazes de sobreviver por longo tempo no interior da mata. Entretanto, Clark (1994) mostrou ser essa classificação muito simplista, já que outros fatores, como fertilidade do solo e umidade podem, também, determinar o sucesso das colonizações. Alguns autores (DENSLOW, 1996; SCHNITZER & CARSON, 2001) demonstraram que espécies tolerantes à sombra geralmente crescem bem em todas as condições de luminosidade. Então, Kageyama & Gandara (2001) classificaram as espécies em pioneiras e não pioneiras.

Espécies de crescimento lento são pouco responsivas a adubação e fertilização, sendo mais adaptadas a solos de baixa fertilidade. Dessa forma, espera-se que espécies

classificadas como pioneiras tenham seu crescimento mais restrito quando se desenvolvem em solos ácidos, mostrando-se responsivas à correção da acidez, ao passo que, com o avanço do grupo sucessional, o estímulo ao crescimento proporcionado pela calagem seja menos pronunciado (LAMBERS & POORTER, 1992).

Segundo Gonçalves et al. (2003) o reflorestamento com várias espécies de diferentes grupos ecológicos pode elevar as taxas de absorção e ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, a eficiência de aproveitamento dos nutrientes, indicando que espécies pioneiras e não pioneiras devem apresentar diferentes curvas de cinética de absorção de nutrientes e eficiências nutricionais.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido inicialmente em Viveiro no município de Viçosa, MG, onde foram propagadas seminalmente seis espécies leguminosas pertencentes a diferentes grupos sucessionais (Tabela 1).

**Tabela 1.** Espécies leguminosas pertencentes a diferentes grupos sucessionais, utilizadas no experimento

Nome científico	Nome comum	Grupo sucessional
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	Sabiá	Pioneira
<i>Senna multijuga</i>	Farinha-seca	Pioneira
<i>Anadenanthera peregrina</i>	Angico-vermelho	Não pioneira
<i>Machaerium nictitans</i>	Bico-de-pato	Não pioneira
<i>Apuleia leiocarpa</i>	Garapa	Não pioneira
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	Não pioneira

No período de outubro a dezembro de 2011, bandejas de polietileno com dimensões de 61,5 X 42,0 X 18,0 cm, foram utilizadas como sementeiras, utilizando como substrato o Plantmax<sup>®</sup>. É relevante salientar que orifícios foram feitos na parte inferior das bandejas, para que a água de irrigação não fosse acumulada. Durante o cultivo das mudas em substrato, fizeram-se adubações com Mono - amônio fosfato (MAP) com concentração a 1,5%, sendo a primeira realizada 20 dias após a germinação das sementes e a segunda, 15 dias após a primeira aplicação .

Posteriormente as mudas dessas espécies foram transferidas para uma casa de vegetação pertencente ao Departamento de Solos / UFV, onde foram transplantadas para vasos de polietileno com 6 litros de solução nutritiva completa de Hoagland & Arnon (1950) (Tabela 2), com um oitavo da força iônica e pH ajustado inicialmente e corrigido periodicamente, para 6,0. A força iônica da solução foi aumentada semanalmente até atingir 50% da força iônica original. A solução nutritiva foi mantida sob aeração constante com auxílio de um compressor e as trocas da solução foram realizadas semanalmente, durante o período de janeiro a março de 2012.

**Tabela 2.** Composição da solução nutritiva completa de Hoagland & Arnon (1950)

Macronutrientes			Micronutrientes		
Sais da solução estoque	Concentração da solução estoque	Volume da solução estoque	Sais da solução estoque	Concentração da solução estoque	Volume da solução estoque
	(g L <sup>-1</sup> )	(mL L <sup>-1</sup> )		(g L <sup>-1</sup> )	(mL L <sup>-1</sup> )
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	236,1	5	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2,86	1
KNO <sub>3</sub>	101,1	5	MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	1,81	1
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	246,4	2	ZnCl <sub>2</sub>	0,10	1
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136,1	1	CuCl <sub>2</sub>	0,04	1
			H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	0,02	1
			Fe-EDTA <sup>(*)</sup>	24,25	1

(\*) Solução de Fe-EDTA, fonte de Fe adicionalmente a 33,2g EDTA-Na<sub>2</sub>; 89 mL de NaOH (1 mol.L<sup>-1</sup>), completar em 800 mL de H<sub>2</sub>O. Arejar uma noite ao abrigo de luz, completar a 1L de água.

Em março de 2012, as mudas com 90 dias de idade foram selecionadas quanto à uniformidade de raízes e parte aérea (altura > 20 cm); transferidas para câmara de crescimento com umidade relativa em torno de 50%, temperatura de cerca de 27°C e intensidade luminosa aproximada de 120 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. As plantas foram transferidas para vasos plásticos com 2 L de solução nutritiva de igual composição à anteriormente utilizada e o pH ajustado para 6,0, onde permaneceram por mais 10 dias. Durante a aclimação e para a realização do experimento, para cada nutriente e espécie estudada, foram utilizadas quatro repetições, dispostas inteiramente ao acaso, sendo a unidade experimental constituída por uma planta por vaso.

Ao final do experimento, foram realizadas avaliações: das características morfológicas de raiz e parte aérea (comprimento das raízes - CR, diâmetro das raízes - DR, área da superfície radicular - ASR, diâmetro do coleto - DC, comprimento da parte aérea - CPA, área foliar - AF, área foliar específica - AFE, área da superfície radicular específica - ASRE, matéria seca da parte aérea - MSPA, matéria seca das raízes - MSR, matéria seca total - MST, relação entre matéria seca da parte aérea e raiz - MSPA/MSR); dos teores e acúmulos nutricionais; das eficiências nutricionais (eficiência de absorção - EA, eficiência de translocação - ET e eficiência de utilização - EU) e dos parâmetros cinéticos de absorção (velocidade máxima de absorção de nutrientes- Vmax, Constante de Michaelis-Menten - Km).

### 3.1. Características morfológicas de raiz e parte aérea

O comprimento da parte aérea foi tomado com régua graduada, da base do caule até o meristema apical da muda. O diâmetro do coleto foi medido com paquímetro

digital, com precisão de 0,01 mm. Para a determinação da área foliar utilizou-se um medidor de área foliar, modelo LI-3100 (Licor, Nebraska, EUA).

Após a separação das raízes da parte aérea, foram acondicionadas em potes plásticos com álcool 70%, para posterior determinação das características morfológicas radiculares (comprimento, volume, área de superfície e diâmetro médio), por meio do sistema *WinRHIZO Pro 2009a* (Basic, Reg, Pro & Arabidopsis for Root Measurement), acoplado a um *scanner* profissional *Epson XL 10000*.

Para a obtenção da massa da matéria seca da parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR), o material vegetal foi pesado após ser lavado com água desmineralizada, acondicionado em sacos de papel e seco em estufa de circulação forçada de ar (com temperatura de aproximadamente 70°C, por 72 horas).

As áreas foliar e de superfície radicular específicas foram obtidas dividindo-se a área foliar e área da superfície radicular pelo peso de massa seca de folhas e raízes, respectivamente.

### **3.2. Determinação dos teores e acúmulos nutricionais**

Após a secagem o material vegetal foi triturado em moinho tipo Wiley e mineralizado por meio de duas digestões distintas. Para P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe, Cu e Zn foi realizada a digestão nítrico-perclórica (JOHNSON & ULRICH, 1959). Os teores foram determinados, P por colorimetria, K por fotometria de emissão de chama, Ca, Mg, S, Mn, Fe, Cu, Zn por espectrofotometria de absorção atômica (MALAVOLTA et al., 1997), e para N, a digestão foi por meio de ataque sulfúrico e quantificado pelo método de Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995).

O acúmulo de cada nutriente na parte aérea e raízes, foi determinado multiplicando-se os teores dos nutrientes pelo peso de matéria seca.

### **3.3. Eficiência nutricional**

A eficiência nutricional, das seis espécies para cada nutriente, foi avaliada por meio do cálculo dos valores pelas fórmulas: eficiência de absorção  $EA = (\text{conteúdo total do nutriente na planta} / \text{matéria seca de raiz})$  (SWIADER et al., 1994), eficiência de translocação  $ET = (\text{conteúdo do nutriente na parte aérea} / \text{conteúdo total do nutriente na$

planta) (LI et al., 1991), eficiência de utilização  $EU = (\text{matéria seca total})^2 / (\text{conteúdo total do nutriente na planta})$ , conforme Siddiqi & Glass (1981).

Foi realizado o agrupamento das espécies quanto à eficiência nutricional em diagrama. As médias das eficiências de absorção e de utilização de cada nutriente foram utilizadas para a alocação das espécies em quadrantes, representando 4 diferentes grupos de eficiência nutricional: elevada eficiência para absorção e utilização (EAEU); elevada eficiência para absorção e baixa eficiência para utilização (EANEU); baixa eficiência para absorção e elevada eficiência para utilização (NEAEU); e baixa eficiência para absorção e utilização (NEANEU).

### **3.4. Parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes**

Após o período de aclimação, as mudas foram submetidas ao período de restrição nutricional em solução com a concentração de nutrientes reduzida a 10% e pH ajustado para 6,0, onde permaneceram por mais cinco dias. Posteriormente, a solução foi trocada por outra com pH 6,0 e com concentrações iniciais para cinética de absorção, determinadas por testes preliminares: N ( $150 \mu\text{mol L}^{-1}$ ), P ( $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ ), Ca ( $100 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) e Mg ( $100 \mu\text{mol L}^{-1}$ ).

Após duas horas na solução de pré-exaustão, para que o estado estacionário da absorção fosse alcançado, a solução foi renovada por outra de igual composição. A condição de estado estacionário de absorção é necessária para aplicação do modelo cinético (EPSTEIN & HAGEN, 1952).

Durante 24 horas, a solução de depleção foi amostrada (10 mL de alíquota), a intervalos de uma hora durante as primeiras 12 horas. Mais duas amostragens, às 16 e 24 horas após o início da cinética, foram efetuadas. Posteriormente, realizou-se a medição do volume da solução remanescente nos vasos.

Foram determinados os teores de N, P, Ca e Mg, nas alíquotas coletadas. A determinação de N (o qual, foi integralmente fornecido na forma nítrica  $\text{N-NO}_3$ ) foi realizada pelo método descrito por Cataldo et al. (1975), de P por colorimetria (MURPHY & RILEY, 1962), Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica.

Os teores de cada nutriente na solução de depleção (em cada tempo de amostragem), os dados relativos ao volume inicial e final de solução nos vasos, o volume de alíquota coletada e o peso de matéria seca de raízes foram utilizados no

software Cinética V.1.0 (RUIZ & FERNANDES FILHO, 1992), obtendo-se os valores dos parâmetros cinéticos  $V_{max}$  e  $K_m$ . O  $C_{min}$  não foi avaliado, uma vez que a concentração dos nutrientes não se estabilizou ao final do tempo de amostragem. O referido programa calcula  $V_{max}$  por meio de uma equação linear e  $K_m$  por equações curvilíneas do tipo potencial, exponencial e exponencial-recíproco. A equação do modelo exponencial foi a escolhida para todos os nutrientes, uma vez que apresentou melhor ajuste aos dados, apresentando maiores valores para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para a maioria das repetições.

Foi calculado também o poder de absorção das raízes ( $\alpha$ ) definido como a razão  $V_{max}/K_m$ , que é uma expressão direta da eficiência de absorção.

A caracterização dos parâmetros cinéticos das espécies em relação aos nutrientes permitiu separá-los em quatro grupos: espécies que apresentam  $\uparrow V_{max}$  e  $\downarrow K_m$ ; espécies que apresentam  $\downarrow V_{max}$  e  $\downarrow K_m$ ; espécies que apresentam  $\uparrow V_{max}$  e  $\uparrow K_m$ ; e espécies que apresentam  $\downarrow V_{max}$  e  $\uparrow K_m$ .

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste F, e as médias comparadas pelo teste de Tukey, utilizando o software Statistica 7.0 (STATSOFT INC., 2007).

## 4. RESULTADOS E DICUSSÃO

Nos apêndices encontram-se os resumos dos quadros da análise de variância (ANOVA) referentes aos fatores avaliados das seis espécies leguminosas arbóreas, utilizadas no trabalho.

As espécies apresentaram comportamentos diferentes de acordo com suas características ecológicas. As pioneiras cresceram mais e acumularam mais nutrientes que as não pioneiras.

### 4.1. Crescimento e produção de biomassa

As espécies pioneiras apresentaram maior produção de matéria seca da parte aérea, raízes e total (Tabela 3), em comparação às espécies não pioneiras, confirmando maior desenvolvimento vegetativo por parte deste grupo sucessional.

Corroborando com os resultados encontrados, Resende et al. (1999) estudando o crescimento inicial em espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo, observaram que as espécies pioneiras em comparação às não pioneiras tenderam a apresentar um crescimento inicial mais pronunciado.

O maior requerimento nutricional por espécies pioneiras é consequência da rápida incorporação dos fotoassimilados e maior capacidade de absorção de nutrientes (em face da maior superfície radicular), que reflete em uma maior produção de biomassa. Portanto, para um correto desenvolvimento dessas espécies, há a necessidade de fertilização em quantidade e qualidade (SILVA et al., 1997).

A produção de matéria seca é um dos componentes considerados na caracterização das plantas para eficiência de utilização de nutrientes (BLAIR, 1993). Portanto, para as espécies estudadas, a matéria seca de parte aérea e raízes possui uma maior participação nos critérios de qualificação, no que diz respeito à distinção entre grupos sucessionais, quanto à eficiência nutricional.

A relação MSPA/MSR variou de 2,29 a 6,52, quocientes mais baixos podem representar uma estratégia de crescimento em situações de baixo suprimento nutricional, maximizando a superfície externa de absorção das raízes, promovendo uma extensão contínua do sistema radicular (CLARKSON, 1985). Entretanto, de acordo com Horn et al. (2006) a maior translocação de fotoassimilados para as raízes pode limitar o desenvolvimento da área fotossinteticamente ativa, ou seja, da parte aérea.

Com base no coeficiente de variação de médias das espécies, a variabilidade média foi elevada para as produções de matéria seca de parte aérea, raízes e total, também para a relação MSPA/MSR (Tabela 3), devido a heterogeneidade entre as espécies de leguminosas arbóreas pertencentes a diferentes grupos de sucessão ecológica, utilizadas no experimento.

Aspectos ligados às diferenças de flexibilidade no ajuste da relação parte aérea/raízes, decorrentes das condições nutricionais do meio, explicam o comportamento das espécies quanto ao direcionamento do seu crescimento. Neste caso, as espécies adaptadas a ambientes de baixa fertilidade ou que apresentam crescimento mais lento teriam uma menor flexibilidade nesse ajuste (CHAPIN III, 1980; CLARKSON, 1985). Contrariando essa hipótese não foram observados comportamentos distintos para a relação entre matéria seca da parte aérea e raízes entre os grupos sucessionais, entretanto, as espécies diferiram entre si (Tabela 3). Esta relação foi maior para as espécies *Mimosa caesalpiniaefolia*, *Anadenanthera peregrina*, *Machaerium nictitans* e *Hymenaea courbaril*.

**Tabela 3.** Peso de matéria seca da parte aérea (MSPA), do sistema radicular (MSR) e relação entre a matéria seca da parte aérea e raízes (MSPA/MSR) das seis espécies leguminosas arbóreas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

Espécie	MSPA	MSR	MST	MSPA/MSR
	g planta <sup>-1</sup>			
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	15,68 a <sup>(2)</sup>	7,23 a	22,91 a	2,31 c
<i>S. multijuga</i>	17,42 a	2,79 b	20,21 a	6,52 a
<i>A. peregrina</i>	8,13 b	1,91 b	10,04 b	4,30 abc
<i>M. nictitans</i>	4,69 b	2,10 b	6,79 b	2,29 c
<i>A. leiocarpa</i>	3,19 b	0,60 b	3,79 b	5,64 ab
<i>H. courbaril</i>	6,17 b	2,04 b	8,21 b	3,14 bc
Média	9,21	2,78	11,99	4,03
CV(%) <sup>(1)</sup>	64,46	82,58	64,52	43,86

<sup>(1)</sup>Coeficiente de variação das médias entre espécies. <sup>(2)</sup>Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Tukey a 5%.

As espécies não pioneiras apresentaram menores médias de diâmetro do caule, comprimento da parte aérea, área foliar, comprimento das raízes e área da superfície radicular (Tabela 4); este fato pode ser atribuído as características intrínsecas destas

espécies que apresentam uma menor taxa de crescimento se comparadas com as espécies pioneiras. Portanto, apresentam baixa exigência nutricional, baixa capacidade de absorção e, conseqüentemente, baixa resposta a fertilização, mesmo que os nutrientes estejam prontamente disponíveis (GONÇALVES et al., 2000).

O diâmetro médio radicular (DR) não diferiu entre os grupos sucessionais (Tabela 4), contudo as médias diferiram entre as espécies. Schenk & Barber (1979) avaliaram os parâmetros morfológicos radiculares, considerando a disponibilidade de P, e observaram que eles variaram somente quando a concentração do nutriente era baixa, o que pode estar relacionado com o mecanismo da planta de incrementar a emissão de raízes mais finas e mais longas com o objetivo de aumentar a eficiência na absorção (BARBER, 1995).

Os maiores valores de área foliar, apresentados pelas espécies pioneiras são relacionados à maior transpiração e consumo de água, todavia, diferentes espécies e genótipos podem apresentar diferenças no controle do mecanismo de abertura e fechamento estomático, interferindo na eficiência de uso da água, como verificado por Silva et al. (2004).

**Tabela 4.** Comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), diâmetro do coleto (DC), diâmetro de raiz (DR), área foliar (AF), área de superfície radicular (ASR), área foliar específica (AFE), área de superfície radicular específica (ASRE) das seis espécies leguminosas arbóreas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

Espécie	CPA	CR	DC	DR	AF	ASR	AFE	ASRE
	cm	cm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	72,45 b <sup>(2)</sup>	24615 a	0,69 a	0,56 b	1599 a	4159 a	2,10 b	5,79 b
<i>S. multijuga</i>	91,12 a	21220 a	0,74 a	0,49 b	1178 a	3099 ab	1,17 c	11,35 b
<i>A. peregrina</i>	54,70 c	15384 ab	0,49 bc	0,45 bc	228 b	2099 ab	0,47 d	11,08 b
<i>M. nictitans</i>	48,22 cd	14015 ab	0,59 ab	0,42 bc	413 b	1815 b	1,41 c	8,72 b
<i>A. leiocarpa</i>	47,75 cd	11362 ab	0,35 c	0,32 c	643 b	1109 b	2,93 a	20,74 a
<i>H.courbaril</i>	43,80 d	5800 b	0,58 ab	0,82 a	493 b	1495 b	1,37c	7,32 b
Média	59,67	15399	0,57	0,51	759	2296	1,57	10,83
CV(%) <sup>(1)</sup>	30,92	43,96	24,77	33,68	68,90	49,41	53,59	48,97

<sup>(1)</sup>Coefficiente de variação das médias entre espécies. <sup>(2)</sup>Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Tukey a 5 %.



É possível observar que as espécies pioneiras apresentaram maiores valores de área foliar e de parâmetros morfológicos radiculares (exceto o diâmetro) (Tabela 4), assim como maior produção de biomassa (Tabela 3), sugerindo existir relação entre esses fatores. Uma maior superfície fotossintetizante relaciona-se não somente a maiores produtividades, mas também a uma maior eficiência no uso de fotoassimilados, que pode ocorrer tanto nas folhas quanto em outros órgãos da planta (EVANS, 1972; NIELSEN et al., 2001).

Os parâmetros morfológicos radiculares estão diretamente relacionados à capacidade de absorção de nutrientes pelas plantas, logo as espécies que possuem maior quantidade de raízes finas, comprimento e área de superfície radicular, apresentam maior produtividade. Corroborando com os resultados encontrados, Gonçalves et al. (1992) verificaram que espécies pioneiras por possuírem sistema radicular mais desenvolvido e raízes finas em maior quantidade, apresentaram as maiores taxas de crescimento e absorveram mais nutrientes que as não pioneiras, nas quais foi constatada a presença de raízes atrofiadas e espessas.

Segundo Benincasa (1988), a área foliar específica (AFE) é a relação entre a área foliar e a biomassa seca das folhas e fornece um indicativo da espessura da lâmina foliar. A AFE é bastante afetada pelas condições edafoclimáticas, pois uma adaptação das plantas a elevadas temperaturas seria possuir lâmina foliar mais espessa. Analisando comparativamente os resultados de área foliar específica das espécies pioneiras em relação às não pioneiras, não foi observada distinção em função do grupo sucessional e sim em função da espécie (Tabela 4).

É considerado que quanto maior for o valor da área foliar específica, que expressaria uma maior produção de área foliar por unidade de C alocado em folhas, menor terá sido a demanda de esqueletos de carbono para expansão foliar, o que representa uma maior eficiência de utilização de fotoassimilados por parte da planta (EVANS, 1972). Dessa forma, as diferentes áreas foliares específicas encontradas nestas espécies demonstram maior plasticidade no crescimento foliar, que pode variar em função de vários fatores e não somente do grupo sucessional.

Deve ser ressaltado que o experimento foi conduzido em casa de vegetação e como comprovado por Radin et al, (2004) em casa de vegetação, ocorre menor disponibilidade de radiação solar incidente devido a redução de aproximadamente 30% pelo material de cobertura, e a área foliar específica tende a ser maior. Sendo que o aumento de sombreamento resulta em folhas maiores e mais finas (DALE, 1988). A área

foliar específica sofre influencia além da intensidade luminosa, da temperatura (CHARLES-EDWARDS, 1979).

A área radicular específica (ARE), que expressa uma relação entre superfície para absorção de nutrientes e a massa radicular, diferiu entre as espécies, contudo não apresentou diferença entre os grupos de sucessão ecológica (Tabela 4).

Vale ressaltar que a área foliar foi o parâmetro morfológico que apresentou maior capacidade discriminatória ( CV= 68,90%) dentre os parâmetros morfológicos, os demais também apresentaram elevada variabilidade, esse fato deve-se às particularidades apresentadas por cada espécie no que se refere a estratégia de crescimento, regulação estomática e da própria nutrição mineral.

*Apuleia leiocarpa* destacou-se entre as demais por apresentar maior área radicular específica. A área radicular específica é um parâmetro de grande relevância, pois se correlaciona com uma maior capacidade de absorção de nutrientes. Isso significa que, para um mesmo peso de raízes, aquela que apresentar maior área superficial específica, irá possuir maior quantidade de raízes finas, conseqüentemente terá maior capacidade de absorção de nutrientes (TENNANT, 1975).

#### **4.2. Teores e acúmulos de nutrientes**

Os teores e acúmulos nutricionais variaram em função da espécie, de maneira geral não foram observadas diferenças entre os teores e acúmulos médios devido ao grupo sucessional (Tabelas 5 e 6).

Os teores dos nutrientes de maneira geral, observados nos diferentes componentes das plantas (Tabelas 5 e 6), foram maiores nas parte aérea que nas raízes.

Os maiores teores de nutrientes minerais nas folhas, em termos de componentes da parte aérea, e nas raízes finas, em termos do sistema radicular, espelham suas maiores atividades metabólicas (MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004).

**Tabela 5.** Teores e acúmulos dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na parte aérea (PA) e raiz (R) de seis espécies leguminosas arbóreas pertencentes a diferentes grupos sucessionais (Continua)

Espécie	Teor PA	Teor R	Conteúdo PA	Conteúdo R	Conteúdo Total
	g kg <sup>-1</sup>		mg planta <sup>-1</sup>		
.....Nitrogênio.....					
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	25,44 a <sup>(2)</sup>	19,51 abc	398,25 a	137,44 a	535,69 a
<i>S. multijuga</i>	27,02 a	15,73 bc	458,45 a	43,01 b	501,46 a
<i>A. peregrina</i>	29,11 a	24,08 a	228,75 b	47,14 b	275,89 b
<i>M. nictitans</i>	26,05 a	16,29 bc	120,93 bc	33,68 b	154,61bc
<i>A. leiocarpa</i>	24,44 a	21,10 ab	78,46c	12,16 b	90,62 c
<i>H. courbaril</i>	17,51 b	13,55 c	107,57 bc	27,61 b	135,18 bc
Média	24,93	18,38	232,07	50,17	282,24
CV (%) <sup>(1)</sup>	15,92	21,20	69,57	88,70	68,51
.....Fósforo.....					
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	2,56 c	3,37 abc	41,17 ab	21,44 a	62,61 a
<i>S. multijuga</i>	3,01 c	2,46 bc	52,80 a	6,26 cd	59,06 a
<i>A. peregrina</i>	4,03 bc	4,84 ab	33,94 ab	9,12 bc	43,06 ab
<i>M. nictitans</i>	2,33 c	2,16 c	10,99 b	4,62 cd	15,61 b
<i>A. leiocarpa</i>	10,46 a	5,02 ab	32,20 ab	3,05 d	35,25 ab
<i>H. courbaril</i>	6,38 b	5,9 a	39,48 ab	12,06 b	51,54 a
Média	4,79	3,96	35,10	9,42	44,52
CV (%)	65,59	38,31	39,48	71,21	39,06
.....Potássio.....					
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	12,20 b	3,40 d	190,13 b	25,27 a	215,40 ab
<i>S. multijuga</i>	16,70 a	4,90 cd	290,11 a	14,01 ab	304,12 a
<i>A. peregrina</i>	12,63 b	5,88 bcd	97,45 c	10,38 ab	107,83 c
<i>M. nictitans</i>	19,14 a	7,98 abc	89,27 c	16,92 ab	106,19 c
<i>A. leiocarpa</i>	19,00 a	9,04 ab	60,27 c	5,73 b	66,00 c
<i>H. courbaril</i>	16,64 a	10,65 a	101,87 bc	21,95 a	123,82 bc
Média	16,05	6,98	138,18	15,71	153,89
CV (%)	18,81	39,03	62,44	46,14	57,67
.....Cálcio.....					
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	21,30 b	7,97 a	338,03 ab	54,87 a	392,90 ab
<i>S. multijuga</i>	22,19 b	5,89 ab	392,20 a	16,05 b	408,25 a
<i>A. peregrina</i>	23,86 b	8,26 a	193,17 bc	15,46 b	208,63 bc
<i>M. nictitans</i>	30,10 a	3,73 b	141,12 c	8,37 b	149,49 c
<i>A. leiocarpa</i>	21,37 b	4,67 ab	67,72 c	2,45 b	70,17 c
<i>H. courbaril</i>	8,16 c	4,52 ab	50,47 c	9,19 b	59,66 c
Média	21,16	5,84	197,12	17,73	214,85
CV (%)	33,89	32,45	71,50	106,46	71,63

**Tabela 5.** Teores e acúmulos dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na parte aérea (PA) e raiz (R) de seis espécies leguminosas arbóreas pertencentes a diferentes grupos sucessionais (Conclusão)

Espécie	Teor PA	Teor R	Conteúdo PA	Conteúdo R	Conteúdo Total
	g kg <sup>-1</sup>		mg planta <sup>-1</sup>		
.....Magnésio.....					
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	3,50 a	1,02 b	55,67 a	7,10 a	62,77 a
<i>S. multijuga</i>	1,99 b	1,36 b	35,10 ab	3,71 bc	38,81 ab
<i>A. peregrina</i>	3,65 a	2,34 a	30,99 ab	4,58 ab	35,57 ab
<i>M. nictitans</i>	2,19 b	1,00 b	10,16 b	2,15 bc	12,31 c
<i>A. leiocarpa</i>	3,26 a	2,32 a	10,59 b	1,39 c	11,98 c
<i>H. courbaril</i>	2,01 b	2,12 a	12,43 b	4,31 abc	16,74 c
Média	2,77	1,69	25,82	3,87	29,69
CV (%)	28,39	37,70	70,58	51,96	67,27
.....Enxofre.....					
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	1,00 a	1,10 ab	15,80 ab	7,63 a	23,43 a
<i>S. multijuga</i>	1,10 a	0,86 b	19,95 a	2,32 b	22,27 ab
<i>A. peregrina</i>	1,29 a	1,33 a	11,01 ab	2,50 b	13,51 ab
<i>M. nictitans</i>	1,02 a	0,88 b	4,78 b	1,90 b	6,68 c
<i>A. leiocarpa</i>	1,23 a	0,43 c	3,92 b	0,31 b	4,23 c
<i>H. courbaril</i>	1,18 a	0,99 ab	7,32 b	2,02 b	9,34 bc
Média	1,14	0,93	10,46	2,78	13,24
CV (%)	10,31	32,20	61,00	89,92	60,87

<sup>(1)</sup> Coeficiente de variação das médias entre espécies. <sup>(2)</sup> Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Tukey a 5 %.

Para nitrogênio, observou-se variação no teor de 17,51-29,11 g kg<sup>-1</sup> na parte aérea e de 13,55-24,08 g kg<sup>-1</sup> na raiz (Tabela 5). Esses valores estão dentro da faixa sugerida por Faquin (1994), que é de 20-50 g kg<sup>-1</sup> da matéria seca. De acordo com Malavolta et al. (1997), concentrações foliares de nitrogênio variando de 12-35 g kg<sup>-1</sup>, são considerados adequados para as essências florestais. Corroborando com os resultados obtidos, Barreto e Fernandes (2001) relataram teores de N na parte aérea em leucena de 26,9 g kg<sup>-1</sup> e em gliricídia, de 27,3 g kg<sup>-1</sup>.

Os teores de N encontrados neste trabalho assemelham-se aos encontrados por Malavolta (1987) para o gênero *Eucalyptus* spp., que apresentaram variação de 14-16 g kg<sup>-1</sup>; Venturin et al. (1999) para o angico-amarelo (*Peltophorum dubium*), que verificou para esta espécie teor de nitrogênio de 16,2 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca de parte aérea; Duboc et al. (1996) em mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril*), que encontraram valores de

15,2 g kg<sup>-1</sup> do nutriente na matéria seca de parte aérea; Marques et al. (2004) para mudas de paricá (*Schizolobium amazonicum*), que verificaram teores de nitrogênio nas folhas de 24,8 g kg<sup>-1</sup>; Gonçalves et al. (2008) para as mudas de angico-vermelho observaram teores de nitrogênio na matéria seca variando entre 13,4-27,9 g kg<sup>-1</sup> na parte aérea e de 8,8-21,5 g kg<sup>-1</sup> nas raízes; e Gonçalves et al. (2010) para mudas de sansão-do-campo observaram teores variando de 12-19 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca da parte aérea e de 11-18 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca de raízes.

Os maiores teores encontrados na parte aérea refletem o fato de o N participar dos processos de fotossíntese e respiração, sendo, portanto, mais necessário nessa parte das plantas.

Quanto aos conteúdos de N, também se observaram efeitos mais expressivos na parte aérea, onde os valores das médias observados variaram de 78,5-458,5 mg planta<sup>-1</sup>, enquanto para as raízes essa variação foi de 12,2-137,4 mg planta<sup>-1</sup> (Tabela 5).

Os teores de fósforo presentes na parte aérea e raízes das plantas utilizadas no experimento variaram de 2,33-10,46 g kg<sup>-1</sup> na parte aérea e de 2,2-5,9 g kg<sup>-1</sup> nas raízes (Tabela 5). Segundo Marschner (1995), o requerimento de fósforo para otimizar o crescimento da maioria das culturas está na faixa de 3-6 g kg<sup>-1</sup> do peso de matéria seca de plantas durante o estágio vegetativo de crescimento. *Apuleia leiocarpa*, apresentou teor de fósforo na parte aérea superior a esta faixa, como pode ser verificado na tabela 5.

Em termos comparativos, os teores de P observados são semelhantes aos encontrados por outros autores como: Muniz & Silva (1995) para peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron*) em que o teor ideal foi de 2 g kg<sup>-1</sup>; Gonçalves et al. (2008) que estudando crescimento de mudas de angico-vermelho observaram teores de P variando entre 1-2,9 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca da parte aérea e 0,5-2,6 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca de raízes; e Gonçalves et al. (2010) que avaliando mudas de sansão-do-campo observaram teores de fósforo na matéria seca com variações de 0,8-1,8 g kg<sup>-1</sup> na parte aérea e de 1-2,9 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca de raízes.

Em relação aos conteúdos de P, também foram mais expressivos na parte aérea, onde os valores das médias observados variaram entre 10,9-52,8 mg planta<sup>-1</sup>, enquanto para as raízes essa variação foi de 3-21,4 mg planta<sup>-1</sup> (Tabela 5).

Para potássio, os teores observados apresentaram variações de 12,6-19,1 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca da parte aérea e de 3,4-10,6 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca de raízes (Tabela 5). Entretanto, estes valores estão abaixo dos preconizados por Marschner (1995), que

estabeleceu a faixa de 20-50 g kg<sup>-1</sup> de K na matéria seca, como a ideal para um ótimo crescimento das plantas, variando de acordo com a espécie e o órgão analisado.

Segundo Epstein & Bloom (2006), o teor adequado de K requerido pelas plantas é de 10 g kg<sup>-1</sup>, em concordância com o presente estudo. Outros autores, analisando o teor de potássio, observaram: Duboc et al. (1996) em plantas de *Hymenaea courbaril* e *Copaífera langsdorffii*, que apresentaram teores do nutriente na matéria seca da parte aérea de 7,7 e 10,5 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente; Muniz & Silva (1995) nas folhas de mudas de *Aspidosperma polyneuron*, teores de 18 g kg<sup>-1</sup>; Maffei et al. (2000), em mudas de *Eucalyptus citriodora*, teores de 13 g kg<sup>-1</sup>; Venturin et al. (1999), em mudas de angico-amarelo, teores de 5,5 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca das raízes; Gonçalves et al. (2008) em mudas de angico-vermelho que apresentaram teores de potássio variando de 4,9-9,3 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca da parte aérea e de 5,5-9,3 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca de raízes; e Gonçalves et al. (2010) em mudas de sansão-do-campo que apresentaram teores de potássio na matéria seca da parte aérea variando de 5,7-8,9 g kg<sup>-1</sup> e de 7,6-18,2 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca de raízes.

Os acúmulos de K, foram maiores na parte aérea, em que as médias variaram de 60,3-290,1 mg planta<sup>-1</sup>, enquanto que para as raízes essa variação foi de 5,7-25,3 mg planta<sup>-1</sup> (Tabela 5).

Quanto ao cálcio, os teores encontrados nas plantas variaram de 8,1-30,1 g kg<sup>-1</sup> na parte aérea e de 3,7-8,2 g kg<sup>-1</sup> nas raízes (Tabela 5); os valores estão de acordo com o teor ideal estabelecido por Marschner (1995), em que o teor de Ca que garante pleno desenvolvimento das plantas pode variar de 1-50 g kg<sup>-1</sup>, dependendo da espécie.

Outros autores também observaram teores semelhantes avaliando o crescimento em espécies arbóreas: peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron*) avaliada por Muniz & Silva (1995), cujo valor foi de 16,5 g kg<sup>-1</sup>; aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) em que Barbosa et al. (1995) encontraram 17,1 g kg<sup>-1</sup>; mudas de paricá (*Schizolobium amazonicum*) também cultivadas em solução nutritiva, Marques et al. (2004) observaram teor foliar de Ca de 39,77 g kg<sup>-1</sup>, maiores do que os observados neste estudo; mudas de angico-vermelho avaliadas por Gonçalves et al. (2008) apresentaram teores de cálcio variando de 5,2-13,1 g kg<sup>-1</sup> na parte aérea e de 3,3-6,03 g kg<sup>-1</sup> nas raízes; e mudas de sansão-do-campo avaliadas por Gonçalves et al. (2010) apresentaram teores de Ca variando entre 8,6-15,8 g kg<sup>-1</sup> na parte aérea e 2,5-3,4 g kg<sup>-1</sup> nas raízes.

O acúmulo de cálcio foi superior na parte aérea, valores das médias observados variaram de 50,4-392,2 mg planta<sup>-1</sup>, já para as raízes essa variação foi de 2,4-54,8 mg planta<sup>-1</sup> (Tabela 5).

Os teores de magnésio variaram de 1,9-3,6 g kg<sup>-1</sup> na parte aérea e de 1-2,3 g kg<sup>-1</sup> nas raízes (Tabela 5). Os valores encontrados neste estudo corroboram com os autores Marschner (1995), Taiz & Zeiger (2004) e Epstein & Bloom (2006), que estabeleceram o teor ideal de magnésio, para o pleno desenvolvimento da planta, entre 2-4 g kg<sup>-1</sup>.

Os teores de Mg observados também se assemelham aos teores observados por outros autores como Marques et al. (2004), que encontraram concentração foliar de 3,9 g kg<sup>-1</sup> em mudas de paricá (*Schizolobium amazonicum*); Maffeis et al. (2000), em mudas de *Eucalyptus citriodora*, observaram teores de 2,58 g kg<sup>-1</sup>; Barbosa et al. (1995) em mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) observaram teor foliar de 4,4 g kg<sup>-1</sup>; Gonçalves et al. (2008) em mudas de angico-vermelho, nas quais os teores de Mg apresentaram variações de 1,4-2,6 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca da parte aérea e de 1,3-4,6 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca de raízes; e Gonçalves et al. (2010) em mudas de sansão-do-campo, que apresentaram teores deste nutriente na matéria seca variando de 1,2-2,1 g kg<sup>-1</sup> na parte aérea e de 0,8-2,2 g kg<sup>-1</sup> nas raízes.

Em relação aos conteúdos de Mg nos tecidos das plantas, os maiores valores foram observados na parte aérea variando de 10,1-55,6 mg planta<sup>-1</sup>, e nas raízes essa variação foi de 1,3-7,1 mg planta<sup>-1</sup> (Tabela 5).

Quanto ao enxofre, os teores observados na parte aérea das seis espécies não diferiram estatisticamente, mas apresentaram pequenas variações de 1-1,3 g kg<sup>-1</sup> de enxofre. Para a matéria seca de raízes as espécies diferiram entre si, variando de 0,4-1,3 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 5). Epstein & Bloom (2006) consideram 1,0 g kg<sup>-1</sup> de S como sendo adequado, SBCS-CQFS (2004) propuseram o intervalo de 1,0 - 2,0 g kg<sup>-1</sup> e segundo Malavolta et al. (1997), os teores de S considerados adequados para as essências florestais, variam entre 1,4 - 2,0 g kg<sup>-1</sup>, logo os valores observados neste estudo estão de acordo com os autores supracitados.

Teores semelhantes foram observados também por Duboc et al. (1996) em plantas de jatobá (*Hymenaea courbaril*) que apresentaram teores do nutriente na matéria seca da parte aérea de 0,65 g kg<sup>-1</sup>; e por Moura et al. (2006), que em estudo sobre a distribuição de biomassa e nutrientes na parte aérea de *Mimosa caesalpiniaefolia* encontraram teores médios de enxofre nas folhas variando de 1 a 1,25 g kg<sup>-1</sup>.

Em relação ao acúmulo de enxofre, assim como os demais nutrientes o acúmulo foi maior na parte aérea, variando de 3,9-19,9 mg planta<sup>-1</sup>, já nas raízes essa variação foi de 0,3-7,6 mg planta<sup>-1</sup> (Tabela 5).

A ordem geral encontrada para os teores de macronutrientes analisados distribuiu-se em: N>Ca>K>P>Mg>S, ficando o N, Ca e K com as maiores concentrações para as espécies avaliadas.

Em relação ao manganês, os teores apresentaram variações de 49,14-114,43 mg kg<sup>-1</sup> na parte aérea e de 167,25-558,09 mg kg<sup>-1</sup> nas raízes (Tabela 6). Com relação ao teor de Mn na parte aérea, observou-se diferenças estatísticas entre espécies, já os teores nas raízes e acúmulos na parte aérea e raízes não se distinguiram estatisticamente. Silveira et al. (2005) relataram que para espécies de *Eucalyptus* sp., teores variando de 193-840 mg kg<sup>-1</sup> são considerados adequados. Para esses mesmos autores, teores menores que 100 mg kg<sup>-1</sup> são considerados como deficientes.

Em relação aos conteúdos de Mn, os valores observados na parte aérea oscilaram de 0,32-1,01 mg planta<sup>-1</sup>, e para raízes de 0,39-1,09 mg planta<sup>-1</sup> (Tabela 6).

Para ferro, observou-se variação no teor de 38,98-79,19 mg kg<sup>-1</sup> na parte aérea e de 338,91-901,79 mg kg<sup>-1</sup> nas raízes (Tabela 6). Segundo os dados disponíveis na literatura, fato que ocorre para a maioria dos nutrientes, mas singularmente para o Fe, a variabilidade de teores entre espécies é grande. Para algumas espécies de *Eucalyptus* sp., Silveira et al. (2005) observaram que teores foliares adequados variam de 63-200 mg kg<sup>-1</sup>. Para Dechen e Nachtigall (2006), as variações nos teores de Fe podem ocorrer entre 10-1500 mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca, considerando-se concentrações adequadas ao bom crescimento das plantas as que ocorrem entre 50-100 mg kg<sup>-1</sup>, e deficientes as plantas com teores menores que 10 mg kg<sup>-1</sup> de Fe.

Em trabalho realizado por Caldeira et al. (2006), avaliando teores de micronutrientes em espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro/PR, foram observados teores de Fe nas folhas acima de 100,0 mg kg<sup>-1</sup> para a maioria das espécies. Entretanto, no presente estudo não foram observados teores de Fe superiores a 100,0 mg kg<sup>-1</sup>.

Em relação aos conteúdos de Fe nos tecidos das plantas, os maiores valores foram observados na parte aérea e foram de 0,25-0,97 mg planta<sup>-1</sup>, enquanto que para as raízes essa variação foi de 0,44-5,34 mg planta<sup>-1</sup> (Tabela 6).



**Tabela 6.** Teores e acúmulos dos micronutrientes (Mn, Fe, Cu e Zn) na parte aérea (PA) e raiz (R) de seis espécies leguminosas arbóreas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

Espécie	Teor PA	Teor R	Conteúdo PA	Conteúdo R	Conteúdo Total
	mg kg <sup>-1</sup>		mg planta <sup>-1</sup>		
.....Manganês.....					
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	63,12 ab <sup>(2)</sup>	167,25 a	1,01 a	1,09 a	2,10 a
<i>S. multijuga</i>	49,14 b	358,00 a	0,92 a	0,93 a	1,85 a
<i>A. peregrina</i>	105,14 a	325,38 a	0,91 a	0,61 a	1,52 a
<i>M. nictitans</i>	90,83 ab	441,71 a	0,42 a	0,97 a	1,39 a
<i>A. leiocarpa</i>	99,53 ab	558,09 a	0,32 a	0,39 a	0,71 a
<i>H. courbaril</i>	114,43 a	367,80 a	0,70 a	0,73 a	1,43 a
Média	87,03	369,70	0,72	0,79	1,51
CV (%) <sup>(1)</sup>	29,33	35,01	40,12	33,33	31,61
.....Ferro.....					
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	38,98 b	752,50 ab	0,63 ab	5,34 a	5,97 a
<i>S. multijuga</i>	54,12 ab	580,80 ab	0,97 a	1,40 b	2,37 b
<i>A. peregrina</i>	77,96 a	1126,75 a	0,61 ab	2,34 b	2,95 b
<i>M. nictitans</i>	79,19 a	338,91 b	0,37 b	0,75 b	1,12 b
<i>A. leiocarpa</i>	78,73 a	629,83 ab	0,25 b	0,44 b	0,69 b
<i>H. courbaril</i>	39,63 b	901,79 ab	0,25 b	1,83 b	2,08 b
Média	61,44	721,76	0,51	2,01	2,52
CV (%)	31,90	37,80	54,50	87,82	74,18
.....Cobre.....					
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	0,89 b	17,01 a	0,01 b	0,12 a	0,13 a
<i>S. multijuga</i>	3,18 a	33,11 a	0,06 a	0,08 ab	0,14 a
<i>A. peregrina</i>	1,57 ab	38,06 a	0,01 b	0,07 ab	0,08 ab
<i>M. nictitans</i>	0,84 b	21,90 a	0,004 b	0,05 b	0,09 b
<i>A. leiocarpa</i>	2,22 ab	41,76 a	0,007 b	0,03 b	0,04 b
<i>H. courbaril</i>	0,60 b	41,24 a	0,004 b	0,08 ab	0,08 ab
Média	1,55	32,18	0,02	0,07	0,09
CV (%)	64,30	32,45	125,65	44,40	39,32
.....Zinco.....					
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	10,49 c	30,46 a	0,16 b	0,21 a	0,37 ab
<i>S. multijuga</i>	18,56 abc	35,30 a	0,33 a	0,09 b	0,42 a
<i>A. peregrina</i>	22,01 ab	40,73 a	0,19 ab	0,08 bc	0,27 bc
<i>M. nictitans</i>	27,22 a	38,98 a	0,13 b	0,08 bc	0,22 bc
<i>A. leiocarpa</i>	21,54 ab	38,21 a	0,07 b	0,03 c	0,10 c
<i>H. courbaril</i>	13,01 bc	40,90 a	0,08 b	0,08 bc	0,16 c
Média	18,81	37,43	0,16	0,09	0,25
CV (%)	32,90	10,62	58,93	63,06	47,696

<sup>(1)</sup> Coeficiente de variação das médias entre espécies. <sup>(2)</sup> Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Tukey a 5 %.

O Fe apresenta baixa mobilidade dentro da planta (DECHEN e NACHTIGALL, 2006), apesar de que sua ocorrência preferencial seja nas folhas, em função da sua participação na formação da clorofila (LARCHER, 2004), os maiores acúmulos ocorrem nas raízes.

Em relação ao Cobre, os teores da parte aérea diferiram estatisticamente enquanto que os teores das raízes não diferiram. As variações nos teores apresentadas pela parte aérea e raízes foram de 0,60-3,18 mg kg<sup>-1</sup> e 41,76-30,46 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Segundo Silveira et al. (2005) teores adequados de Cu estão entre 2-10 mg kg<sup>-1</sup>. Entretanto, as plantas possuem a capacidade de absorver níveis bem mais elevados do elemento, tal como ocorreu no estudo de Medeiros et al. (2005), os quais estudaram as variações nos teores de nutrientes foliares em plantios de mangueira no Rio Grande do Norte, com valores entre 24-469 mg kg<sup>-1</sup>. Estudos indicam que o Cu, em condições de altas concentrações, apresenta mobilidade entre folhas velhas e novas e entre folhas e frutos (DECHEN & NACHTIGALL, 2006).

Os conteúdos de Cu, divergiram estatisticamente entre espécies, as variações observadas foram de 0,01-0,06 mg planta<sup>-1</sup> na parte aérea e de 0,03-0,01 mg planta<sup>-1</sup> nas raízes (Tabela 6).

Para Zn, observou-se variações nos teores de 10,49-27,22 mg kg<sup>-1</sup> na parte aérea, o qual apresentou diferenças estatísticas entre espécies, enquanto que para raízes a variação foi de 30,46-40,90 mg kg<sup>-1</sup>, não diferindo estatisticamente (Tabela 6). Corroborando com o presente estudo, Berger (2006) encontrou em folhas e talos de erva-mate 24,73 mg kg<sup>-1</sup> de Zn.

Silveira et al. (2005), estudando a nutrição de diferentes espécies de *Eucalyptus* sp., relataram que valores adequados de Zn no tecido foliar variaram entre 12-50 mg kg<sup>-1</sup>, tendo-se todas as espécies dentro desse intervalo. Dechen & Nachtigall (2006) relataram intervalos de ocorrência entre 3-150 mg kg<sup>-1</sup>, afirmando que valores foliares menores que 25 mg kg<sup>-1</sup> seriam considerados deficientes nas plantas.

Os conteúdos de Zn, distinguiram-se estatisticamente entre espécies, os valores observados na parte aérea foram de 0,07-0,33 mg planta<sup>-1</sup> e nas raízes oscilaram de 0,03-0,21 mg planta<sup>-1</sup> (Tabela 6).

Considerando este estudo, a ordem geral encontrada para os teores de micronutrientes foi de: Fe>Mn>Zn>Cu, ficando o Fe e Mn com as maiores concentrações para as espécies avaliadas.

Comparando-se, os componentes das plantas de leguminosas arbóreas utilizadas neste trabalho, observou-se que as raízes apresentaram maior capacidade de discriminar as espécies em relação à composição mineral, para macro e micronutrientes, exceto para P, Ca, Cu e Zn.

Considerando a capacidade discriminatória dos grupos de nutrientes, não houve distinção entre macro e micronutrientes. O mesmo não foi observado por Neves (2000), em plantios clonais de eucalipto, em que os micronutrientes apresentaram maior capacidade discriminatória que os macronutrientes. Vale ressaltar, que no presente estudo foram utilizadas seis espécies de leguminosas arbóreas, e grupos sucessionais distintos, apresentando assim maior variabilidade.

De modo geral, quanto ao conteúdo de nutrientes nas plantas, a variabilidade de média entre espécies foi maior para macronutrientes (61,7%) do que para micronutrientes (48,2%). Dentre os macronutrientes, o N (68,51%) e o Ca (71,63%) são os que apresentam maior capacidade discriminatória, enquanto que para micronutrientes, destacam-se o Fe (74,18%) e Zn (47,69%).

#### **4.3. Eficiência de absorção e utilização**

Os índices de eficiência são importantes ferramentas para a determinação do desempenho nutricional em plantas. Através deles, é possível visualizar conjuntamente características da absorção de nutrientes e da produção das plantas, geralmente medido através da matéria seca. Neste contexto, são apresentadas nas tabelas 7 e 8 as variáveis para a caracterização da eficiência nutricional das seis espécies leguminosas arbóreas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais.

Diferenças significativas foram observadas para as eficiências de absorção, translocação, utilização dos nutrientes avaliados, em relação às leguminosas arbóreas nativas (Tabela 7 e 8). Entretanto, somente houve distinção entre os grupos de sucessão ecológica, para a eficiência de utilização. As pioneiras foram mais eficientes na utilização dos macro e micronutrientes que as não pioneiras.

Pode-se inferir que os maiores valores de eficiência de utilização observados para as espécies pioneiras se correlacionam com os maiores valores de área foliar e parâmetros morfológicos radiculares (comprimento e área da superfície radicular) (Tabela 4), bem como maiores produtividades em biomassa (Tabela 3). Esse comportamento reforça que espécies pioneiras apresentariam uma maior plasticidade,

sendo aptas em absorver nutrientes sob variadas condições de fertilidade do solo (SILVA et al., 1997 e FURTINI NETO et al., 1999). Somado a isso, um sistema radicular mais ramificado e com maior proporção de raízes finas (GONÇALVES et al., 1992), pode justificar o maior crescimento apresentado pelas pioneiras, mesmo em solos com baixo nível de fertilidade.

Resende et al. (2000) estudando acúmulo e eficiência nutricional de macronutrientes em espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo, observaram que espécies pioneiras em comparação às não pioneiras, tenderam a apresentar maior eficiência de utilização, corroborando com o observado no presente trabalho.

#### **4.3.1. Nitrogênio**

Quanto à eficiência de absorção, as espécies que destacaram foram *Senna multijuga*, *Anadenanthera peregrina* e *Apuleia leiocarpa*. Com relação à translocação, *Senna multijuga* e *Apuleia leiocarpa*, foram superiores às demais espécies. Avaliando a utilização do N, as espécies pioneiras *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Senna multijuga* se destacaram em relação as não pioneiras (Tabela 7).

O nitrogênio é constituinte das moléculas de proteínas, e sua deficiência pode acarretar drástica redução no crescimento. É um elemento bastante móvel no floema. O seu suprimento adequado é importante na formação de estruturas vegetativas (folhas, caule e raízes), no florescimento e enchimento dos frutos, tendo grande influência na produtividade (TAIZ & ZEIGER, 2004).

#### **4.3.2. Fósforo**

Quanto à eficiência de absorção, *Apuleia leiocarpa* destacou-se entre as leguminosas estudadas. Ao avaliar a translocação *Senna multijuga* e *Apuleia leiocarpa*, foram superiores em relação as espécies *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Machaerium nictitans*. As espécies pioneiras *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Senna multijuga* destacaram-se em relação as não pioneiras em termos de eficiência de utilização (Tabela 7).

**Tabela 7.** Eficiências de absorção (EA), translocação (ET), utilização (EU) dos macronutrientes apresentadas pelas seis espécies leguminosas arbóreas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

Espécie	EA	ET	EU	EA	ET	EU
	mg g <sup>-1</sup>	mg mg <sup>-1</sup>	g <sup>2</sup> mg <sup>-1</sup>	mg g <sup>-1</sup>	mg mg <sup>-1</sup>	g <sup>2</sup> mg <sup>-1</sup>
	.....Nitrogênio.....			.....Fósforo.....		
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	78,87 b <sup>(2)</sup>	0,75 d	0,98 a	9,17 b	0,64 b	8,45 a
<i>S. multijuga</i>	188,39 a	0,92 a	0,82 ab	22,40 b	0,89 a	6,988 a
<i>A. peregrina</i>	146,57 a	0,83 bc	0,37 c	21,50 b	0,77 ab	2,476 b
<i>M. nictitans</i>	75,23 b	0,78 cd	0,30 c	7,46 b	0,71 b	3,041 b
<i>A. leiocarpa</i>	159,14 a	0,87 ab	0,16 c	65,90 a	0,91 a	0,426 b
<i>H. courbaril</i>	68,09 b	0,79 bcd	0,50 bc	26,09 b	0,76 ab	1,311 b
Média	119,38	0,82	0,52	25,42	0,78	3,78
CV (%) <sup>(1)</sup>	43,21	7,45	61,22	83,46	13,17	85,02
	.....Potássio.....			.....Cálcio.....		
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	32,01 b	0,88 abc	2,48 a	56,82 cd	0,86 bc	1,34 a
<i>S. multijuga</i>	113,27 a	0,95 a	1,35 b	151,23 a	0,96 a	1,01 a
<i>A. peregrina</i>	58,79 b	0,90 abc	0,97 bc	109,60 abc	0,92 ab	0,50 b
<i>M. nictitans</i>	51,92 b	0,84 bc	0,44 bc	72,60 bcd	0,95 a	0,31 b
<i>A. leiocarpa</i>	117,21 a	0,92 ab	0,22 c	127,10 ab	0,96 a	0,21 b
<i>H. courbaril</i>	62,41 b	0,82 c	0,55 bc	30,16 d	0,84 c	1,14 a
Média	72,60	0,89	1,00	91,26	0,92	0,75
CV (%)	47,77	5,44	82,97	50,19	5,67	63,15
	.....Magnésio.....			.....Enxofre.....		
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	9,03 bc	0,89 a	8,38 a	3,38 b	0,67 c	22,54 a
<i>S. multijuga</i>	14,41 ab	0,90 a	10,60 a	7,96 a	0,88 ab	19,08 a
<i>A. peregrina</i>	17,78 a	0,86 a	2,90 b	6,99 a	0,79 bc	7,59 b
<i>M. nictitans</i>	6,01 c	0,83 a	3,76 b	3,21 b	0,72 c	6,95 b
<i>A. leiocarpa</i>	20,83 a	0,88 a	1,21 b	7,32 a	0,94 a	3,44 b
<i>H. courbaril</i>	8,44 bc	0,74 b	4,04 b	4,74 ab	0,78 bc	7,24 b
Média	12,75	0,85	5,15	5,60	0,80	11,14
CV (%)	45,91	7,00	69,41	37,32	12,34	69,27

<sup>(1)</sup> Coeficiente de variação das médias entre espécies. <sup>(2)</sup> Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Tukey a 5 %.

A absorção de fósforo depende das características morfológicas e fisiológicas das raízes, porém, a importância destas no processo de absorção depende do acesso das raízes ao nutriente. Quando não há limitação a chegada do íon à superfície radicular, os fatores fisiológicos são mais importantes que os morfológicos, quanto à absorção do nutriente (BARBER, 1992).

Observa-se maiores valores para eficiência de utilização de P comparativamente ao N. Essa maior eficiência de utilização pode ser devida à menor necessidade de fósforo para as reações bioquímicas da planta, à maior redistribuição do nutriente para os pontos de crescimento e à maior mobilização do fósforo armazenado nos vacúolos das células em situação de deficiência (GERLOFF & GABELMAN, 1983).

#### **4.3.3. Potássio**

*Senna multijuga* e *Apuleia leiocarpa* destacaram-se entre as demais espécies, quanto à eficiência de absorção. Ao passo que *Senna multijuga* demonstrou-se superior quanto a eficiência de translocação. Avaliando a utilização do K, as espécies pioneiras *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Senna multijuga* destacaram-se em relação as não pioneiras (Tabela 7).

O potássio é um nutriente muito relevante para o metabolismo da planta, atuando na ativação enzimática. Além de ser importante na abertura e no fechamento estomático, na síntese protéica, este elemento participa da manutenção do equilíbrio eletrostático e turgescência nas células, juntamente com outros cátions (MARSCHNER, 1995).

Os mecanismos responsáveis pela alta eficiência de absorção diferem entre as espécies. Foi observado que *Apuleia leiocarpa* apresentou raízes mais finas, e área radicular específica superior as demais espécies (Tabela 4). Corroborando com a teoria de FÖHSE et al. (1988), os quais observaram que plantas de sistema radicular mais ramificado e com maior quantidade de raízes finas, contribuem para o aumento da superfície radicular de absorção.

#### **4.3.4. Cálcio**

Para a eficiência de absorção, *Senna multijuga* foi superior em relação as outras espécies. *Apuleia leiocarpa*, *Machaerium nictitans* e *Senna multijuga* foram superiores em relação a eficiência de translocação de Ca. A eficiência de utilização do Ca diferiu em relação aos demais nutrientes, pois além das espécies pioneiras *Mimosa*

*caesalpiniaefolia* e *Senna multijuga*, a espécie *Hymenaea courbaril* também foi mais eficiente na utilização deste nutriente para a produção de biomassa (Tabela 7).

Observa-se menores valores para eficiência de utilização de Ca comparativamente aos demais nutrientes. A relação entre a utilização eficiente de Ca e o crescimento da planta é um tanto complexa, podendo envolver vários controles fisiológicos, como a capacidade interna de redistribuição de Ca compartimentalizado em membranas e órgãos celulares de armazenamento (CAINES & SHENNAN, 1999).

#### **4.3.5. Magnésio**

Para eficiência de absorção de Mg, as espécies que se destacaram foram *Anadenanthera peregrina* e *Apuleia leiocarpa*. Com relação à translocação, *Hymenaea courbaril* demonstrou-se inferior em relação às outras espécies. Avaliando a utilização de Mg, as espécies pioneiras *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Senna multijuga* destacaram-se em relação às não pioneiras (Tabela 7).

#### **4.3.6. Enxofre**

Quanto à eficiência de absorção, as espécies que se destacaram foram *Senna multijuga*, *Anadenanthera peregrina* e *Apuleia leiocarpa*. Para eficiência de translocação, *Apuleia leiocarpa* destacou-se dentre as demais espécies. Avaliando a utilização do S, as espécies pioneiras *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Senna multijuga* se destacaram em relação às não pioneiras (Tabela 7).

O S apresenta comportamento similar ao do P, pois predomina na forma de sulfato, a qual sofre adsorção pelos óxidos de Fe e Al (PINTO, 2009). Verifica-se que os valores observados, no presente estudo, para eficiência de absorção, translocação e utilização de S, assemelham-se aos apresentados por P, podendo ser devido à similaridade do comportamento apresentado pelos dois nutrientes.

De maneira geral, observou-se para os macronutrientes supracitados que a eficiência de absorção e de utilização apresentaram elevada capacidade discriminatória entre as espécies, variando de 37,32%-83,46% para eficiência de absorção e de 61,22%-85,02% para eficiência de utilização, enquanto que a eficiência de translocação apresentou baixa capacidade discriminatória variando de 5,44%-13,17%, vale ressaltar

ainda que o componente da eficiência nutricional que possui maior capacidade discriminatória é a eficiência de utilização.

**Tabela 8.** Eficiências de absorção (EA), translocação (ET), utilização (EU) dos micronutrientes apresentadas pelas seis espécies leguminosas arbóreas pertencentes a diferentes grupos sucessionais.

Espécie	EA	ET	EU	EA	ET	EU
	mg g <sup>-1</sup>	mg mg <sup>-1</sup>	g <sup>2</sup> mg <sup>-1</sup>	mg g <sup>-1</sup>	mg mg <sup>-1</sup>	g <sup>2</sup> mg <sup>-1</sup>
	.....Manganês.....			.....Cobre.....		
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	0,31 b <sup>(2)</sup>	0,47 a	251,62 a	0,019 b	0,11 bc	3973,91 a
<i>S. multijuga</i>	0,69 ab	0,49 a	259,46 a	0,05 a	0,39 a	2995,49 ab
<i>A. peregrina</i>	0,79 ab	0,58 a	67,99 b	0,05 ab	0,18 abc	1410,17 bc
<i>M. nictitans</i>	0,65 ab	0,32 a	34,10 b	0,02 ab	0,09 bc	996,88 c
<i>A. leiocarpa</i>	1,09 a	0,52 a	23,46 b	0,05 ab	0,27 ab	556,99 c
<i>H. courbaril</i>	0,73 ab	0,49 a	47,59 b	0,04 ab	0,04 c	821,98 c
Média	0,71	0,48	114,04	0,04	0,18	1792,56
CV (%) <sup>(1)</sup>	35,42	18,09	97,02	37,63	73,40	76,71
	.....Ferro.....			.....Zinco.....		
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	0,84 b	0,10 c	88,70 b	0,06 c	0,44 c	1455,14 a
<i>S. multijuga</i>	0,92 ab	0,41 ab	175,72 a	0,16 a	0,77 a	975,67 ab
<i>A. peregrina</i>	1,46 a	0,24 abc	37,30 b	0,14 ab	0,68 ab	379,88 c
<i>M. nictitans</i>	0,53 b	0,35 abc	41,75 b	0,10 abc	0,61 abc	224,12 c
<i>A. leiocarpa</i>	1,07 ab	0,45 a	24,00 b	0,15 a	0,76 a	165,02 c
<i>H. courbaril</i>	1,03 ab	0,12 bc	34,13 b	0,08 bc	0,49 bc	414,47 bc
Média	0,97	0,28	66,93	0,11	0,63	602,38
CV (%)	31,39	52,46	86,45	36,19	21,91	84,18

<sup>(1)</sup> Coeficiente de variação das médias entre espécies. <sup>(2)</sup> Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Tukey a 5 %.

#### 4.3.7. Manganês

Quanto à eficiência de absorção, *Apuleia leiocarpa* foi superior em relação as outras espécies. Para eficiência de translocação, as espécies não distinguiram estatisticamente entre si. Avaliando a utilização do Mn, as espécies pioneiras *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Senna multijuga* se destacaram em relação as não pioneiras (Tabela 8).



O manganês é um micronutriente que desempenha várias funções relevantes ao metabolismo da planta, agindo como: constituintes de enzimas, ativador enzimático, transportador de elétrons na fotossíntese. Foram observados baixos valores para eficiência de absorção e utilização deste nutriente, logo ressalta-se a relevância das adubações com Mn para as espécies leguminosas arbóreas utilizadas neste estudo, principalmente em solos pobres, devido a baixa eficiência nutricional apresentadas por estas espécies em relação ao Mn.

#### **4.3.8. Cobre**

*Senna multijuga* mostrou-se mais eficiente na absorção e translocação de Cu que as demais espécies. Para a eficiência de utilização, as espécies pioneiras *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Senna multijuga* destacaram-se em relação as não pioneiras (Tabela 8).

Para as leguminosas estudadas, observou-se que a eficiência de absorção de Cu apresentou baixos valores, enquanto que a eficiência de utilização de Cu apresentou os maiores valores se comparados aos demais nutrientes.

Há grandes diferenças genotípicas quanto à eficiência nutricional de Cu entre as espécies de plantas (NAMBIAR, 1976). Graham & Pearce, (1979) observaram o seguinte comportamento para trigo, centeio e híbrido: trigo (ineficiente em termos de Cu), centeio (eficiente em termos de Cu), e o híbrido triticales de trigo-centeio (o qual tem eficiência em termos de Cu alta e semelhante à do centeio). Embora a genética desta eficiência em termos de Cu seja bem descrita, a causa fisiológica ainda desconhecida, não se sabendo nem mesmo se a aquisição de Cu ou a eficiência de utilização é a causa principal.

Para Marschner (1995), as diferenças genotípicas na eficiência nutricional podem estar relacionadas com a demanda de nutrientes em nível celular, compartimentalização, utilização na parte aérea, transporte a curta e longa distância, afinidade do sistema de absorção (km), concentração mínima (C<sub>min</sub>) e modificações na rizosfera.

#### **4.3.9. Ferro**

Quanto à eficiência de absorção de Fe, *Anadenanthera peregrina* destacou-se em relação as demais leguminosas. *Apuleia leiocarpa*, mostrou-se mais eficiente na

translocação. Avaliando a utilização do Fe, as espécies *Senna multijuga*, juntamente a *Apuleia leiocarpa*, mostraram-se mais eficientes, contrariando a tendência observada para os demais nutrientes, em que as espécies pioneiras apresentaram valores de eficiência de utilização superiores às não pioneiras (Tabela 8).

O micronutriente mais bem estudado em relação à aquisição é o Fe. Os vários processos envolvidos na aquisição deste micronutriente pelas plantas foram classificados em diferentes estratégias. Uma boa compreensão dos mecanismos de absorção, translocação e utilização deste e dos demais nutrientes é muito relevante. O Fe desempenha importantes funções no metabolismo das plantas, é um constituinte de enzimas (metaloproteínas) e atua no transporte de elétrons na fotossíntese (RÖMHELD, 1987; MARSCHNER, 1995).

#### **4.3.10. Zinco**

*Senna multijuga* e *Apuleia leiocarpa* diferiram estatisticamente das demais espécies, apresentando valores superiores para eficiência de absorção e translocação de Zn. Com relação a utilização, as espécies pioneiras *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Senna multijuga* foram superiores em relação as não pioneiras (Tabela 8).

Bataglia (1991), observou que quando em grande suprimento de Zn muitas espécies de plantas têm translocado o elemento das folhas velhas para órgãos em crescimento, mas quando a mesma espécie está sob condições de deficiência ocorre baixa translocação do nutriente de folhas velhas para drenos preferenciais.

Com base no coeficiente de variação de médias das espécies estudadas, observou-se para os micronutrientes acima citados, assim como para os macronutrientes, que o componente da eficiência nutricional que possui maior capacidade discriminatória foi a eficiência de utilização, o qual variou de 76,71%-97,02%. Divergindo do observado para os macronutrientes, a eficiência de translocação não apresentou baixa capacidade discriminatória, com coeficientes de variação entre 18,09%-73,40%. A eficiência de absorção apresentou capacidade discriminatória variando de 31,39%-37,65%.

#### 4.3.11. Classificação das espécies de leguminosas arbóreas nativas quanto à eficiência de absorção e utilização

As espécies pioneiras apresentam alta eficiência de utilização, tais espécies apresentam crescimento acelerado e demandam grande quantidade de nutrientes. Desse modo *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Senna multijuga* apresentaram maior eficiência de utilização para Nitrogênio, Fósforo, Potássio e Magnésio, enquanto que para o Cálcio, estas duas espécies apresentam maiores valores juntamente com a *Hymenaea courbaril*.

Para os solos brasileiros, geralmente pobres, seriam mais recomendadas espécies que apresentam maior eficiência de utilização, pois mesmo em baixa disponibilidade dos nutrientes são mais eficientes na conversão em biomassa. De acordo com Santana et al. (2002), espécies com elevada eficiência de absorção não seriam recomendadas para solos de baixa fertilidade pois tenderiam a depauperar esses solos mais rapidamente se os mesmos não recebessem adubações.

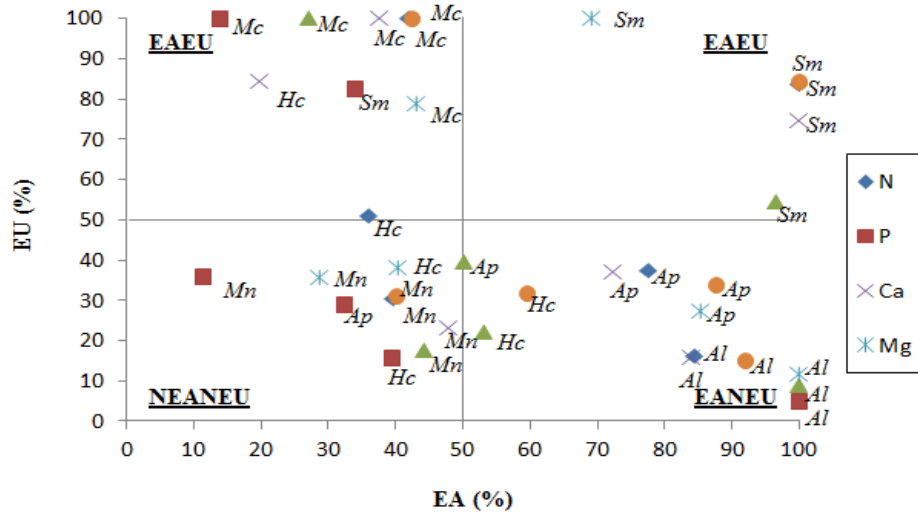
*Apuleia leiocarpa* mostrou-se a mais eficiente para absorção, entretanto com baixa eficiência de utilização. O fato de destacar-se em relação a eficiência de absorção é devido a sua maior área de superfície radicular específica que possibilita uma maior superfície de contato das raízes com o solo. *Anadenanthera peregrina* também se mostrou eficiente na absorção, exceto para P e K.

*Machaerium nictitans* apresentou baixa eficiência de absorção e utilização para todos os nutrientes, logo requer maiores cuidados com sua nutrição mineral, fornecendo maiores quantidades de nutrientes para se desenvolverem, quando comparadas as outras leguminosas.

*Hymenaea courbaril* apresentou comportamento variável em relação aos nutrientes.

Fageria & Kluthcouski (1980) e Fageria & Baligar (1993) propuseram a classificação de genótipos de plantas quanto à eficiência de utilização e a resposta à aplicação de determinado nutriente, através de representação gráfica no plano cartesiano. Esta metodologia foi utilizada no presente trabalho, entretanto, modificou-se a definição, sendo correlacionadas eficiência de absorção e eficiência de utilização.

No eixo das abscissas, encontra-se a eficiência de absorção (EA), e no eixo das ordenadas, a eficiência de utilização. O ponto de origem foi considerado 50% para EA e 50% para EU (Figuras 1 e 2).



**Figura 1.** Diagrama de distribuição das espécies de leguminosas arbóreas (Mc = *Mimosa caesalpiniaefolia*, Sc= *Senna multijuga*, Ap= *Anadenanthera peregrina*, Mn= *Machaerium nictitans*, Al= *Apuleia leiocarpa*, Hc= *Hymenaea courbaril*) em função das eficiências de absorção e utilização de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, e S).

As espécies de leguminosas arbóreas foram separadas em quatro grupos quanto à eficiência nutricional para o N (Figura 1): grupo 1 caracterizado pela baixa eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do N - NEAEU (*Mimosa caesalpiniaefolia* e *Hymenaea courbaril*); grupo 2 grande eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do N - EAEU (*Senna multijuga*); grupo 3 grande eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do N - EAUEU (*Anadenanthera peregrina* e *Apuleia leiocarpa*); e grupo 4 com baixa eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do N - NEAUEU (*Machaerium nictitans*).

Em relação ao P (Figura 1): grupo 1 caracterizado pela baixa eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do P - NEAEU (*Mimosa caesalpiniaefolia* e *Senna multijuga*); para o grupo 2 que abrange espécies que apresentam grande eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do P - EAEU, nenhuma das espécies em questão se enquadraram neste grupo; grupo 3 grande eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do P - EAUEU (*Apuleia leiocarpa*); e grupo 4 com baixa eficiência na absorção e baixa eficiência de utilização do P - NEAUEU (*Anadenanthera peregrina*, *Hymenaea courbaril* e *Machaerium nictitans*).

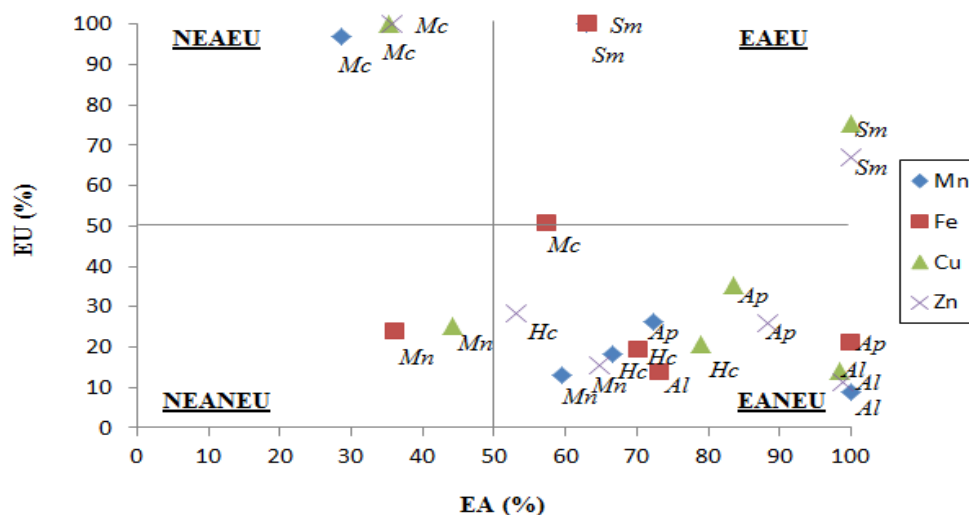
Para o K (Figura 1): grupo 1 caracterizado pela baixa eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do K - NEAEU (*Mimosa caesalpiniaefolia*); grupo 2

grande eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do K - EAEU (*Senna multijuga*); grupo 3 grande eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do K - EANEU (*Anadenanthera peregrina*, *Apuleia leiocarpa* e *Hymenaea courbaril*); e grupo 4 com baixa eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do K- NEANEU (*Machaerium nictitans*).

Para a eficiência nutricional de Ca as espécies de leguminosas apresentaram os seguintes comportamentos (Figura 1): grupo 1 caracterizado pela baixa eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do Ca - NEAEU (*Mimosa caesalpiniaefolia* e *Hymenaea courbaril*); grupo 2 grande eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do Ca - EAEU (*Senna multijuga*); grupo 3 grande eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do Ca - EANEU (*Anadenanthera peregrina* e *Apuleia leiocarpa*); e grupo 4 com baixa eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do Ca - NEANEU (*Machaerium nictitans*).

Para a eficiência nutricional de Mg (Figura 1): grupo 1 caracterizado pela baixa eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do Mg - NEAEU (*Mimosa caesalpiniaefolia*); grupo 2 grande eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do Mg - EAEU (*Senna multijuga*); grupo 3 grande eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do Mg - EANEU (*Anadenanthera peregrina* e *Apuleia leiocarpa*); e grupo 4 com baixa eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do Mg - NEANEU (*Machaerium nictitans* e *Hymenaea courbaril*).

As espécies apresentaram os seguintes comportamentos em relação a eficiência nutricional de S (Figura 1): grupo 1 caracterizado pela baixa eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do S - NEAEU (*Mimosa caesalpiniaefolia*); grupo 2 grande eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do S - EAEU (*Senna multijuga*); grupo 3 grande eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do S - EANEU (*Anadenanthera peregrina*, *Apuleia leiocarpa* e *Hymenaea courbaril*); e grupo 4 com baixa eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do S - NEANEU (*Machaerium nictitans*).



**Figura 2.** Diagrama de distribuição das espécies de leguminosas arbóreas (Mc = *Mimosa caesalpiniaefolia*, Sc= *Senna multijuga*, Ap= *Anadenanthera peregrina*, Mn= *Machaerium nictitans*, Al= *Apuleia leiocarpa*, Hc= *Hymenaea courbaril*) em função das eficiências de absorção e utilização de micronutrientes (Mn, Fe, Cu e Zn).

As espécies de leguminosas arbóreas apresentaram o seguinte comportamento quanto à eficiência nutricional para o Mn (Figura 2): grupo 1 caracterizado pela baixa eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do Mn - NEAEU (*Mimosa caesalpiniaefolia*); grupo 2 grande eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do Mn - EAEU (*Senna multijuga*); grupo 3 grande eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do Mn - EANEU (*Anadenanthera peregrina*, *Apuleia leiocarpa* *Hymenaea courbaril* e *Machaerium nictitans*); e para o grupo 4 que abrange espécies que apresentam baixa eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do Mn- NEANEU, nenhuma das espécies em questão se enquadraram neste grupo.

Com relação a eficiência nutricional de Fe (Figura 2): grupo 1 caracterizado pela baixa eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do Fe - NEAEU não abrangiu nenhuma das espécies de leguminosas; grupo 2 grande eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do Fe - EAEU (*Mimosa caesalpiniaefolia* e *Senna multijuga*); grupo 3 grande eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do Fe - EANEU (*Anadenanthera peregrina*, *Apuleia leiocarpa* e *Hymenaea courbaril*); e grupo 4 com baixa eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do Mg - NEANEU (*Machaerium nictitans*).

As espécies apresentaram os seguintes comportamentos em relação a eficiência nutricional de Cu (Figura 2): grupo 1 caracterizado pela baixa eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do Cu - NEAEU (*Mimosa caesalpiniaefolia*); grupo 2 grande eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do Cu - EAEU (*Senna multijuga*); grupo 3 grande eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do Cu - EANEU (*Anadenanthera peregrina*, *Apuleia leiocarpa* e *Hymenaea courbaril*); e grupo 4 com baixa eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do Cu - NEANEU (*Machaerium nictitans*).

Para a eficiência nutricional de Zn as espécies de leguminosas apresentaram os seguintes comportamentos (Figura 2): grupo 1 caracterizado pela baixa eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do Zn - NEAEU (*Mimosa caesalpiniaefolia*); grupo 2 grande eficiência na absorção e grande eficiência na utilização do Zn - EAEU (*Senna multijuga*); grupo 3 grande eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do Zn - EANEU (*Anadenanthera peregrina*, *Apuleia leiocarpa*, *Hymenaea courbaril* e *Machaerium nictitans*); e grupo 4 com baixa eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização do Zn - NEANEU, nenhuma das espécies em questão se enquadraram neste grupo.

A partir dos dados obtidos da frequência relativa de ocorrência das espécies leguminosas nos grupos de eficiência nutricional (Tabela 9), pode-se inferir: *Mimosa caesalpiniaefolia* apresentou 10% de ocorrência em EAEU e 90% de ocorrência em NEAEU para todos os nutrientes avaliados, logo é uma espécie que apresenta baixa eficiência de absorção e alta eficiência de utilização; *Senna multijuga* apresentou 90% de ocorrência em EAEU e 10% em NEAEU, ou seja é uma espécie de alta eficiência de absorção e utilização; *Anadenanthera peregrina* apresentou 90% de ocorrência em EANEU e 10% em NEANEU, demonstrando ser uma espécie de alta eficiência de absorção e baixa eficiência de utilização; *Machaerium nictitans* apresentou 20% de ocorrência em EANEU e 80% em NEANEU, logo é uma espécie de baixa eficiência de absorção e utilização; *Apuleia leiocarpa* apresentou 100% de ocorrência no grupo EANEU, sendo assim classificada como uma espécie de alta eficiência de absorção e baixa eficiência de utilização; *Hymenaea courbaril* dispersou mais sua frequência de ocorrência sendo 20% em NEAEU, 60% em EANEU e 20% em NEANEU, classificada como uma espécie eficiente na absorção e não eficiente na utilização de nutrientes.

Tabela 9 – Frequência relativa de ocorrência das espécies leguminosas nos grupos de eficiência nutricional: grande eficiência absorção e utilização (EAEU); grande eficiência na absorção e baixa eficiência na utilização (EANEU); baixa eficiente para absorção e grande eficiente na utilização (NEAEU); e baixa eficiência na absorção e utilização (NEANEU).

Espécie	Frequência relativa (%) nos grupos de eficiências			
	EAEU	NEAEU	EANEU	NEANEU
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	10	90	0	0
<i>S. multijuga</i>	90	10	0	0
<i>A. peregrina</i>	0	0	90	10
<i>M. nictitans</i>	0	0	20	80
<i>A. leiocarpa</i>	0	0	100	0
<i>H. courbaril</i>	0	20	60	20

#### 4.4. Parâmetros Cinéticos de absorção de nutrientes

Pinto (2009), estudando cinética de absorção conjunta de fósforo, potássio, cálcio e magnésio e eficiência nutricional de macronutrientes de clones de eucalipto, concluiu que o comportamento dos clones de eucalipto se mostrou bastante semelhante, independente da variável morfológica radicular utilizada na obtenção dos parâmetros cinéticos. Desta forma, foi utilizado no presente estudo somente o peso da matéria seca de raízes (Tabela 3) na obtenção dos parâmetros Vmax e Km.

Os valores dos parâmetros cinéticos de absorção variaram com as espécies e com os nutrientes (Tabela 10), entretanto não apresentaram diferenças significativas no que se refere aos grupos de sucessão ecológica. Variações nesses parâmetros também foram observadas por diversos autores em genótipos de milho e eucalipto (NIELSEN & BARBER, 1978; BALIGAR & BARBER, 1979; ANGHINONI et al., 1989; ALVES et al., 2002; GRESPAN et al., 1998; LIMA et al., 2005 e PINTO, 2009).

Na tabela 10 são apresentados os valores dos parâmetros cinéticos da absorção de N, P, Ca e Mg, bem como o poder de absorção ( $\alpha$ ) definido como a razão Vmax/Km.



**Tabela 10.** Valores de Vmax, Km, e poder de absorção ( $\alpha$ ) para N, P, Ca e Mg apresentados pelas seis espécies de leguminosas arbóreas nativas

Espécie	<u>Nitrogênio</u>			<u>Fósforo</u>		
	Vmax	Km	$\alpha$	Vmax	Km	$\alpha$
	$\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$	$\mu\text{mol L}^{-1}$		$\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$	$\mu\text{mol L}^{-1}$	
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	2,79 b	141,28 ab	0,03 a	-	-	-
<i>S. multijuga</i>	12,05 b	54,07 b	0,24 a	1,16 ab <sup>(2)</sup>	22,67 a	0,05 b
<i>M. nictitans</i>	12,91 b	198,78 ab	0,07 a	0,65 b	16,22 a	0,04 b
<i>A. peregrina</i>	16,31 ab	141,37 ab	0,12 a	1,31ab	20,52 a	0,07 ab
<i>A. leiocarpa</i>	45,43 a	238,81 a	0,19 a	2,47 a	20,38 a	0,12 a
<i>H. courbaril</i>	18,38 ab	254,53 ab	0,07 a	0,58 b	21,64 a	0,03 b
Média	17,98	171,47	0,12	1,23	20,29	0,06
CV (%) <sup>(3)</sup>	80,53	43,46	66,62	61,57	12,10	59,79

Espécie	<u>Cálcio</u>			<u>Magnésio</u>		
	Vmax	Km	$\alpha$	Vmax	Km	$\alpha$
	$\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$	$\mu\text{mol L}^{-1}$		$\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$	$\mu\text{mol L}^{-1}$	
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	0,92 a	114,35 a	0,01 a	1,05 b	126,19 a	0,01 b
<i>S. multijuga</i>	3,22 a	71,13 a	0,05 a	4,60 b	132,20 a	0,03 b
<i>M. nictitans</i>	1,95 a	82,72 a	0,02 a	4,47 b	124,90 a	0,04 b
<i>A. peregrina</i>	1,34 a	70,55 a	0,02 a	4,17 b	114,52 a	0,04 b
<i>A. leiocarpa</i>	10,26 a	125,43 a	0,08 a	15,07 a	127,76 a	0,12 a
<i>H. courbaril</i>	1,27 a	124,72 a	0,01 a	-	-	-
Média	3,16	98,15	0,03	5,87	125,11	0,05
CV (%)	113,07	26,73	85,5	91,08	5,22	89,22

<sup>(1)</sup>Vmax obtida por meio da matéria seca de raízes. <sup>(2)</sup>Valores seguidos de mesma letra, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Tukey (para número desigual de repetições) a 15%.

<sup>(3)</sup>Coefficiente de variação das médias entre as espécies de leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais.

Em relação ao nitrogênio (nitrato -  $\text{NO}_3^-$ ), os valores de Vmax e Km diferiram estatisticamente entre espécies. As que apresentaram maiores valores de Vmax foram *Anadenanthera peregrina*, *Apuleia leiocarpa* e *Hymenaea courbaril*. Em relação ao Km, somente duas espécies diferiram entre si, *Apuleia leiocarpa* (destacou-se estatisticamente, apesar de *Hymenaea courbaril* apresentar maior valor, o que é justificado por ter sido realizada a análise estatística com diferentes números de

repetições entre as espécies) e *Senna multijuga* (apresentou menor valor). O poder de absorção ( $\alpha$ ) não diferiu estatisticamente entre espécies.

Para os parâmetros cinéticos de absorção de  $\text{NO}_3^-$ , observaram-se variações de 2,79-45,43  $\mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$  para  $V_{\text{max}}$  e 54,07-254,53  $\mu\text{mol L}^{-1}$  para  $K_m$ . Os valores observados são bastante distintos dos encontrados por Grespan et al. (1998) em estudo sobre crescimento e parâmetros cinéticos de absorção de amônio e nitrato em mudas de eucalipto submetidas a diferentes relações amônio/nitrato na presença e ausência de fósforo, os parâmetros cinéticos observados no referido trabalho variaram de 2,7-9,8  $\mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$  e 20,3-89,8  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , para  $V_{\text{max}}$  e  $K_m$ , respectivamente.

Verificou-se que os valores de  $V_{\text{max}}$  para N foram sensivelmente superiores aos demais nutrientes. Quando não há limitação no suprimento dos nutrientes pelo solo às raízes, como normalmente acontece para N, Ca e Mg em solos que já receberam calcário e com boa fertilização nitrogenada, a  $V_{\text{max}}$  é o parâmetro que mais influencia a quantidade absorvida desses nutrientes pelas plantas. Quando houver alguma restrição na disponibilidade dos nutrientes na solução do solo junto às raízes, como normalmente acontece para P e K, mesmo em solos bem fertilizados, a  $V_{\text{max}}$  deixa de ser o parâmetro cinético que mais influencia a absorção de nutrientes, a qual passa a ser controlada pela  $K_m$  - constante de Michaelis-Menten (ERNANI et al., 1994).

Para o fósforo, a velocidade máxima de absorção ( $V_{\text{max}}$  de P) foi maior para as espécies *Senna multijuga*, *Anadenanthera peregrina* e *Apuleia leiocarpa*. Com relação ao poder de absorção ( $\alpha$ ) de P, a *Apuleia leiocarpa* distinguiu-se das demais espécies apresentando o maior valor para esse parâmetro, sendo que, a eficiência de absorção de um nutriente em baixa concentração na solução será tanto maior quanto maior for o  $V_{\text{max}}$  e menor o  $K_m$  (PINTO, 2009). Espera-se que os genótipos com maior  $V_{\text{max}}$  e menor  $K_m$  sejam comparativamente superiores, tanto em alta quanto em baixa disponibilidade do nutriente no solo. Entretanto, um valor intermediário de  $V_{\text{max}}$  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).

$K_m$  diferiu estatisticamente entre as espécies somente para o nitrogênio, os demais nutrientes não apresentaram tal distinção. A *Senna multijuga* apresentou menor  $K_m \text{ N-NO}_3^-$  (54,07  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) e *Apuleia leiocarpa* apresentou maior  $K_m \text{ N-NO}_3^-$  (238,81  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) (Tabela 10). Isso significa que *Senna multijuga* tem maior afinidade

em absorver a forma nítrica desse nutriente que os demais genótipos, em condições de baixa e média concentração.

A espécie *Mimosa caesalpiniaefolia* não apresentou resultados para os parâmetros cinéticos de absorção de fósforo, uma vez que as concentrações de P obtidas nas análises, forneceram resultados de efluxo de fósforo, não obtendo-se assim valores de  $V_{max}$  e  $K_m$ . 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).

As diferenças nos valores de  $V_{max}$  de P entre as espécies estudadas podem ser reflexos das diferenças na atividade e, ou, no número de carreadores nas raízes (FURTINI NETO, 1994).

Novais & Mello (2007) afirmam que menores valores de  $K_m$  seriam mais convenientes que grandes valores de  $V_{max}$ , uma vez que as concentrações de P normalmente encontradas na solução de nossos “solos-dreno”, referindo-se aos solos do Brasil, não são suficientes para obter altos valores de  $V_{max}$ .

Em relação aos parâmetros cinéticos de absorção de P, observaram-se as seguintes variações para  $V_{max}$  e  $K_m$ , 0,58-2,47  $\mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$  e 16,22-22,67  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , respectivamente. Os valores dos parâmetros cinéticos de absorção de P apresentados, distinguem-se dos valores encontrados por Vale (1982), que estudando clones de eucaliptos pré-tratados com amônio e nitrato observou as seguintes variações nos valores dos parâmetros cinéticos de absorção de P:  $V_{max}$  entre 0,428-0,665  $\mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$  e  $K_m$  entre 3,27- 4,52  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Furtini Neto (1994), trabalhando com cinco espécies de eucalipto, observou que os parâmetros cinéticos de absorção de P variaram de 0,57-1,72  $\mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$  ( $V_{max}$ ) e 1,15-1,29  $\mu\text{mol L}^{-1}$  ( $K_m$ ). Pinto (2009), observou em seu estudo com seis diferentes clones de eucalipto variação de 0,15-0,24  $\mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$  para  $V_{max}$  e de 13,3-15,1  $\mu\text{mol L}^{-1}$  para  $K_m$ .

Para Ca, os parâmetros cinéticos de absorção ( $V_{max}$  e  $k_m$ ) e o “poder de absorção” não diferiram estatisticamente entre as espécies estudadas (Tabela 10). O mesmo foi observado por Baligar & Barber (1979) para milho e por Pinto (2009) para eucalipto.

As médias de  $V_{max}$  de Ca ficaram entre 0,92  $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$  (*Mimosa caesalpiniaefolia*) e 10,26  $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$  (*Apuleia leocarpa*). A razão  $V_{max}/K_m$  para o Cálcio apresentou valores entre 0,008-0,075, correspondentes às espécies *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Apuleia leiocarpa*, respectivamente. O alto coeficiente de variação

observado para o parâmetro  $V_{max}$  (113%) e para o “poder de absorção” (80%), aliado a elevada amplitude das médias, indica que o número de repetições amostrado neste estudo possa ter sido insuficiente para analisar com eficiência a cinética de absorção do referido nutriente pelas espécies. Desta forma, sugere-se que os estudos de cinética de absorção para o Cálcio sejam realizados com um número maior de repetições.

A concentração de Ca que corresponde à metade do influxo máximo teve valor mínimo de  $70,55 \mu\text{mol L}^{-1}$  para *Anadenanthera peregrina* e máximo de  $125,43 \mu\text{mol L}^{-1}$  para *Apuleia leocarpa*.

Os valores obtidos neste estudo para  $V_{max}$  e  $K_m$  de Ca estão acima da faixa de variação observada em trabalhos realizados com clones de eucalipto por Lima et al. (2005) ( $V_{max}$  de  $0,7-2,9 \mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$  e  $K_m$  de  $45,5-72,2 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) e Pinto (2009) ( $V_{max}$  de  $0,2-0,67 \mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$  e  $K_m$  de  $17,0-34,1 \mu\text{mol L}^{-1}$ ).

Para magnésio, *Hymenaea courbaril* não foi analisada por não apresentar absorção de Mg necessária à obtenção dos parâmetros cinéticos de absorção (Tabela 10). Para as outras espécies, observaram-se diferenças significativas para os parâmetros  $V_{max}$  (variando entre  $1,05 \mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ - $15,07 \mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) e  $\alpha$  (variando entre  $0,008-0,119$ ). Verificou-se ainda que *Apuleia leiocarpa* destacou-se em relação às demais espécies, tanto para  $V_{max}$  quanto para o  $\alpha$ . O parâmetro  $K_m$ , apresentou médias variando entre  $114,52 \mu\text{mol L}^{-1}$ - $132,20 \mu\text{mol L}^{-1}$ , não diferindo estatisticamente entre espécies. Os valores dos parâmetros cinéticos de absorção de Mg observados no presente estudo são superiores aos observados por Lima et al. (2005) que obtiveram valores de  $V_{max}$  variando de  $0,7-1,8 \mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$  e  $K_m$  de  $77,3-122 \mu\text{mol L}^{-1}$ ; e por Pinto (2009) que observou variações para  $V_{max}$  de  $0,23-0,61 \mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$  e  $K_m$  de  $29,8-39,8 \mu\text{mol L}^{-1}$ .

*Apuleia leiocarpa* destacou-se por apresentar alta relação parte aérea/raiz (Tabela 3), maior eficiência de absorção (Tabela 7) e também maior  $V_{max}$  de N, P e Mg (Tabela 10). Lima et al. (2005) observaram que clones de eucalipto com maiores influxos de nutrientes apresentam maior relação parte aérea/raiz, permitindo inferir que as características fisiológicas destes clones sejam mais eficientes, contribuindo para um maior transporte de nutrientes para a parte aérea, resultando, conseqüentemente, em um maior crescimento do mesmo. Föhse et al. (1988), observaram que 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.

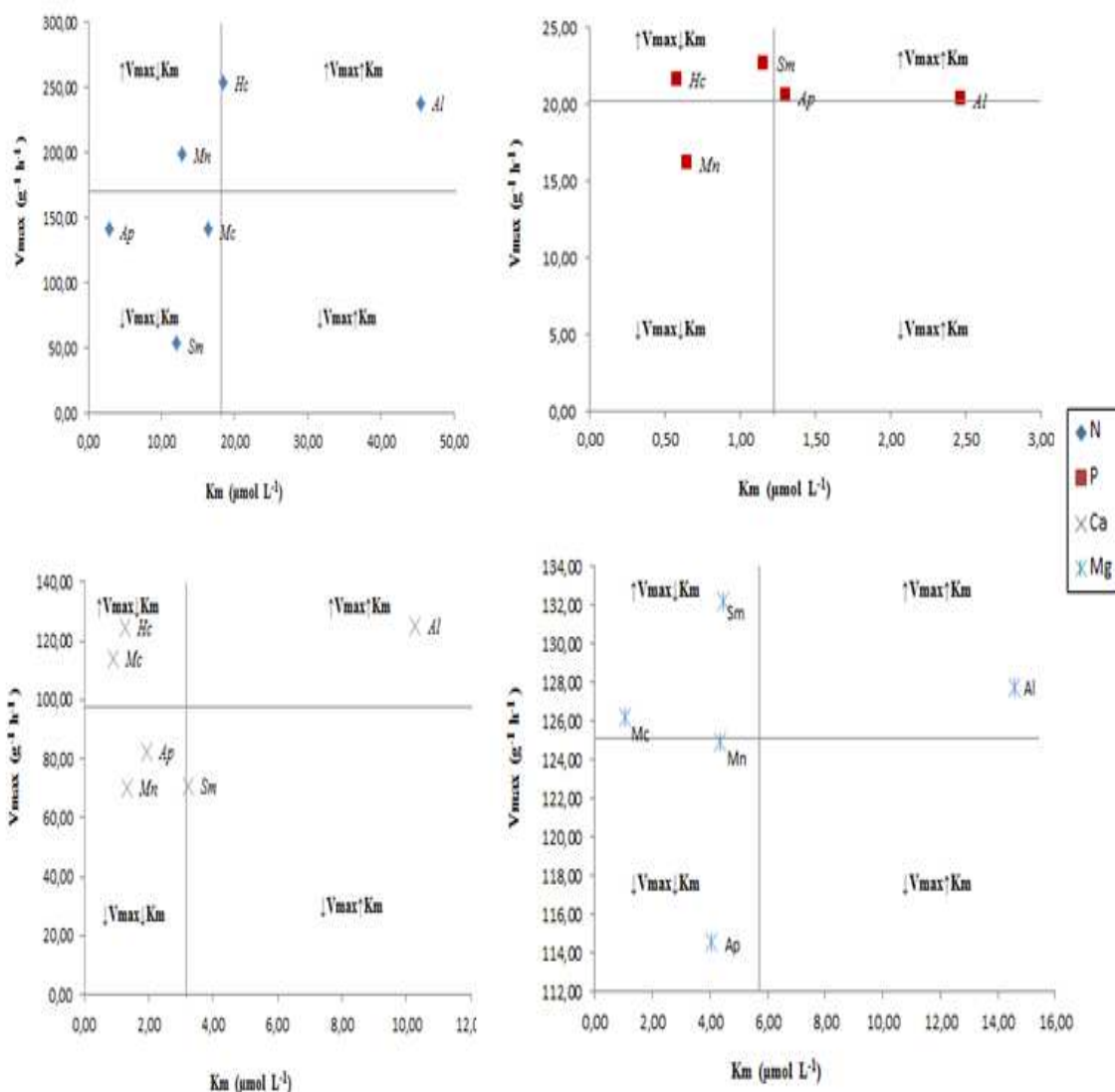
Contudo, uma menor relação parte aérea/raiz pode ser vantajosa em solos pouco férteis, plantas adaptadas geralmente apresentam baixa relação parte aérea/raiz e exploram maior volume de solo (ALVES, 1994). Isso pode ser determinante no seu crescimento, pois, além das características fisiológicas ( $V_{max}$  e  $K_m$ ), as características morfológicas do sistema radicular influenciam a absorção de nutrientes, como foi observado para P em soja por Claassen & Barber (1976).

De forma geral, a  $V_{max}$  possui maior capacidade discriminatória entre as espécies para todos os nutrientes avaliados (N – 80,53%; P – 61,57%; Ca – 113,07%; Mg – 91,08%). Enquanto que o  $K_m$  possui, de maneira geral, baixa capacidade discriminatória (N – 43,46%; P – 12,10%; Ca – 26,63%; Mg – 5,22%). O poder de absorção ( $\alpha$ ), possui capacidade discriminatória proporcional a do  $V_{max}$ , uma vez que o  $\alpha$  é a razão entre  $V_{max}/K_m$ , apresentando também elevados valores de coeficientes de variação entre as médias das espécies (N – 66,62%; P – 59,79%; Ca – 85,5%; Mg – 89,22%).

Observa-se que é muito difícil comparar dados de parâmetros cinéticos entre experimentos, pois mesmo utilizando concentrações de soluções semelhantes, as diferenças entre cultivares, idade fisiológica e fatores ambientais modificam de modo impactante a magnitude desses parâmetros (MACHADO & FURLANI, 2004). E que há grande escassez de informações referentes aos parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes na literatura, havendo a necessidade da realização de novos estudos abordando esta temática.

Na figura 3 é apresentado o diagrama de distribuição das espécies de leguminosas pertencentes a diferentes grupos de sucessão ecológica em função dos parâmetros cinéticos de absorção dos nutrientes (N, P, Ca e Mg), o grupo sucessional não influenciou na questão do agrupamento das espécies.

As espécies apresentaram as seguintes relações dos parâmetros cinéticos com os nutrientes analisados: *Mimosa caesalpiniaefolia*  $\uparrow V_{max} \downarrow K_m$  para Ca e Mg,  $\downarrow V_{max} \downarrow K_m$  para N; *Senna multijuga*  $\uparrow V_{max} \downarrow K_m$  para P e Mg,  $\downarrow V_{max} \downarrow K_m$  para N e  $\downarrow V_{max} \uparrow K_m$  para Ca; *Anadenanthera peregrina*  $\downarrow V_{max} \downarrow K_m$  para N, Mg e Ca,  $\uparrow V_{max}$  e  $\uparrow K_m$  para P; *Machaerium nictitans*  $\uparrow V_{max} \downarrow K_m$  para N,  $\downarrow V_{max} \downarrow K_m$  para P, Ca e Mg; *Apuleia leiocarpa*  $\uparrow V_{max}$  e  $\uparrow K_m$  para N, P, Ca e Mg; *Hymenaea courbaril*  $\uparrow V_{max} \downarrow K_m$  para P e Ca, e  $\uparrow V_{max}$  e  $\uparrow K_m$  para N.



**Figura 3.** Diagrama de distribuição das espécies de leguminosas arbóreas (Mc = *Mimosa caesalpiniaefolia*, Sc= *Senna multijuga*, Ap= *Anadenanthera peregrina*, Mn= *Machaerium nictitans*, Al= *Apuleia leiocarpa*, Hc= *Hymenaea courbaril*) em função dos parâmetros cinéticos de absorção dos Macronutrientes (N, P, Ca, Mg).

Segundo Horn et al. (2006), uma planta ideal deveria ter alto  $V_{max}$  e baixos valores para  $K_m$  e  $C_{min}$ , pois mesmo sob baixa concentração a planta teria elevada taxa de influxo de nutriente. Foram agrupadas no grupo  $\uparrow V_{max}$  e  $\downarrow K_m$  as espécies *Mimosa caesalpiniaefolia* (Ca e Mg), *Senna multijuga* (P e Mg), *Machaerium nictitans* (N) e *Hymenaea courbaril* (P e Ca); a nutrição dessas espécies com os nutrientes supracitados seria otimizada, pois mesmo em baixa concentração seriam bem absorvidos.

*Apuleia leiocarpa* foi agrupada somente no grupo  $\uparrow V_{max}\uparrow K_m$  podendo correlacionar ao fato dela possuir maiores superfície específica tanto foliar quanto de raízes, como também maior eficiência de absorção se comparada às demais espécies.

A análise conjunta dos parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes e eficiência nutricional permite um melhor entendimento da aquisição e alocação dos nutrientes pela planta. O influxo de nutriente e a eficiência de absorção possuem estreita relação, logo tal relevância de serem analisados em conjunto, permitem descrever o comportamento das espécies com relação a nutrição e produção de biomassa.

A cinética de absorção iônica de N, P, Ca e Mg realizada de forma conjunta se mostrou adequada na caracterização do influxo destes nutrientes pelas espécies de leguminosas arbóreas pertencentes a diferentes grupos sucessionais. Devido a escassez de informação sobre essas espécies na literatura, por serem nativas, este trabalho possui suma relevância para a caracterização da nutrição e da relação de absorção e alocação de nutrientes em função do grupo de sucessão ecológica. Entretanto, para conclusões definitivas a respeito da eficiência nutricional e parâmetros cinéticos de absorção iônica, novos experimentos devem ser conduzidos.

## 5. CONCLUSÕES

A definição da morfologia, dos teores e conteúdos, da eficiência de absorção e utilização e dos parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes em espécies leguminosas arbóreas nativas, vão ao encontro da necessidade de encontrar a habilidade desses genótipos no que se refere a nutrição mineral, bem como verificar diferenças entre espécies pertencentes a diferentes grupos de sucessão ecológica.

- Quando agrupadas de acordo com o grupo ecológico, é possível distinguir claramente padrões de comportamento contrastantes para espécies pioneiras e não pioneiras na produção de biomassa, as espécies pioneiras se destacam em relação às não pioneiras. Esse comportamento também é observado para área foliar, comprimento radicular e área de superfície radicular.

- Os grupos de sucessão ecológica não diferem quanto à partição de nutrientes minerais, entretanto houve distinção entre as espécies.

- As espécies de leguminosas diferem na eficiência nutricional, sendo identificadas diferenças na eficiência de absorção, translocação e utilização dos macro e micronutrientes em relação às espécies.

- As espécies pioneiras são mais eficientes na utilização dos macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Mn, Fe, Cu e Zn) que as espécies não pioneiras, não observando-se distinção pelo grupo ecológico para os demais componentes da eficiência nutricional. Logo, as pioneiras são mais eficientes na utilização dos nutrientes para a produção de biomassa.

- As diferenças identificadas no presente trabalho quanto à eficiência nutricional em leguminosas arbóreas nativas pertencentes à diferentes grupos sucessionais na fase de mudas, sugere a possibilidade de seleção de espécies para diferentes condições de sítio, permitindo a alocação em sítios que apresentem condições mais adequadas ao seu desenvolvimento, bem como a seleção de grupos sucessionais distintos para programas de reflorestamentos, obtendo-se assim um melhor manejo da adubação de acordo não só com as condições do sítio, como também com demandas nutricionais das espécies vegetais.

- A confecção de diagramas para a eficiência de absorção em relação a eficiência utilização; e  $V_{max}$  em relação ao  $K_m$ , possibilita a classificação das espécies quanto a eficiência nutricional e cinética de absorção iônica. Estes resultados consistem numa



valiosa ferramenta para a escolha do material genético a ser utilizado e manejo da nutrição mineral.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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**. 1994 106 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ALVES, V.M.C.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Efeito do alumínio sobre a absorção e translocação de fósforo e sobre a composição mineral de duas cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n 6, p. 563-573, 1988.

ALVES, V.M.C.; PARENTONI, S.N.; VASCONCELLOS, C.A.; PITTA, G.V.E.; FRANÇA, C.C.M. Cinética de absorção de fósforo e crescimento do sistema radicular de genótipos de milho contrastantes para eficiência a fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n1, p.85-92, 2002.

ANGHINONI, I.; VOLKART, C.R.; FATTORE, N.; ERNANI, P.R. Morfologia de raízes e cinética da absorção de nutrientes em diversas espécies e cultivares de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.3, p.355-361, 1989.

ARAÚJO, W.F.; BOTREL, T.A.; CARMELLO, Q.A. de C.; SAMPAIO, R.A.; VASCONCELOS, M.R.B. Marcha de absorção de nutrientes pela cultura da abobrinha conduzida sob fertirrigação. In: FOLEGATTI, M.V.; CASARINI, E.; BLANCO, F.F.; BRASIL, R.P.C. do; RESENDE, R.S. (Coord.) **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001, v.1, p.67 – 77.

BALIGAR, V.C.; BARBER, S.A. Genotypic differences of corn for ion uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v. 71, n. 5, p.870-873, 1979.

BALIGAR, V.C., FAGERIA, N.K. Plant nutrient efficiency: towards the second paradigm. **Apostila mimeografada**, 1998.

BAILIAN, L.; McKEAND, S.E.; ALLEN, H.L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, London, v.37, p.613-628, 1991.

BARBER, S.A. Influence of the plantation root on ion movement in soil. In: CARSON, E.W., ed., **The plant root and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p.525-564.

BARBER, S.A. Mecanismos de absorção de fósforo sob condições de estresse ambiental. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM PERSPECTIVA. 1992. **Resumos...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 1992, p.28-29.

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability**. New York: John Wiley & Sons, 1995. 414p.

BARBOSA, Z.; VENTURIN, R. P.; CARVALHO, J. G.; MORAIS, A.R. Crescimento e composição química foliar de mudas de Aroeira (*Myracrodouon urundeuva* (Fr. All) Eng.) sob diferentes saturações por bases. I. Crescimento vegetativo. In. Congresso brasileiro de ciência do solo, 25., 1995. Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: SBCS, 1995. p.806-809.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.10, p.1287-1293, 2001.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. 430 p.

BASSIRIRAD, H. Kinetics of nutrient uptake by roots: responses to global change (review). **New Phytologist**, v. 147, n. 1, p.155-169, 2000.

BATAGLIA, O.C. Análise química da planta. In: FERREIRA E. & CRUZ, M. C. P. Micronutrientes na agricultura. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1991, PIRACICABA, SP. **Anais...** Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e Fosfato, 1991. p.289-305.

BECKING, J. H. On the mechanism of ammonium uptake by maize roots. **Acta Botânica Neerlandica**, Amsterdam, v. 5, p.2-79, 1956.

BENINCASA, M.M.P. **Análise do crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.

BERGER, G. **Biomassa e nutrientes em plantios de Erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) no município de Nova Prata, RS**. 2006. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria.

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.

BLAIR, G. Nutrient efficiency what do we really mean? In: RANDALL, P.J.; DELHAITZE, E.; RICHARDS, R.A.; MUNNS, R. (Eds.). **Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p.205–213.

CAINES, A.M.; SHENNAN, C. Growth and nutrient composition of Ca<sup>2+</sup> use efficient and Ca<sup>2+</sup> use inefficient genotypes of tomato. **Plant Physiology Biochemistry**, v.37, n. 7, p.559-567, 1999.

CALDEIRA, M.V.W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.)**. 1998. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

- CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAVICK, L. F.; SOARES, R. V.; VALÉRIO, A. F. Teores de Micronutrientes em espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista Montana – General Carneiro/Pr. **Ambiência**, v. 2, n. 1, p. 29 – 50, 2006.
- CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, n.1, p.71-80, 1975.
- CHAPIN III, F.S. The Mineral Nutrition of Wild Plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 11, p. 233-260, 1980.
- CHARLES-EDWARDS, D.A. A model for leaf growth. **Annals of Botany**, London, v.44, p.523- 535, 1979.
- CLAASSEN, N.; BARBER, S.A. Simulation model for nutrient uptake from soil by a growing plant root system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, n. 6, p. 961-964, 1976.
- CLARK, D. A. Plant demography. In: McDade, L. A.; Bawa, K. S.; HESPENHEIDE, H. A. e HARTSHORN, G. S. (eds.). **La Selva: ecology and natural history of a neotropical rain forest**. Chicago, EUA: University of Chicago Press, 1994. p. 90-105.
- CLARK, R. B. Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation, and use of elements required for plant growth. **Plant and Soil**, v. 72, p. 175-196, 1983.
- CLARKSON, D. T. Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Boca Raton, v. 36, n.1, p. 77-115, 1985.
- CLARKSON, D. T.; HANSON, J. B. The mineral nutrition of higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 31, p. 239-298, 1980.
- DALE, J.E. The Control of Leaf Expansion. **Annual Review in Plant Physiology**, v. 39, p. 267-95, 1988.
- DARRAH, P.R. The rhizosphere and plant nutrition: a quantitative approach. **Plant Soil**, v. 155-156, n.1, p. 1-20, 1993.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/UFV. 2006, p. 327-354.
- DENSLOW, J. S. Functional group diversity and responses to disturbance. In: ORIAN, G. H.; DIRZO, R. e CUSHMAN, J. H. **Biodiversity and ecosystem processes in tropical forests**. Berlim, Alemanha: Springer-Verlag, 1996. p. 127-151.
- DUBOC, E.; VENTURIN, N.; VALE, F.R do; DAVIDE A .C. Nutrição do Jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stibocarpa* (Hayne) Lee et Lang). **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 31-47, 1996.

DUNCAN, R. R.; BALIGAR, V. C. Genetics, breeding and physiological mechanisms of nutrient uptake and use efficiency: an overview. In: BALIGAR, V. C.; DUNCAN, R. R. **Crops as enhancers of nutrient use**. ed. Academic Press, San Diego, 1990. p. 3-35.

EBERHARDT, D. S.; SILVA, P. R. F.; RIEFFEL NETO, S. R. Eficiência de absorção e utilização de nitrogênio por plantas de arroz e de dois ecótipos de arroz vermelho. **Planta Daninha**, v. 17, n. 2, p. 309-323, 1999.

EDWARDS, J.H.; BARBER, S.A. Nitrogen flux into corn roots as influenced by shoot requirement. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, n. 3, p. 471-473, 1976.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1975. 341p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 416p.

EPSTEIN, E., HAGEN, C. E. A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots. **Plant Physiology**, Rockville, v. 27, n.3, p. 457-474, 1952.

EPSTEIN, E.; JEFFERIES, R. L. The genetic basis of selective ion transport in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Boca Raton, v.15, p.162-184, 1984.

ERNANI P.R.; SANTOS, J.C.P.; KAMINSKI, J. & RHEINHEIMER, D. Prediction of phosphorus uptake by a mechanistic model in a low phosphorus highly weathered soil as affected by mycorrhizae inoculation. **Journal of Plant Nutrition**, The Netherlands, v. 17, p. 1067-1078, 1994.

EVANS, G. C. **The quantitative analysis of plant growth**. Berkeley: Blackwell Scientific Publications, 1972. 734 p.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Screening crop genotypes for mineral stresses. In: WORKSHOP ON ADAPTATION OF PLANTS TO SOIL STRESSES, 1993, LINCOLN. **Proceedings...** Lincoln: University of Nebraska, 1993. p.142-159.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Avaliação preliminar de cultivares de arroz irrigado para maior eficiência de utilização de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 12, p. 1709-1712, 1982.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P.; STONE, L. F. Nutrição de fósforo na produção de feijoeiro. In: YAMADA, T. & ABDALLA, S. R. S. eds. **Fósforo na agricultura Brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potássio e Fosfato, 2004. p.435-455.

FAGERIA, N. D.; KLUTHCOUSKI, J. **Metodologia para avaliação de cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo**. Brasília: Embrapa/CNPAF, 1980. 22 p.

FAQUIN, V.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. Cinética da absorção de fosfato em soja sob influência de micorriza vesículo-arbuscular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 41-48, 1990.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227p.

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**, v. 110, n.1, p. 101-109, 1988.

FURLANI, A. M. C.; CLARK, R. B.; MARANVILLE, J. W.; ROSS, W. M. Sorghum genotype differences in phosphorus uptake, phosphorus efficiency, phosphorus mobilization and utilization. **Journal of Plant Nutrition**, Weinheim, v. 7, n.7, p. 1113-1126, 1984.

FURTINI NETO, A.E. **Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em *Eucalyptus* ssp.** 1994. 99f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V. de; VALE, F. R. do; FAQUIM V.; FERNANDES L. A. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. **Revista Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p.1-12, 1999.

GERLOFF, G. C.; GABELMAN, W. H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. **Inorganic plant nutrition**. New York: Springer-Verlag, 1983. p. 453-480.

GLASS, A. D. M. Ion absorption and utilization: the cellular level. In: BALIGAR, V. C.; DUNCAN, R. R. (ed.). **Crops as enhancers of nutrient use**. San Diego: Academic Press, 1990. p. 41-64.

GOEDERT, W.J. Management of the Cerrado soils of Brazil: a review. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.34, n.3, p.405-428, 1983.

GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N. de; NEVES, J. C. de L.; GOMES, J. M. Crescimento de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) sob diferentes doses de macronutrientes. **Revista Árvore**, v.32, n.6, p.1029-1040, 2008.

GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N. de; NEVES, J. C. de L.; GOMES, J. M. Crescimento de mudas de sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes doses de macronutrientes. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 599-609, 2010.

GONÇALVES, J. L. M., V. M. FREIXÊDAS, P. Y. KAGEYAMA, J. C. GONÇALVES; J. H. DIAS. Produção de biomassa e sistema radicular de espécies de diferentes estágios sucessionais. **Revista do Instituto Florestal**, v.4, n. 2, p 363-367, 1992.

GONÇALVES, J.L.M.; MELLO, S.L.M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V., eds. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba, SP: IPEF, 2000. p.219-267.

GONÇALVES, J. L. M.; NOGUEIRA JÚNIOR, L. R.; DUCATTI, F. Recuperação de solos degradados. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.D.; ENGEL, V.L.; GANDARA, F.B. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2003. p.111-163.

GONÇALVES, J. L. M., SANTARELLI, E. G., MORAES NETO, S. P.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V., eds. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba SP: IPEF, 2000. 427p.

GOTO, R.; GUIMARÃES, V.F.; ECHER, M. de M. Aspectos fisiológicos e nutricionais no crescimento e desenvolvimento de plantas hortícolas. In: FOLEGATTI, M.V.; CASARINI, E.; BLANCO, F.F.; BRASIL, R.P.C. do; RESENDE, R.S. (Coord.) **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001, v.2, p.241-268.

GOURLEY, C.J.P., ALLAN, D.L., RUSSELLE, M.P. Plant nutrient efficiency: a comparison and suggested improvement. **Plant Soil**, v. 158, p. 29-37, 1994.

GRAHAM, R. D.; PEARCE, D. T. The sensitivity of hexaploid and octaploid triticales and their parent species to copper deficiency. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 30, p. 791-799, 1979.

GREGORY, F.G. The effect of climatic conditions on the growth of barley. **Annals of Botany**, v. 40, n. 157, p.1-26, 1926.

GRESPLAN, S. L.; DIAS, L. E.; NOVAIS, R. F. Crescimento e parâmetros cinéticos de absorção de amônio e nitrato por mudas de *Eucalyptus* spp. submetidas a diferentes relações amônio/nitrato na presença e ausência de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 4, p. 667-674, 1998.

HARTSHORN, G. S. Treefalls and tropical forest dynamics. In: P. B. TOMLINSON; M. H. ZIMMERMANN (eds.), **Tropical trees as living systems**, New York, EUA: Cambridge University Press, 1978. p. 617-638.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347p.

HORN, D.; ERNANI, P.R.; SANGOI, L.; SCHWEITZER, C. & CASSOL, P.C. Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, p. 77-85, 2006.

JOHNSON, C. M.; ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles: University of California, 1959. p.32-33. (Bulletin, 766)

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B. Recuperação de áreas ciliares, In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**, 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. p.249-269

KRONZUCKER, H. J.; SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Kinetics of  $\text{NH}_4^+$  influx in spruce. **Plant Physiology**, Bethesda, v.110, n. 3, p. 773-779, 1996.

LAMBERS, H.; POORTER, H. Inherent variations in growth rate between higher plants: A search for fisiological causes and ecological consequences. **Advances in Ecological Research**, San Diego, v.23, p.188-261, 1992.

LARCHER, W. A utilização dos elementos minerais. In: **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2004. p. 183-230.

LI, B.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, Lawrence, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.

LIMA, A.A. de. **Absorção e eficiência de utilização de nutrientes por híbridos de melão (Cucumis melo L.)** 2001. 60f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

LIMA, A.M.N.; NEVES, J.C.L.; SILVA, I.R. & LEITE F.P. Cinética de absorção e eficiência nutricional de  $\text{k}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  em plantas jovens de quatro clones de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p. 903-909, 2005.

LUCCHESI, A.A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRA, P.C.R.; FERRERIA, S.O.; YAMADA, T. (Ed). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Potafós, 1987. p. 1-2.

MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. M. C. Kinetics of phosphorus uptake and root morphology of local and improved varieties of maize. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 69-76, 2004.

MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. M. C.; MACHADO, A. T. Índice de eficiência de variedades locais e melhoradas de milho ao fósforo. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 225-238, 2001.

MAFFEIS, A.R.; SILVEIRA, R.L.V.A.; BRITO, J.O. Reflexos das deficiências de macronutrientes e boro no crescimento de plantas, produção e qualidade de óleo essencial em *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 57, p. 87-98, 2000.

MALAVOLTA, E. - **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Ceres, 1987. 496p

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997. 201p.



- MARQUES, T. C. L. L. M.; CARVALHO, G. de; LACERDA, M. P. C.; MOTA, P. E. F. da. Exigências nutricionais do paricá (*Schizolobium amazonicum*, Herb.) na fase de muda. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 167-183, 2004.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants** London: Academic Press, 1986. 647 p.
- MARSCHNER, H. Root induced changes in the availability of micronutrients in the rhizosphere. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A. & KAFKAFI, U., eds., **Plant roots. The hidden half**. New York: Marcel Dekker, 1991, p.503-528.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.R.; RODRIGUES, L.A. & SACRAMENTO, L.V.S. Comportamento de variedades de soja cultivadas em diferentes doses de fósforo: I. Cinética de absorção de fósforo e ajustes morfológicos da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n.2, p. 231-238, 1993.
- MARTINEZ, H.E.P. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**. Viçosa: UFV, 2002. 61p. (Cadernos didáticos).
- MEDEIROS, A. A.; AMORIM, J. R. A.; SILVA, D. J.; GUEDES, F. X.; GUERRA, A. G.; DANTAS, J. A. **Composição mineral de folhas e exportação de nutrientes pelos frutos de mangueira, em cultivo irrigado, no Rio Grande do Norte**. Natal: EMPARN, 2005. 13p.
- MICHAELIS, L.; MENTEN, M. Die kinetik der invertinwirkung. **Biochemische Zeitschrift**, Berlin, v. 49, p. 333-369, 1913.
- MOLICA, S. G. **Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. 1992. 120 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MOURA, O. N.; PASSOS, M. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; MOLICA, S. G.; LIRA JR., M. A.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F. Distribuição de biomassa e nutrientes na parte aérea de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 877-884, 2006.
- MUNIZ, A. S.; SILVA, M. A. G. Exigências nutricionais de mudas de Paroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron* Muller Argoviensis) em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 263-271, 1995.
- MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v.27, p. 31 – 36, 1962.
- NAMBIAR, E. K. S. Genetic differences in copper nutrition of cereals. 1. Differential responses of genotypes to copper. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 27, p. 453-463, 1976.

NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191f. Tese (Doutorado em Produção vegetal) - Universidade Estadual Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ.

NIELSEN, N.E.; BARBER, S.A. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 5, p.695-698, 1978.

NIELSEN, K.L.; ESHEL, A. & LYNCH, J.P. The effect of phosphorus availability on the carbon economy of contrasting common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 355, p. 329-339, 2001.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 133-204.

NYE, P.H.; TINKER, P.B. **Solute movement in the soil-root system**. Berkeley: University of California Press, 1977. 342p.

NYE, P.H., TINKER, P.B. The uptake properties of the root system. In: TINKER, P. B.; NYE, P.H., eds. **Solute movement in the rhizosphere**. New York: Oxford University Press, 2000. 448p.

PACHECO, S., CAMBRAIA, J. Phosphorus uptake by mycorrhizal and nonmycorrhizal Pinus roots. **Revista de Microbiologia**, v.23, n.4, p. 260- 263, 1992.

PRATA, E.B. **Acumulação de biomassa e absorção de nutrientes por híbridos de meloeiro (Cucumis melo L.)**. 1999. 37f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

PETRY, C.; RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; PESSOA, A.C.S. & CASSOL, L.C. Influência do estresse de alumínio em plantas de fumo: II. Efeito nos parâmetros cinéticos de absorção de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 69-72,1994.

PINTO, S.I.C. **Cinética de absorção conjunta de fósforo, potássio, cálcio e magnésio e eficiência nutricional de macronutrientes de clones de eucalipto**. 2009. 102 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RADIN, B.; REISSER JÚNIOR C.; MATZENAUER R.; BERGAMASCHI H. Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 178-181, 2004.

RAWAT, S. R.; SILIM, S .N.; KRONZUCKER, H .J.; SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. AtAMT1 gene expression and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> uptake in roots of *Arabidopsis thaliana*: evidence for regulation by root glutamine levels. **Plant Journal**, Oxford, v.19, n. 2, p.143-152, 1999.

REICHARDT, K. **A água na produção agrícola**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 119p.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2071-2081, 1999.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; MUNIZ, J. A.; FARIA, M. R. Acúmulo e eficiência nutricional de macronutrientes por espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta à fertilização fosfatada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 160-173, 2000.

RÖMHELD, V. Different strategies for iron acquisition in higher plants. What's new in plant physiology. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 70, p. 231-234, 1987.

RUIZ, H. A.; FERNANDES FILHO, E. I. Cinética: software para estimar as constantes V<sub>max</sub> e K<sub>m</sub> da equação de Michaelis-Menten. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 10., 1992, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: SBCS, 1992. p. 124-125.

SACRAMENTO L.V.S.; ROSOLEM, C.A. Cinética de absorção de potássio e seus ajustes em plantas de soja em função da idade e estado nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.213-219, 1997.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do Estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 447-457, 2002.

SCHENK, M. K.; BARBER, S. A. Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, n. 5, p. 880-883, 1979.

SCHNITZER, S. A.; CARSON, W. P. Treefall gaps and the maintenance of species diversity in a tropical forest. **Ecology**, v. 82, n.4, p. 913-919, 2001.

SCHUMACHER, M.V.; CECONI, D.E.; SANTANA, C.A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Bentham) Brenan). **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.1, p.149-155, 2004.

SHARMA, A.K.; SRIVASTAVA, P.C.; JOHRI, B.N. Multiphasic zinc uptake system in mycorrhizal and nonmycorrhizal roots of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Current Science**, Bangalore, v. 76, n. 2, p. 228-230, 1999.

SHELDEN, M. C.; DONG, B.; DE BRUCHELLES, G.; TREVASKIS, B.; WHELAN, J.; RYAN, P. R.; HOWITT, S. M.; UDVAR, N. K. Arabidopsis ammonium transporters AT AMT1:1 and AT AMT1:2 have different biochemical properties and functional roles. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 231, n. 1, p.151-160, 2001.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & SHARMA, R.D. Utilização do lodo de esgoto como fonte de fósforo e nitrogênio para milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais...**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A.; CARDOSO, A. A. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com a braquiária. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 325- 335, 2004.

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, 2005, p. 79-104.

SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; VALE, F.R., et al. **Aspectos de solos, nutrição vegetal e microbiologia na implantação de matas ciliares**. Belo Horizonte: CEMIG, 1995. 28p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (SBCS-CQFS). **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS. 2004. 400 p.

SOUZA, V.F.; COELHO, E.F. Manejo de fertirrigação em fruteiras. In: FOLEGATTI, M.V. (Coord.). **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, v.2, cap.2, p.71-103, 2001.

STATSOFT, Inc.. **Statistica**. Data Analysis Software System – version 8.0 – 2007.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 7, n. 10, p. 1687-1699, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5).

TEDESCO, N.; CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; Influência do vermicomposto na produção de mudas de Caroba (*Jacaranda micrantha* Chamisso). **Revista Árvore**, Viçosa, vol. 23, p. 01-08, 1999.

TENNANT, D. A. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 63, n. 3, p. 995-1001, 1975.

TYLER, K.B.; LORENZ, O.A. Nutrient absorption and growth of four muskmelon

varieties. **Proceedings American of the Society Horticultural Science**, Alexandria, v.84, n. 1, p. 364- 371, 1964.

ULLRICH, W. R.; LARSSON, C. M.; LESCH, S.; NOVACKY, A. Ammonium uptake in *Lemna gibba* G1, related membrana potential changes and inhibition of onion uptake. **Plant Physiology**, Berthesda, v.61, n.10, p. 369-376, 1984.

VACCARO, S. **Caracterização fitossociológica de três fases sucessionais de uma floresta estacional decidual, no município de Santa Tereza - RS**. Santa Maria: UFSM, 1997. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

VALE, F. R. **Efeito do alumínio sobre a cinética de absorção de nitrato, amônio e fosfato em milho (*Zea mays*, L.) e em clone de eucalipto (*Eucalyptus alba*)**. 1982. 71 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

VAZQUEZ-YANES, C.; OROZCO-SEGOVIA, A. Signals for gaps. In: CALDWELL, M; PEARCY, R., eds. **Exploitation of environmental heterogeneity by plants: Ecophysiological Processes Above and Below Ground**. New York: Academic Press, 1994. 261-318p.

VENTURIN, N. et. al. Adubação mineral do Angico-amarelo (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 3, p. 441-448, 1999.

VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo em cultivares de soja afetados pela interação alumínio- fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 91-96, 1984.

WANG, M. Y.; SIDDIQI, M. Y.; RUTH, T. J.; GLASS, A. D. M. Ammonium uptake by rice roots. II. Kinetics of  $^{13}\text{NH}_4^+$  influx across the plasmalemma. **Plant Physiology**, Bethesda, v.103, n. 1, p.1259-1267, 1993.

WARNCKE, D.D.;B ARBER, S.A. Root development and nutrient uptake by corn grown in solution culture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 66, n. 4, p. 514-516, 1974.

WIRÉN, N.; GAZZARRINI, S.; GOJON, A.; FROMMER, W.B. The molecular physiology of ammonium uptake and retrieval. **Current Opinion in Plant Biology**, Oxford, v. 3, n. 3, p. 254-261, 2000.

## ANEXOS

TABELA 1A. Análises de variância (ANOVA) da produção de matéria seca pela parte aérea (MSPA), pelo sistema radicular (MSR), total (MST) e relação entre a matéria seca da parte aérea e raiz (MSPA/MSR) apresentadas pelas seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio			
		MSPA	MSR	MST	MSPA/MSR
Tratamento	5	141,10*	21,04*	239,31*	12,49*
Resíduo	18	8,39	1,59	14,74	1,33
CV %		66,24	86,80	66,48	48,06

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Tabela 2A. Análises de variância (ANOVA) do Comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), diâmetro de parte aérea (DPA), diâmetro de raiz (DR), área foliar (AF), área de superfície radicular (ASR), área foliar específica (AFE), área de superfície radicular específica (ASRE) das seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio							
		CPA	CR	DPA	DR	AF	ASR	AFE	ASRE
Tratamento	5	1361,9*	183330528*	8,02*	0,1*	1094157*	5147666*	28473*	1125652*
Resíduo	18	17,19	3814384,8	0,58	0,01	37507	907724	333,3	133070
CV %		29,48	54,22	25,92	33,6	68,1	58,91	51,01	54,53

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 3A. Análises de variância (ANOVA) do teor na parte aérea, teor nas raízes, conteúdo na parte aérea, conteúdo nas raízes de nitrogênio por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				Conteúdo Total
		Teor PA	Teor R	Conteúdo PA	Conteúdo R	
Tratamento	5	62,972*	60,753*	104257*	7920,749*	149571*
Resíduo	18	7,99	10,742	3802	477,264	6345
CV %		17,91	25,30	69,00	91,23	71,53

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 4A. Análises de variância (ANOVA) do teor na parte aérea, teor nas raízes, conteúdo na parte aérea, conteúdo nas raízes de fósforo por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				Conteúdo Total
		Teor PA	Teor R	Conteúdo PA	Conteúdo R	
Tratamento	5	39,54*	9,17*	768,16*	180,09*	1209,26*
Resíduo	18	1,4470	1,293	183,90	5,700	202,27
CV %		65,06	43,79	50,24	70,08	48,66

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 5A. Análises de variância (ANOVA) do teor na parte aérea, teor nas raízes, conteúdo na parte aérea, conteúdo nas raízes de potássio por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				Conteúdo Total
		Teor PA	Teor R	Conteúdo PA	Conteúdo R	
Tratamento	5	36,454*	29,665*	29777*	210,121*	31502,6*
Resíduo	18	3,003	2,735	1586	45,929	1806,4
CV %		19,97	42,01	63,56	57,51	62,74

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 6A. Análises de variância (ANOVA) do teor na parte aérea, teor nas raízes, conteúdo na parte aérea, conteúdo nas raízes de cálcio por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				Conteúdo Total
		Teor PA	Teor R	Conteúdo PA	Conteúdo R	
Tratamento	5	205,708*	14,380*	79454,384*	1425,043*	94751*
Resíduo	18	6,174	3,005	6324,6	113,241	7275
CV %		33,26	40,07	75,63	112,58	77,31

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 7A. Análises de variância (ANOVA) do teor na parte aérea, teor nas raízes, conteúdo na parte aérea, conteúdo nas raízes de magnésio por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				Conteúdo Total
		Teor PA	Teor R	Conteúdo PA	Conteúdo R	
Tratamento	5	2,466*	1,631*	1328,378*	16,242*	1596,68*
Resíduo	18	0,1650	0,040	129,797	1,996	159,01
CV %		29,48	36,68	76,52	58,24	77,06

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 8A. Análises de variância (ANOVA) do teor na parte aérea, teor nas raízes, conteúdo na parte aérea, conteúdo nas raízes de enxofre por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				Conteúdo Total
		Teor PA	Teor R	Conteúdo PA	Conteúdo R	
Tratamento	5	0,055 <sup>NS</sup>	0,363*	162,976*	24,981*	259,678*
Resíduo	18	0,038	0,033	30,884	1,001	37,057
CV %		17,99	34,70	73,78	89,64	71,29

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. <sup>NS</sup> Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 9A. Análises de variância (ANOVA) do teor na parte aérea, teor nas raízes, conteúdo na parte aérea, conteúdo nas raízes de manganês por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				Conteúdo Total
		Teor PA	Teor R	Conteúdo PA	Conteúdo R	
Tratamento	5	2605,730*	67013 <sup>NS</sup>	0,330 <sup>NS</sup>	0,275 <sup>NS</sup>	0,90273 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	566,354	33063	0,168	0,1430	0,42417
CV %		36,51	54,40	63,01	52,76	50,94

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. <sup>NS</sup> Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 10A. Análises de variância (ANOVA) do teor na parte aérea, teor nas raízes, conteúdo na parte aérea, conteúdo nas raízes de ferro por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				Conteúdo Total
		Teor PA	Teor R	Conteúdo PA	Conteúdo R	
Tratamento	5	1536,659*	297812,578*	0,315*	12,513*	14,0812*
Resíduo	18	176,78	83312,46	0,063000	1,05800	1,3550
CV %		35,38	49,94	66,58	93,54	75,21

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 11A. Análises de variância (ANOVA) do teor na parte aérea, teor nas raízes, conteúdo na parte aérea, conteúdo nas raízes de cobre por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				Conteúdo Total
		Teor PA	Teor R	Conteúdo PA	Conteúdo R	
Tratamento	5	3,966*	436,054 <sup>NS</sup>	0,002*	0,004*	0,007244*
Resíduo	18	0,54200	197,925	0,0002	0,001	0,000808



CV %	73,21	49,10	142,66	52,02	61,42
------	-------	-------	--------	-------	-------

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. <sup>NS</sup> Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 12A. Análises de variância (ANOVA) do teor na parte aérea, teor nas raízes, conteúdo na parte aérea, conteúdo nas raízes de zinco por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				Conteúdo Total
		Teor PA	Teor R	Conteúdo PA	Conteúdo R	
Tratamento	5	153,094*	63,184 <sup>NS</sup>	0,035*	0,014*	0,060698*
Resíduo	18	17,778	106,465	0,005	0,001	0,007775
CV %		36,53	26,32	67,89	64,89	55,98

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. <sup>NS</sup> Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 13A. Análises de variância (ANOVA) das eficiências de absorção (EA), translocação (ET), utilização (EU), utilização da parte aérea (EUPA) e utilização das raízes (EUR) de nitrogênio por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				
		EA	ET	EU	EUPA	EUR
Tratamento	5	10643*	0,015*	0,408*	0,202*	0,060*
Resíduo	18	767,4	0,001	0,036	0,020	0,006
CV %		45,22	7,82	65,54	64,81	83,66

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 14A Análises de variância (ANOVA) das eficiências de absorção (EA), translocação (ET), utilização (EU), utilização da parte aérea (EUPA) e utilização das raízes (EUR) de fósforo por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				
		EA	ET	EU	EU PA	EUR
Tratamento	5	1800,24*	0,042*	41,373*	24,303*	3,886*
Resíduo	18	114,72	0,005	1,968	0,5432	0,781
CV %		86,29	14,65	85,81	82,68	119,37

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 15A. Análises de variância (ANOVA) das eficiências de absorção (EA), translocação (ET), utilização (EU), utilização da parte aérea (EUPA) e utilização das raízes (EUR) de potássio por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				
		EA	ET	EU	EUPA	EUR
Tratamento	5	4810,549*	0,009*	2,753*	0,861*	2,245*
Resíduo	18	345,258	0,002	0,221	0,081	0,087
CV %		49,97	6,52	87,81	77,63	124,85

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 16A. Análises de variância (ANOVA) das eficiências de absorção (EA), translocação (ET), utilização (EU), utilização da parte aérea (EUPA) e utilização das raízes (EUR) de cálcio por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				
		EA	ET	EU	EUPA	EUR
Tratamento	5	8392,228*	0,011*	0,895*	0,365*	0,445*
Resíduo	18	813,1	0,00080	0,040	0,015	0,117
CV %		54,36	5,97	63,45	61,84	85,11

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 17A. Análises de variância (ANOVA) das eficiências de absorção (EA), translocação (ET), utilização (EU), utilização da parte aérea (EUPA) e utilização das raízes (EUR) de magnésio por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				
		EA	ET	EU	EUPA	EUR
Tratamento	5	137,034*	0,014 *	51,057*	30,396*	28,193*
Resíduo	18	13,114	0,001	2,010	0,923	2,320
CV %		49,64	7,55	69,16	75,30	123,03

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 18A. Análises de variância (ANOVA) das eficiências de absorção (EA), translocação (ET), utilização (EU), utilização da parte aérea (EUPA) e utilização das raízes (EUR) de enxofre por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				
----	----	----------------	--	--	--	--

		EA	ET	EU	EU PA	EUR
Tratamento	5	17,480*	0,039*	238,151*	140,226*	16,566*
Resíduo	18	2,484	0,004	10,292	4,384	2,633
CV %		42,80	13,27	69,44	69,27	78,81

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 19A. Análises de variância (ANOVA) das eficiências de absorção (EA), translocação (ET), utilização (EU), utilização da parte aérea (EUPA) e utilização das raízes (EUR) de manganês por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				
		EA	ET	EU	EU PA	EUR
Tratamento	5	0,253*	0,030 <sup>NS</sup>	48965*	80959*	1729,661*
Resíduo	18	0,052	0,019	4157,0	2782	417,692
CV %		43,56	30,71	103,38	99,04	183,65

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. <sup>NS</sup> Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 20A. Análises de variância (ANOVA) das eficiências de absorção (EA), translocação (ET), utilização (EU), utilização da parte aérea (EUPA) e utilização das raízes (EUR) de ferro por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				
		EA	ET	EU	EU PA	EUR
Tratamento	5	0,374*	0,087*	13391,041*	92407,113*	48,096*
Resíduo	18	0,071	0,018	839,791	2725,5	5,9160
CV %		37,93	64,57	89,25	80,43	83,37

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 21A. Análises de variância (ANOVA) das eficiências de absorção (EA), translocação (ET), utilização (EU), utilização da parte aérea (EUPA) e utilização das raízes (EUR) de cobre por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				
		EA	ET	EU	EU PA	EUR
Tratamento	5	0,001*	0,069*	7562576*	228435520 <sup>NS</sup>	100635,337*
Resíduo	18	0,0002	0,010	655058	8872140	8314,8
CV %		48,91	83,86	81,93	110,30	129,83

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. <sup>NS</sup> Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 22A. Análises de variância (ANOVA) das eficiências de absorção (EA), translocação (ET), utilização (EU), utilização da parte aérea (EUPA) e utilização das

raízes (EUR) de zinco por seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio				
		EA	ET	EU	EU PA	EUR
Tratamento	5	0,007*	0,075*	1028584*	1175162*	32042*
Resíduo	18	0,001	0,008	68624	55386	4212,0
CV %		38,79	23,98	87,42	89,36	116,40

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 23A. Análises de variância (ANOVA) para os parâmetros cinéticos da absorção iônica de nitrogênio apresentados pelas seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio		
		Vmax	Km	$\alpha$
Tratamento	5	789,23*	0,017 <sup>NS</sup>	0,021 <sup>NS</sup>
Resíduo	13	207,87	0,009	0,011
CV %		102,21	65,84	90,25

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. <sup>NS</sup> Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. Vmax (obtida por meio da matéria seca de raízes), Km (constante de Michaelis-Menten) e  $\alpha$  ("poder de absorção", definido como a razão Vmax/Km).

TABELA 24A. Análises de variância (ANOVA) para os parâmetros cinéticos da absorção iônica de fósforo apresentados pelas seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio		
		Vmax	Km	$\alpha$
Tratamento	4	2,197*	0,000024 <sup>NS</sup>	0,00467*
Resíduo	14	0,666	0,000032	0,00092
CV %		79,10	27,19	69,00

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. <sup>NS</sup> Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. Vmax (obtida por meio da matéria seca de raízes), Km (constante de Michaelis-Menten) e  $\alpha$  ("poder de absorção", definido como a razão Vmax/Km).

TABELA 25A. Análises de variância (ANOVA) para os parâmetros cinéticos da absorção iônica de cálcio apresentados pelas seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio		
		Vmax	Km	$\alpha$
Tratamento	5	23,033 <sup>NS</sup>	0,0012 <sup>NS</sup>	0,0011 <sup>NS</sup>
Resíduo	5	15,005	0,0010	0,0005
CV %		121,26	35,51	78,93

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. <sup>NS</sup> Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. Vmax (obtida por meio da matéria seca de raízes), Km (constante de Michaelis-Menten) e  $\alpha$  ("poder de absorção", definido como a razão Vmax/Km).

TABELA 26A. Análises de variância (ANOVA) para os parâmetros cinéticos da absorção iônica de magnésio apresentados pelas seis espécies leguminosas nativas pertencentes a diferentes grupos sucessionais

FV	GL	Quadrado médio		
		Vmax	Km	$\alpha$
Tratamento	4	58,89*	0,00014 <sup>NS</sup>	0,0037*
Resíduo	10	5,12	0,00025	0,0005
CV %		83,80	11,76	85,00

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. <sup>NS</sup> Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. Vmax (obtida por meio da matéria seca de raízes), Km (constante de Michaelis-Menten) e  $\alpha$  (“poder de absorção”, definido como a razão Vmax/Km).