

## Eficiência nutricional de espécies arbóreas em função da fertilização fosfatada

Alexandre Gomes Fontes<sup>1</sup>, Antonio Carlos Gama-Rodrigues<sup>2</sup>, Emanuela Forestieri Gama-Rodrigues<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Itapina, BR 259, km 70, CEP 29709-910, Colatina, ES, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Laboratório de Solos, Av. Alberto Lamego 2000, CEP 28013-602, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

\*Autor correspondente:  
tonygama@uenf.br

**Termos para indexação:**  
Nutrição florestal  
Fertilização florestal  
Espécies nativas

**Index terms:**  
Forest nutrition  
Forest fertilization  
Native and exotic tree species

**Histórico do artigo:**  
Recebido em 04/05/2012  
Aprovado em 28/02/2013  
Publicado em 31/03/2013

doi: 10.4336/2013.pfb.33.73.392

**Resumo** - Estudos sobre fertilização e nutrição florestal de espécies nativas e exóticas fornecem subsídios para programas de manejo para recuperação de áreas degradadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de biomassa e a eficiência nutricional de plântulas das espécies arbóreas *Swietenia macrophylla* (mogno), *Mimosa caesalpiniaefolia* (sabiá), *Cedrela fissilis* (cedro-rosa) e *Toona ciliata* (cedro-australiano), em resposta à fertilização fosfatada em dois níveis de calagem. Constatou-se que as espécies responderam de maneira distinta à aplicação de P. O sabiá apresentou maior produção de matéria seca total e maior eficiência na utilização de P em solos com baixos teores deste elemento e foi mais responsivo à adição do fertilizante fosfatado. O mogno apresentou maior eficiência na translocação e na aquisição de P e maior relação parte aérea/raiz. As doses de P adicionadas para atingir 90% da máxima produção de matéria seca variaram de acordo com a espécie.

### Nutrient efficiency of tree species in response to phosphorus fertilization

**Abstract** - Studies on forest nutrition and fertilization of native and exotic tree species provide insights on management programs for rehabilitation of degraded lands. The aim of this study was to evaluate the response to phosphorus fertilization at two levels of liming on biomass production and phosphorus use efficiency of seedlings of the tree species *Swietenia macrophylla*, *Mimosa caesalpiniaefolia*, *Cedrela fissilis* and *Toona ciliata*. There were differences between the tree species in relation to phosphorus fertilization. *Mimosa caesalpiniaefolia* produced the highest total dry matter and the greatest P use efficiency in soils with low available P and it was more responsive to the fertilizer addition. *Swietenia macrophylla* showed better efficiency of P translocation and uptake and also better shoot/root relation than the other tree species. The tree species studied showed different performance in relation to phosphorus fertilization to reach 90% of the maximum dry matter production.

## Introdução

Na região norte fluminense existem poucos fragmentos do maciço florestal da Mata Atlântica, restando apenas 5% da cobertura original (Fundação Centro de Informação de Dados do Rio de Janeiro, 2000). Parte da área desmatada teve seu solo degradado pela atividade agropecuária, com uso frequente de fogo para renovação das pastagens e colheita da cana-de-açúcar (Gama-Rodrigues et al., 2008). Nestas áreas, o plantio de árvores constitui-se alternativa de recuperação e, também, de uso econômico. Todavia, grande parte do sucesso de programas de reflorestamento e/ou revegetação de áreas degradadas depende de um maior conhecimento sobre a silvicultura das diversas espécies florestais, nativas e exóticas, potenciais para estas finalidades. Desse modo, estudos sobre as exigências nutricionais e a magnitude de respostas de espécies florestais à fertilização do solo são urgentes e de extrema relevância (Siqueira et al., 1995; Barros et al., 2000; Furtini Neto et al., 2000).

Na utilização de espécies florestais nativas ou exóticas em plantios comerciais ou na recuperação de solos degradados, o maior problema encontrado tem sido a escassez de estudos envolvendo a aquisição de nutrientes e o requerimento nutricional destas espécies, bem como sua sensibilidade a distintas condições de estresse químico e físico (Furtini Neto et al., 1996; Franco et al., 1996). A eficiência em suprir, absorver, transportar e utilizar os nutrientes varia com o tipo de solo, o genótipo/cultivar das espécies e dos fatores ambientais. Esses processos envolvem relações na interface solo-planta-raiz e, também, dentro de raízes, caules e folhas (Baligar & Fageria, 1997).

As pesquisas científicas buscam estabelecer a relação entre a demanda nutricional relacionada ao grupo sucessional e uma maior taxa de crescimento

das espécies florestais. O crescimento e a utilização de nutrientes por espécies nativas, por outro lado, está relacionado ao estágio sucessional. As espécies pioneiras e secundárias, quando comparadas com as climax, são mais eficientes em absorver e utilizar o P (Resende et al., 1999). Segundo Silva et al. (1997), as elevadas respostas de algumas espécies à melhoria da fertilidade do solo podem ser devidas a uma maior taxa de crescimento, o que requer maior quantidade de nutrientes para atender à demanda nutricional. Este fato permite a expressão do potencial de produção de biomassa das espécies de crescimento inicial mais acentuado.

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a produção de biomassa e a eficiência de aquisição, translocação e utilização de P de quatro espécies arbóreas em resposta à fertilização fosfatada do solo, em dois níveis de calagem.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ, utilizando como substrato solo da camada sub-superficial na profundidade de 40-100 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa. As características químicas e físicas do solo foram determinadas de acordo com EMBRAPA (1997): pH (água); P, K, Fe, Mn, Zn e Cu extraíveis por Mehlich-1; B por BaCl<sub>2</sub> a quente; Al, Ca e Mg trocáveis por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; S por Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O em ácido acético; e C orgânico por oxidação via úmida com K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,4 mol L<sup>-1</sup> em meio ácido; acidez potencial (H + Al) por acetato de cálcio a pH 7,0; a granulometria pelo método da pipeta; e a umidade a 1/3 atm e 15 atm pelo extrator de Richards (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo na profundidade de 40-100 cm.

| pH                                     | P                          | K   | S     | Ca  | Mg         | Al  | H + Al    | T    | t                  | SB  | C           | V  | m  |
|--|----------------------------|-----|-------|---|------------|-----|-----------|------|--------------------|-----|-------------|----|----|
| H <sub>2</sub> O                       | ---mg dm <sup>-3</sup> --- |     |       | -----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |            |     |           |      | g dm <sup>-3</sup> |     | -----%----- |    |    |
| 4,6                                    | 2                          | 3   | 100   | 1,7   | 4,8        | 5,9 | 23,7      | 30,3 | 12,5               | 6,6 | 2,3         | 22 | 47 |
| Micronutrientes (mg dm <sup>-3</sup> ) |                            |     |       |   |            |     |           |      |                    |     |             |    |    |
| Fe                                     |                            | Cu  |       | Mn  |            | Zn  |           | B    |                    |     |             |    |    |
| 9,0                                    |                            | 0,2 |       | 0,4   |            | 0,8 |           | 0,42 |                    |     |             |    |    |
| AT                                     | Argila                     |     | Silte |   | Cc 1/3 atm |     | Pm 15 atm |      |                    |     |             |    |    |
| -----%-----                            |                            |     |       |   |            |     |           |      |                    |     |             |    |    |
| 310                                    | 560                        |     | 130   |   | 28,8       |     | 17,9      |      |                    |     |             |    |    |

AT = areia total. Cc = capacidade de campo; Pm = ponto de murcha; T = capacidade de troca de cátions total; t = capacidade de troca de cátions efetiva; SB = soma de bases; C = carbono; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio.

Após secagem e peneiramento, três dm<sup>3</sup> de solo foram acondicionados em vasos plásticos. Como corretivo da acidez do solo foi utilizado o carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>, p.a.) estabelecendo no solo uma relação Ca:Mg de 4:1 mmol<sub>c</sub> mmol<sub>c</sub><sup>-1</sup>. O fósforo (P) foi aplicado na forma de soluções de sais p.a. de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> e de NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. Uma adubação básica foi realizada no plantio: 100 mg dm<sup>-3</sup> de N ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), 100 mg dm<sup>-3</sup> de K (KCl e KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) e 33 mg dm<sup>-3</sup> de micronutrientes (fritas FTE-Top Blue – 1,9% B; 0,9% Cu; 10,1% Fe; 6,8% Mn e 20,5% Zn).

Foram avaliadas quatro espécies arbóreas em uma combinação de dois níveis de calagem (0,0 e 0,5 vezes a necessidade de calagem, 1NC: pH 4,6 e 2NC: pH 5,3, respectivamente) e cinco doses de fósforo (20, 100, 200, 300 e 400 mg dm<sup>-3</sup>). Os níveis de calagem foram determinados em ensaio prévio de incubação do solo com adição crescente de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>, p.a.). Os tratamentos foram distribuídos ao acaso, em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 2 x 4 (cinco doses de P, dois níveis de calagem e quatro espécies), com quatro repetições de uma planta cada (unidades experimentais, UE).

As espécies avaliadas e sua classificação ecológica, segundo Budowski (1965), foram: mogno (*Swietenia macrophylla* King), espécie clímax; cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell), espécie secundária; sábia (*Mimosa caesalpiniefolia* Benth), espécie pioneira e cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roem), espécie exótica pioneira. As plantas foram coletadas 150 dias após o transplantio, separadas em parte aérea e raiz, acondicionadas em sacos de papel e o material produzido foi seco em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C, até peso constante. Após a secagem, o material foi triturado em moinho (tipo Wiley) com peneira de 20 mesh para posterior análise química. Determinou-se o teor de P após digestão nitroperclórica, conforme descrito por Bataglia et al. (1983).

Os dados foram submetidos a uma análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5%, usando o programa estatístico SANEST. Foram ajustadas equações de regressão para produção de matéria seca total (MST), da parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR), relação parte aérea/raiz (PA/R), eficiência de aquisição de P (EAQP), eficiência de translocação de P (ETRP) e eficiência de utilização de P (EUTP) como variáveis dependentes das doses de P. As soluções de sais de P correspondentes a cada dose

do elemento foram adicionadas ao solo e devidamente homogeneizadas; o solo foi então incubado a 80% da capacidade de campo por um período de 30 dias. A partir da equação de regressão e dos teores de P disponíveis (que corresponderam a 25%, 31%, 41%, 42% e 43% das doses aplicadas), após a incubação do solo (Tabela 2), foram calculadas as doses de P, correspondentes a 90% da produção máxima de matéria seca de cada espécie (Alvarez, 1996).

Os índices de eficiência nutricional foram calculados mediante as expressões:

Eficiência de aquisição de P = P matéria seca total/P disponível no solo (mg mg<sup>-1</sup>);

Eficiência de translocação de P = P matéria seca parte aérea/P matéria seca total (mg mg<sup>-1</sup>);

Eficiência de utilização de P = matéria seca total<sup>2</sup>/P matéria seca total (g<sup>2</sup> mg<sup>-1</sup>) (Siddiqui & Glass, 1981; Silva et al., 1996).

**Tabela 2.** Teor de fósforo disponível no solo e recuperado pelo extrator Mehlich 1, após 30 dias de incubação.

| Doses aplicadas de P           | P Disponível |
|--------------------------------|--------------|
| -----mg dm <sup>-3</sup> ----- |              |
| 20                             | 5            |
| 100                            | 32           |
| 200                            | 81           |
| 300                            | 126          |
| 400                            | 173          |

## Resultados e discussão

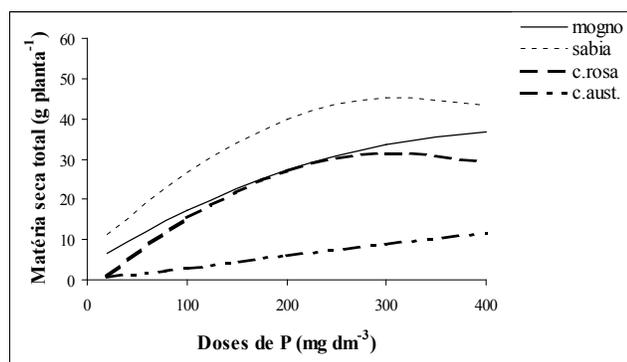
### Produção de biomassa

Matéria seca total da planta (MST):

Na produção de matéria seca total, o cedro-australiano apresentou comportamento linear em resposta à adição de P (CLRP), enquanto as demais espécies apresentaram uma resposta quadrática (Figura 1). Esta resposta linear do cedro-australiano indica que a fração do P que permaneceu disponível no solo para absorção da planta estava abaixo do suprimento ideal à expressão da máxima produção de matéria seca total. Os valores das interseções das regressões indicam que, em condições de baixa disponibilidade de P no solo o sabiá seria, das espécies avaliadas, a que poderia apresentar uma maior produção de MST nesta condição, e também a mais responsiva à

adição de P, considerando o coeficiente de inclinação da regressão superior às demais espécies (Figura 1). Por outro lado, o cedro-australiano foi a espécie que apresentou a menor resposta à adição de P. Respostas significativas à adição de P, na produção de MST do sabiá e do cedro-rosa, foram encontradas por Resende et al. (1999) e Renó et al. (1997), respectivamente. Entretanto, a magnitude de resposta para a produção de MST foi diferenciada, uma vez que a disponibilidade de P nos solos aumenta com a aplicação do elemento (Tabela 2).

Em função desses resultados, foram identificados quatro comportamentos diferentes das espécies quanto à produção de matéria seca total, em resposta à adição de P: 1) sabiá, espécie com maior produção de MST em solos com baixos teores de P e com maior resposta à adição de P; 2) mogno, espécie com produção intermediária de MST em solos com baixos teores de P e com resposta intermediária à aplicação de P; 3) cedro-rosa, espécie com baixa produção de MST em solos com baixos teores de P e com resposta intermediária à aplicação de P; 4) cedro-australiano, espécie com baixa produção de MST em solos com baixos teores de P e com menor resposta à aplicação de P (Figura 1).



**Figura 1.** Produção de matéria seca total (g planta<sup>-1</sup>) de quatro espécies arbóreas em resposta à aplicação de fósforo.

Em solos com baixos teores de P, o sabiá foi a espécie arbórea de maior produção média de MST, o mogno apresentou uma produção semelhante (88% do MST do sabiá), o cedro-rosa apresentou uma produção intermediária (34% do MST do sabiá), porém muito superior ao cedro-australiano, que apresentou uma produção de 4% do MST do sabiá (Tabela 3). Resultados similares foram obtidos por Resende et al. (1999) para o sabiá, que apresentou elevada capacidade de adaptação em solos com baixos teores de P (5 mg dm<sup>-3</sup>) em relação a outras espécies arbóreas.

**Tabela 3.** Produção de matéria seca total (MST) de espécies arbóreas em solos com baixos teores de P (5 mg dm<sup>-3</sup>)

| Espécies          | Matéria seca total (g planta <sup>-1</sup> ) | Produção (%) |
|-------------------|--|--------------|
| Sabiá             | 9,6  | 100          |
| Mogno             | 8,4  | 88           |
| Cedro-rosa        | 3,3  | 34           |
| Cedro-australiano | 0,4  | 4            |

Estes resultados sugerem que o sabiá, por ser uma espécie não responsiva à calagem (apresentou a mesma taxa de crescimento independente da aplicação do corretivo - dados não publicados) e de maior produção de MST aos diferentes níveis de P nos solos, seja aquela que apresentaria melhor desempenho nos programas de revegetação de áreas degradadas (Tabela 3 e Figura 1).

O mogno, espécie clímax, apresentou elevada magnitude de resposta à adubação fosfatada em relação às espécies cedro-rosa e cedro-australiano, sendo estas pertencentes aos grupos secundária e pioneira, respectivamente (Figura 1). Entretanto, resultados encontrados por Resende et al. (1999), com espécies arbóreas de diferentes grupos sucessionais, mostraram que as espécies clímax foram menos responsivas à adição de P.

As estimativas das doses de P (mg dm<sup>-3</sup>), correspondentes a 90% da produção máxima de MST, foram ajustadas pelas equações de regressão apresentadas na Figura 1. Os teores de P no tecido foliar obtidos com as espécies estudadas, à exceção do cedro-australiano (Tabela 4), estão dentro da faixa adequada para o eucalipto (espécie comercial de referência), que estaria entre 1,0 e 2,2 g P kg<sup>-1</sup> (Furtini Neto et al., 2000).

A dose de P adicionada ao solo para atingir 90% da produção máxima de MST do sabiá, obtida 150 dias após o transplântio (Tabela 4), diverge daquela encontrada por Resende et al. (1999), que foi de 369 mg de P dm<sup>-3</sup>, tendo o sabiá a idade de 90 dias e sendo cultivado em um Latossolo Vermelho Amarelo argiloso. Diante dos resultados para as espécies arbóreas do presente estudo (Tabela 4 e Figura 1), e para outras espécies avaliadas por Resende et al. (1999), pode-se inferir que o nível crítico do nutriente no solo que proporcione 90% da PM de MST varia com a idade da planta e a espécie avaliada. Outros estudos indicam que o nível crítico de P no solo também é influenciado pelo teor de umidade, textura e capacidade do solo em ceder nutrientes (Novais et al., 1986; Raij, 1991; Alvarez, 1996; Silveira & Gava, 2004). Desse modo,

como o nível crítico de P pode variar com as propriedades do solo e características da planta avaliada, haveria certa limitação da padronização da recomendação de adubação fosfatada baseada na análise de rotina de fertilidade do solo em programas de revegetação em sistemas mistos de produção florestal. Neste caso, para certa condição edáfica, seria recomendável a fertilização de P para grupos de espécies de alto requerimento do elemento, enquanto para aquelas menos responsivas à fertilização, a dose de P aplicada no plantio seria apenas para garantir o estabelecimento inicial das mudas no campo.

**Tabela 4.** Doses de fósforo aplicadas ao solo para obtenção de 90% da produção máxima (PM) de matéria seca total, teores de fósforo disponíveis no solo e teores de fósforo no tecido foliar.

| Espécies          | Doses aplicadas de P                | Teores de P no solo | Teores de P nas folhas  |
|-------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------|
|                   | -----mg de P dm <sup>-3</sup> ----- |                     | g de P kg <sup>-1</sup> |
| Mogno             | 290                                 | 122                 | 1,19                    |
| Sabiá             | 213                                 | 87                  | 1,48                    |
| Cedro-rosa        | 220                                 | 91                  | 1,91                    |
| Cedro-australiano | CLRP <sup>1</sup>                   | CLRP                | CLRP                    |

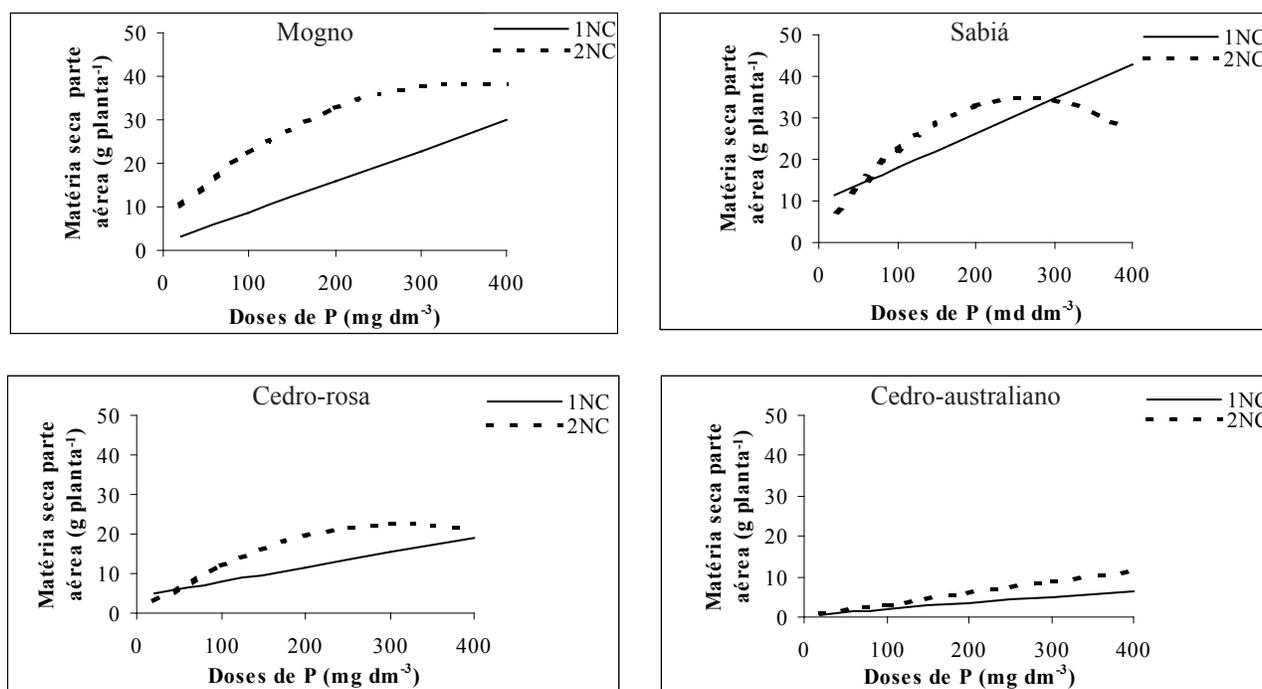
<sup>1</sup> CLRP = Comportamento linear de resposta à adição de P.

**Matéria seca da parte aérea (MSPA)**

Na Figura 2 é apresentada a interação espécie x P x NC, na qual as intersecções das regressões demonstraram que, na menor disponibilidade de P no solo na dose de 20 mg kg<sup>-1</sup>, as espécies mogno e cedro-australiano apresentaram as maiores produções de MSPA no nível 2NC; por outro lado, o sabiá e o cedro-rosa apresentaram maiores produções no nível 1NC. As maiores taxas de respostas de MSPA foram apresentadas pelo sabiá, mogno, cedro-rosa e cedro-australiano, sucessivamente. Estes resultados evidenciam que a eficiência da fertilização fosfatada foi afetada pela calagem e que a sua magnitude variou com a espécie arbórea.

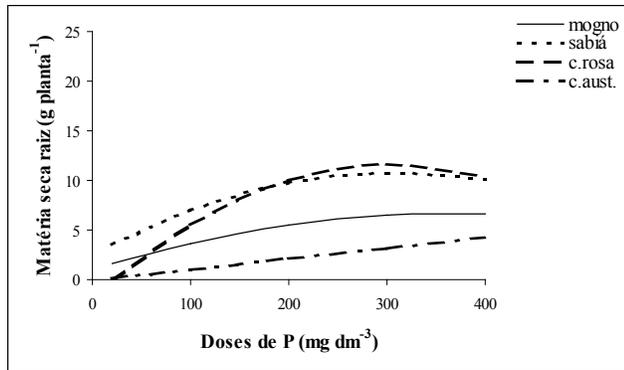
**Matéria seca de raiz (MSR)**

O sabiá e o mogno apresentaram a maior produção de MSR, em condições de baixa disponibilidade de P no solo (Figura 3). As espécies estudadas apresentaram comportamento diferenciado em relação à adição de P, uma vez que o cedro-rosa e o sabiá apresentaram uma maior resposta à fertilização fosfatada. Os resultados sugerem que o sabiá e o mogno possuem um flexível ajuste da taxa de crescimento de raízes a condições de baixa disponibilidade de P no solo, mas que apenas o sabiá apresentou alta sensibilidade à melhoria nos níveis



**Figura 2.** Produção de matéria seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) de quatro espécies arbóreas em resposta à aplicação de fósforo e dos níveis de calagem (NC).

de P no solo. Desse modo, em ambas as condições de baixa ou alta disponibilidade de P no solo, o sabiá seria a espécie de maior viabilidade de uso para recuperação de áreas degradadas. Em algumas espécies, o crescimento de raízes é favorecido em solos deficientes de P (Zonta et al., 2006), como uma estratégia para absorver o máximo do elemento presente no solo (Resende et al., 1999), visto que o P apresenta baixa mobilidade no solo.



**Figura 3.** Matéria seca da raiz (g planta<sup>-1</sup>) de quatro espécies arbóreas em resposta à adição de fósforo.

### Índices de Eficiência e Partição de Fotoassimilados

#### Eficiência de aquisição de P (EAQP)

As espécies arbóreas apresentaram um comportamento diferenciado em relação à EAQP. O mogno e o cedro-rosa tiveram o mesmo padrão negativo de resposta no nível 2NC e o cedro-rosa no nível 1NC; entretanto, para o cedro-australiano não houve efeito significativo da fertilização fosfatada na EAQP nos dois níveis de calagem (Figura 4). O sabiá apresentou nos dois níveis de calagem o mesmo ajuste linear de resposta à adição de P. Este padrão de resposta evidencia a eficiência desta espécie em absorver o P do solo, mesmo quando este se encontra com disponibilidade limitada (dose de 20 mg kg<sup>-1</sup>). Isto foi devido ao sabiá ter apresentado maior MSR nesta dose de P (Figura 3). Contudo, nas mais altas doses de P, esta eficiência diminuiu (Figura 4). Furtini Neto et al. (1999) relataram que o conteúdo de P de diversas espécies arbóreas nativas pioneiras e secundárias foi afetado positivamente pela calagem, ocorrendo o contrário nas espécies clímax.

O conteúdo de P na semente pode influenciar o comportamento das espécies em relação à EAQP, uma vez que a eficiência de aquisição considera o conteúdo de P na matéria seca total como o P adquirido do solo.

Portanto, espécies que apresentem maiores conteúdos de P nas sementes apresentariam maiores EAQP nos solos com baixa disponibilidade de P.

#### Eficiência de translocação de P (ETRP)

O mogno e o sabiá apresentaram um comportamento semelhante em relação à eficiência de translocação de P, tendo apresentando uma resposta linear positiva à adição de P (Figura 5). Isso demonstra que estas espécies podem não apresentar um mecanismo eficiente que regule o acúmulo de níveis tóxicos de P na parte aérea. Entretanto, o cedro-rosa apresentou resposta linear negativa, enquanto o cedro-australiano foi a única espécie que mostrou o efeito quadrático à adição de P. Este comportamento diferenciado sugere a presença de algum mecanismo de regulação de acúmulo de P na parte aérea do cedro-rosa e do cedro-australiano em relação ao mogno e ao sabiá (Figura 5). Espécies ou variedades da mesma espécie podem se diferenciar quanto à distribuição do P acumulado entre raiz e parte aérea em função do nível de P no solo (Araújo, 2000). Neste sentido, a translocação de P das raízes para a parte aérea constitui-se numa característica considerada favorável em genótipos de feijoeiro, por exemplo, eficientes na utilização de P (Araújo, 2000).

#### Relação parte aérea/raiz (PA/R)

Alterações na ETRP parecem exercer alguma influência na partição de fotoassimilados, pois a relação parte aérea/raiz das espécies estudadas apresentou um padrão de resposta semelhante àquele apresentado pela ETRP à adição de P, tendo o cedro-rosa e o cedro-australiano apresentado a mesma resposta negativa e, o mogno e o sabiá respostas positivas à adição de P para as duas variáveis (Figuras 5 e 6). Provavelmente, plantas com maior ETRP apresentem maiores relações de PA/R devido às diferenças entre as doses de P no solo ideais para as máximas produções de MSR e MSPA.

Este tipo de comportamento é mais evidente para o mogno que, devido à sua alta ETRP (Figura 5), parece não acumular P nas raízes a níveis tóxicos, pois o ajuste linear na produção de MSR indica que as doses máximas de P utilizadas neste experimento estavam aquém daquelas que poderiam vir a causar uma queda na produção MSR, devido ao excesso do nutriente (Figuras 2, 3, 5 e 6). O mogno e o sabiá foram mais responsivos à fertilização fosfatada, quanto à relação PA/R (Figura 6). Entretanto, um melhor ajuste quadrático de resposta pode indicar que,

nas doses mais elevadas de P, estas espécies começariam a apresentar uma menor produção de MSPA em relação à MSR. Este comportamento pode ser reflexo de um acúmulo excessivo de P na parte aérea devido a uma maior ETRP apresentada por essas espécies (Figuras 5 e 6).

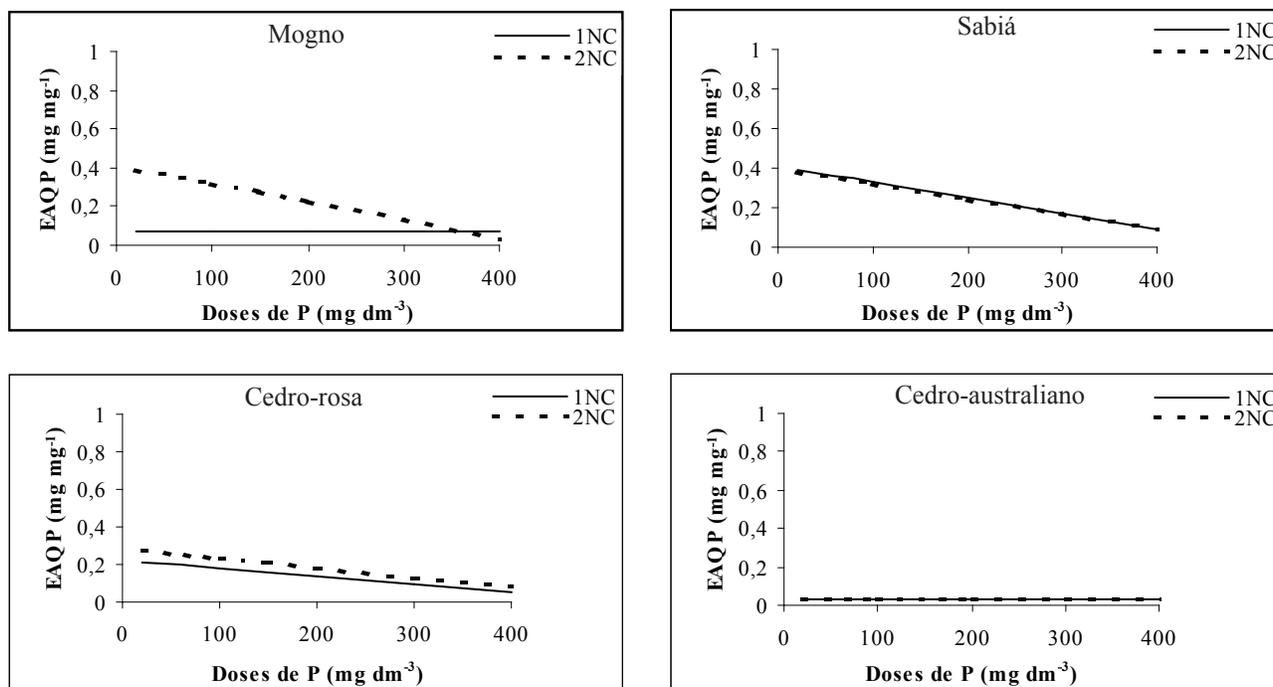
Em solos deficientes de P, ocorre maior proporção deste nutriente em formas orgânicas nas raízes, o que indica que a diminuição da relação PA/R seria consequência de menos P inorgânico (Pi) para o transporte para a parte aérea (Araújo & Machado, 2006), visto que o Pi é a principal forma de transporte de P no xilema. Entretanto, Resende et al. (1999) relataram para plântulas de sabiá, com idade de 90 dias, decréscimo linear da relação PA/R com a adição de doses crescentes de P no solo. Estes autores também mostraram que esse comportamento varia com a espécie arbórea dentro do grupo sucessional das pioneiras, mas para as espécies climax haveria maior aumento relativo da parte aérea em relação às raízes com o aumento da disponibilidade de P no solo.

#### Eficiência de utilização de P (EUTP)

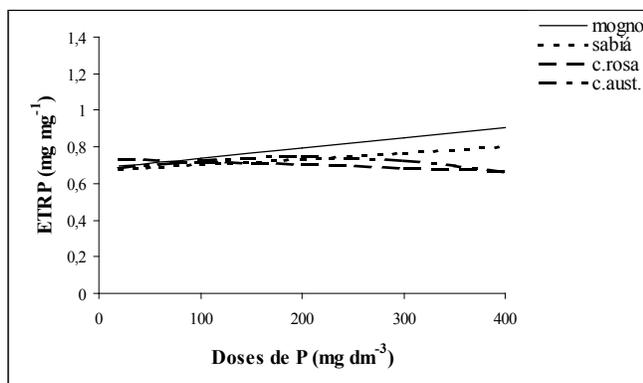
A eficiência de utilização de fósforo das espécies florestais variou significativamente em função dos

níveis de P no solo (Figura 7). O comportamento das espécies arbóreas, em relação à EUTP, foi semelhante, com exceção do cedro-australiano, pois apresentaram a mesma tendência quadrática de resposta ao fertilizante fosfatado. O sabiá e o mogno apresentaram a maior EUTP em todos os níveis de P utilizados neste estudo. As doses de P no solo para máxima EUTP foram inferiores àquelas observadas para máxima produção de matéria seca total. Estes resultados demonstraram que uma diminuição na produção de matéria seca total é precedida por uma diminuição da EUTP (Figuras 1 e 7). Entretanto, em trabalhos com eucalipto a dose para máxima produção de MST foi semelhante àquela para uma máxima EUTP (Furtini Neto et al., 1996).

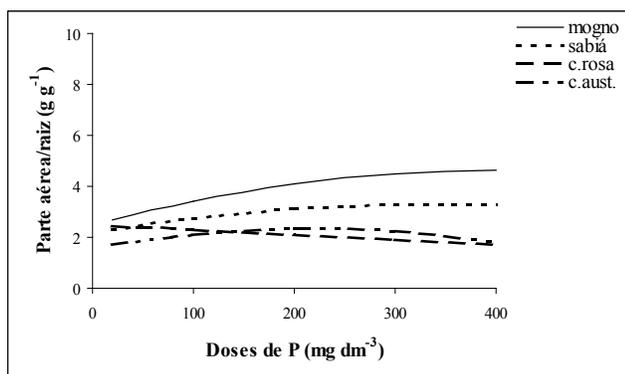
O uso desta variável como um indicador do estado nutricional das plantas possibilita prever, com certa antecedência, quedas irreversíveis nas produções de matéria seca total das espécies arbóreas avaliadas, devido às doses excessivas de P, à exceção do cedro-australiano, que apresentou comportamento linear para EUTP (Figura 7). Estes resultados demonstraram que a EUTP varia em função da espécie e dos teores de P disponível nos solos.



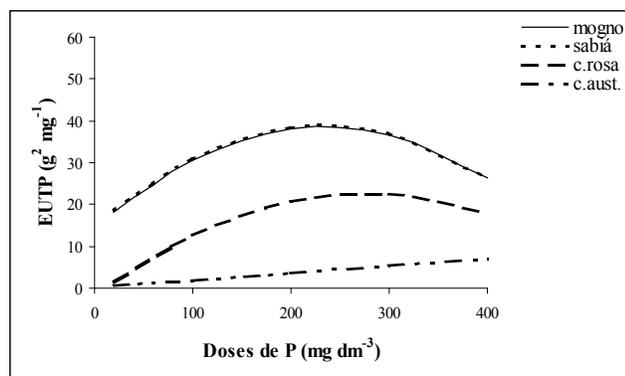
**Figura 4.** Eficiência de aquisição de P ( $\text{mg mg}^{-1}$ ) de quatro espécies florestais em resposta à aplicação de P em dois níveis de calagem (NC). EAQP = conteúdo de P na MST/P disponível no solo ( $\text{mg mg}^{-1}$ ).



**Figura 5.** Eficiência de translocação de P ( $\text{mg mg}^{-1}$ ) de quatro espécies arbóreas em resposta à adição de fósforo.  $\text{ETRP} = \text{conteúdo de P na MSPA}/\text{conteúdo de P na MST}$ .



**Figura 6.** Relação parte aérea/raiz ( $\text{g g}^{-1}$ ) de quatro espécies arbóreas em resposta à adição de P.



**Figura 7.** Eficiência de utilização de P ( $\text{g}^2 \text{mg}^{-1}$ ) de quatro espécies arbóreas em resposta à aplicação de fósforo.

## Conclusões

A resposta em crescimento e a eficiência nutricional das espécies arbóreas em relação à adubação fosfatada estiveram mais relacionadas com a taxa de crescimento do que com o grupo sucessional. Desse modo, a eficiência na aquisição ou na utilização de P pode ser usada como indicador de eficiência nutricional na distinção de espécies responsivas e no ajuste das doses adequadas de P para o crescimento das plantas.

## Referências

ARAÚJO, A. P. Eficiência vegetal de absorção e utilização de fósforo, com especial referência ao feijoeiro. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2000. p. 163-212.

ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p. 253-280.

ALVAREZ, V. H. Correlação e calibração dos métodos de análise de solos. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Ed). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: SBCS; UFV, 1996. p. 615-646.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K. Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency. In: MONIZ, A. C.; FURLANI, A. M. C.; SCHAFFERT, R. E.; FAGERIA, N. K.; ROSELEM, C. A.; CANTARELLA, H. (Ed). **Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production**. Campinas: Brazilian Soil Science Society, 1997. p. 75-95.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Nutrição e fertilização florestal: recomendação de fertilizantes minerais em plantio de eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 269-286.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; ALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).

BUDOWSKI, A. Distribution of tropical American rain forest species in the light succession progress. **Turrialba**, San Jose, v. 15, p. 40-42, 1965.

FRANCO, A. A.; CAMPELO, E. F. C.; DIAS, L. E.; FARIAS, S. M. **Uso de leguminosas associadas a microrganismos na revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas-PA**. Itaguaí: Embrapa Agrobiologia. 1996. 69 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 27).

FUNDAÇÃO CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO. **IQM Verde**: índice de qualidade dos municípios - verde. Rio de Janeiro, 2000. 80 p.

- FURTINI NETO, A. E.; BARROS, N. F.; GODOY, M. F.; NOVAIS, R. F. Eficiência nutricional de mudas de *Eucalyptus* em relação a fósforo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 20, n. 1, p. 17-28, 1996.
- FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; VALE, F. R.; SILVA, I. R. Liming effects on growth of native woody species from Brazilian savannah. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 5, p. 829-837, 1999.
- FURTINI NETO, A. E.; SIQUEIRA, J. O.; CURTI, N.; MOREIRA, F. M. S. Fertilização em reflorestamento com espécies nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 351-383.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 1521-1530, 2008.
- NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Interpretação de análise química do solo para crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp.: níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 10, p. 105-111, 1986.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343 p.
- RENÓ, N. B.; SIQUEIRA, J. O.; CURTI, N.; VALE, F. R. Limitações nutricionais ao crescimento inicial de quatro espécies arbóreas nativas em latossolo vermelho-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n.1, p.17-25, 1997.
- RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; MUNIZ, J. A.; CURTI, N.; FAQUIN, F. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 11, p. 2071-2081, 1999.
- SIDDIQUI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal Plant Nutrition**, v. 4, p. 289-302, 1981.
- SILVA, I. R.; FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; CURTI, N. Eficiência nutricional para potássio em espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 257-264, 1996.
- SILVA, I. R.; FURTINI NETO, A. E.; CURTI, N.; VALE, F. R. Crescimento inicial de quatorze espécies florestais nativas em resposta à adubação potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 2, p. 205-212, 1997.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; GAVA, J. L. Nutrição e adubação fosfatada em eucalipto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 495-536.
- SIQUEIRA, J. O.; VALE, F. R.; MARTINS, M. M.; MINJAS, A. N. **Aspectos de solos, nutrição vegetal e microbiologia na implantação de matas ciliares**. Belo Horizonte: CEMIG, 1995. 28 p.
- ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S. R.; ROSA, M. M. T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M. S. (Ed). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p. 7-52.

