

CALAGEM E ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Swietenia macrophylla*

Têres Antônio Fabrício da Silva¹, Carlos Alberto Franco Tucci², José Zilton Lopes Santos²,
Iza Maria Paiva Batista¹, José Furtado de Miranda¹, Moacir Muniz de Souza³

¹Lic. em Ciências Agrárias, M.Sc., UFAM, Manaus, AM, Brasil - teres180@yahoo.com.br; izajuba_paiva@yahoo.com.br;
jf_miranda10@yahoo.com.br

²Eng. Agrônomo, Dr., Depto. Engenharia Agrícola e Solos, UFAM, Manaus, AM, Brasil - ctucci@ufam.edu.br;
ziltonlopes@ufam.edu.br

³Eng. Florestal, M.Sc., UFAM, Manaus, AM, Brasil - munizflorestal@hotmail.com

Recebido para publicação: 16/09/2009 – Aceito para publicação: 15/09/2010

Resumo

Objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar a eficiência agrônômica de quatro fontes de fósforo, na presença e ausência de calagem, no crescimento inicial e nos teores de macronutrientes em mudas de mogno, cultivadas em vasos com Latossolo Amarelo Distrófico, textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4: dois níveis de calagem (ausência e presença) e quatro fontes de P (superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfato natural reativo Arad e termofosfato Yoorin), com quatro repetições. A absorção de macronutrientes e o crescimento das mudas de mogno foram pouco afetados, tanto pelas fontes de P quanto pelo fornecimento de calcário, indicando ser a espécie pouco sensível à acidez do solo e pouco exigente a esse nutriente nessa fase de cultivo. A maior eficiência tanto na absorção de nutrientes quanto para o crescimento da espécie mogno foi observada para o fosfato natural reativo Arad, sugerindo que a fonte de P com menor solubilidade em água pode ser agronomicamente mais eficiente em solos altamente intemperizados e com altos teores de argila. De modo geral, o comportamento das fontes de P foi pouco influenciado pelo pH do solo.

Palavras-chave: Correção do solo; mogno; adubação; espécies florestais nativas.

Abstract

Liming and fertilization phosphated for the production of Swietenia macrophylla seedlings. This study aimed to evaluate the agronomic efficiency of four P sources in the presence and absence of liming on the growth and nutrition of mahogany seedlings conducted in pots with very clayey dystrophic Yellow Latosol. It had been used a randomized-block designed in a 2 x 4 factorial scheme represented by: two levels of liming (absence and presence) and four P sources (simple superphosphate, triple superphosphate, Arad reactive rock phosphate and Magnesium thermophosphate) with four replications. The absorption of nutrients and growth of mahogany seedlings were little affected by both P sources and supply of limestone. It indicates that this specie presents low sensibility to soil acidity as well as little requirements of P as nutrient at this stage of cultivation. Higher efficiency in both nutrients uptake and mahogany seedlings growth was observed for the Arad phosphate rock. Results suggest that sources of P with low water solubility can be agronomically more effective in highly weathered soils as well as with high clay content. In general, the behavior of P sources was little affected by soil pH.

Keywords: Soil amendment; mahogany; fertilization; native forest species.

INTRODUÇÃO

Dentre as inúmeras espécies florestais nativas do Brasil exploradas em grande escala, encontra-se o mogno (*Swietenia macrophylla* King), que tem grande valor comercial em todo o mundo, seja pela beleza da madeira que produz, seja por suas características tecnológicas bastante apreciadas. No entanto, conhecimentos relativos ao manejo dessa espécie necessitam ser adquiridos, entre os quais aqueles relacionados à produção de mudas para fins de reflorestamento, principalmente devido a essa espécie ser ainda pouco estudada em relação ao manejo em plantações (CORDEIRO *et al.*, 2009). Essa preocupação

se deve ao fato de que um dos fatores de maior importância na implantação de qualquer cultura é a utilização de mudas de boa qualidade, pois essa qualidade se reflete diretamente na maior taxa de sobrevivência das mudas e na maior produção na fase jovem, assim como no maior potencial de produção na fase adulta. Entre os fatores que têm impedido a obtenção de mudas de qualidade, citam-se aqueles relacionados à ausência de um bom manejo quanto à nutrição mineral dessas mudas, fator que possivelmente contribuiu para a falta de estímulo em estabelecer plantios comerciais do mogno.

As práticas de manejo da fertilidade do solo, como o uso da calagem e a adubação fosfatada, são primordiais, pois elevam o rendimento das culturas, principalmente onde predominam solos extremamente ácidos e deficientes em fósforo (ERNANI *et al.*, 2000). Segundo Albuquerque *et al.* (2003), a aplicação de calcário eleva os teores de Ca e Mg, diminui ou elimina o Al trocável e aumenta as cargas negativas nesses solos, conseqüentemente aumentando a disponibilidade de nutrientes, entre os quais o P. No caso específico desse nutriente, a magnitude de recuperação e sua utilização pelas plantas são regidas por vários fatores, entre os quais estão a própria planta e o tipo de fosfato empregado (SOUSA *et al.*, 2003). Porém a solubilidade do fertilizante e a conseqüente disponibilidade de P são bastante influenciadas pelo pH do solo e pela composição da fonte, segundo Horowitz e Meurer (2004). As fontes de média a baixa solubilidade, como os fosfatos naturais, tem eficiência aumentada em solos ácidos. De modo geral, verifica-se que os fosfatos solúveis têm apresentado bons resultados para culturas anuais, embora possuam elevado custo, ao passo que os fosfatos naturais apresentam baixa solubilidade e menor eficiência agrônômica em curto prazo (GOEDERT; LOPES, 1987). Quanto aos fosfatos naturais, o seu comportamento na nutrição da planta sugere que ele poderia ser uma boa opção para as espécies florestais nativas que são de crescimento lento, o que contribuiria para um uso mais eficiente do P presente nessas fontes, que é liberado lentamente.

Apesar de essa espécie ser caracterizada como pertencente ao grupo ecológico clímax (LORENZI, 1998), apresenta um crescimento lento e baixo potencial de resposta ao fornecimento de nutrientes, podendo adaptar-se a solos pouco férteis, como aqueles presentes na Amazônia (CRAVO; SMYTH, 1992). Tucci *et al.* (2007) observaram resposta positiva à calagem e adubação com NPK nas características altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas e matéria seca (raiz, caule, folha e total) na fase de mudas do mogno (*Swietenia macrophylla*), mas essas respostas variam de acordo com a idade das plantas. Resultados semelhantes foram observados por Silva *et al.* (2007), que verificaram efeito positivo no diâmetro, matéria seca da parte aérea, matéria seca da raiz, matéria seca total e relação parte aérea/raiz de mudas de mogno em relação ao fornecimento da calagem. Souza (2007) avaliou o crescimento e o requerimento nutricional de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla*) em Latossolo Amarelo Distrófico, em função da presença e ausência de calagem e adição de macronutrientes, verificando que é necessária a correção conjunta da acidez e da fertilidade do solo para o cultivo dessa espécie quando cultivada na condição de solos ácidos e de baixa fertilidade natural, sendo o P, entre os nutrientes, o que mais limita o crescimento da planta.

Dessa forma, considerando que o grau de acidez do solo pode exercer forte influência sobre o comportamento das fontes fosfatadas em disponibilizar P para as culturas (NOVAIS; SMYTH, 1999), torna-se importante a condução de estudos que avaliem a interação dos fatores calagem e fontes de P, pois somente assim será possível a escolha, de forma mais racional, de fertilizantes fosfatados tanto para a implantação quanto para a manutenção de florestas nativas (FURTINI NETO *et al.*, 2000).

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes fontes de fósforo, na ausência e presença de calagem, sobre o crescimento e absorção de nutrientes em mudas de mogno. O trabalho se justifica pelo fato de que o P é, entre os nutrientes, o que mais limita o crescimento das plantas em solos tropicais, e o comportamento dos fertilizantes fosfatados é influenciado pelo grau de acidez do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação no Departamento de Engenharia Agrícola e Solos (DEAS) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), no período de agosto/2007 a agosto/2008, utilizando-se como substrato amostras da camada subsuperficial (20 a 40 cm de profundidade) de um Latossolo Amarelo, textura argilosa, segundo Embrapa (2006), coletado no setor sul da Universidade Federal do Amazonas, a 03°06'04" sul e 59°58'34" oeste, a uma altitude média de 268 m.

As análises químicas e físicas foram realizadas de acordo com a metodologia da Embrapa (1999) e estão expressas na tabela 1.

Tabela 1. Principais atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.

Table 1. Main chemical and physical attributes of soil used in the experiment, before treatments application.

| pH (H ₂ O) | Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | H+Al | P | K | MO |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------|---------------------|-----|------|--------------------|
| | cmol _c .kg ⁻¹ | | | mg.kg ⁻¹ | | | g.kg ⁻¹ |
| 4,5 | 0,8 | 0,4 | 0,2 | 4,3 | 2,0 | 14,0 | 9,0 |
| Areia | Silte | Argila | S | T | t | V | m |
| g.kg ⁻¹ | | cmol _c .kg ⁻¹ | | | % | | |
| 115,0 | 17,0 | 868,0 | 0,6 | 4,9 | 1,4 | 13,0 | 56,0 |

Al³⁺: alumínio trocável; Ca²⁺: cálcio trocável; Mg²⁺: magnésio trocável; H+Al: acidez potencial; P: fósforo disponível; K: potássio disponível; MO: teor de matéria orgânica; S: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; t: capacidade de troca de cátions efetiva; V: percentagem de saturação por bases; m: percentagem de saturação por alumínio.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), num fatorial completo 2 x 4 (ausência ou presença de calagem e quatro fontes de fósforo): superfosfato simples (SFS), superfosfato triplo (SFT), fosfato natural reativo Arad (FNRA) e termofosfato Yoorin (TY), e quatro repetições, num total de 32 parcelas experimentais, sendo cada parcela composta por duas plantas.

Em relação aos tratamentos que receberam calcário, o fornecimento do mesmo foi feito utilizando-se calcário dolomítico com PRNT 95%, em dosagem equivalente a 1 ton.ha⁻¹, segundo Silva *et al.* (2007). Em seguida, os tratamentos com e sem calcário foram incubados por 30 dias.

Após o período de incubação do calcário, em todas as parcelas, efetuou-se a aplicação dos tratamentos e uma adubação básica com macro e micronutrientes.

A quantidade aplicada de cada fonte de fósforo foi calculada com base no teor de P₂O₅ solúvel em H₂O para superfosfato simples (SFS) e superfosfato triplo (SFT), e ácido cítrico para fosfato natural reativo Arad (FNRA) e termofosfato Yoorin (TY), conforme a tabela 2, visando um fornecimento de 300 kg de P₂O₅.ha⁻¹, conforme recomendação adaptada de Tucci *et al.* (2002).

Tabela 2. Características químicas das fontes de fósforo utilizadas no experimento.

Table 2. Chemical characteristics of phosphorus sources used in the experiment.

| Características | SFS ⁽¹⁾ | SFT ⁽¹⁾ | FNRA ⁽¹⁾ | TY ⁽²⁾ |
|---|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| | % | | | |
| P ₂ O ₅ total | 20 | 46 | 33 | 17 |
| P ₂ O ₅ solúvel em H ₂ O | 18 | 41 | - | - |
| P ₂ O ₅ solúvel em ácido cítrico | 2 | 5 | 10 | 13 |
| Cálcio | 20 | 14 | 37 | 20 |
| Enxofre | 1,2 | 1 | 1 | 6 |
| Magnésio | - | - | - | 7 |
| Zinco | - | - | - | 0,55 |
| Molibdênio | - | - | - | 0,006 |
| Boro | - | - | - | 0,1 |
| Cobre | - | - | - | 0,05 |
| Manganês | - | - | - | 0,12 |

SFS: superfosfato simples; SFT: superfosfato triplo; FNRA: fosfato natural reativo Arad; TY: termofosfato Yoorin. Produtos comerciais: Fertilizantes Ouro Verde⁽¹⁾ e Fertilizantes Mitsui S.A. Indústria e Comércio⁽²⁾.

A adubação básica foi composta por 100 e 300 kg.ha⁻¹ de N e K₂O, respectivamente, utilizando-se como fontes a ureia e o cloreto de potássio. No caso do N, 50% da dose foi aplicada no momento e o restante aplicado 30 dias após o transplante, na forma de solução. Quanto aos micronutrientes, foi utilizado um produto comercial denominado MIB 3, cujas especificações encontram-se na tabela 3, adicionando-se a dose equivalente a 50 kg.ha⁻¹, de acordo com Silva *et al.* (2007). As composições químicas e quantidades dos micronutrientes aplicadas em cada unidade experimental encontram-se na

tabela 3. Os adubos (adubação básica) foram misturados ao substrato de uma só vez, com o auxílio de uma betoneira, e em seguida transferidos para citropotes com capacidade para 3 kg.

Após o transplântio das mudas, realizaram-se adubações de manutenção com micronutrientes em forma de solução. Foram aplicados 3 mL de Chelamix/L de água destilada, sendo aplicados 50 mL de solução/vaso a cada 15 dias após a repicagem, num total de 6 aplicações em todos os ensaios, de acordo com Santos (2008). Durante a condução do ensaio, as plantas foram regadas diariamente e a umidade foi controlada por pesagem dos citropotes, sendo o teor mantido aproximadamente à capacidade de campo para Latossolos, que é de cerca de 30% do peso do solo seco, conforme sugerido por Tucci (1996).

As mudas foram obtidas via sementes, sendo que as sementes de mogno foram beneficiadas manualmente e colocadas imersas em água por um período de 12 horas. Após esse período foram tratadas com o produto comercial benlat a 0,02%, ficando imersas por 5 minutos. Posteriormente, as sementes foram recolhidas, colocadas em papel-filtro para retirar o excesso do produto e colocadas para germinar em sementeira contendo areia lavada. Ao atingirem de 13 a 15 cm de altura, foram selecionadas quanto à uniformidade e transplantadas para os citropotes.

Tabela 3. Composição química das fontes de micronutrientes MIB 3 e dose aplicada para a formação de mudas de mogno.

Table 3. Chemical composition of MIB 3 micronutrients sources and doses applied to mahogany seedlings.

| Micronutrientes | MIB 3 | Quantidade aplicada | Chelamix | Quantidade aplicada |
|-----------------|-------|---------------------|----------|---------------------|
| | % | mg/ue | % | mg/ue |
| Boro (B) | 1,8 | 0,45 | 0,5 | 0,45 |
| Cobre (Cu) | 0,8 | 0,2 | 0,2 | 0,18 |
| Ferro (Fe) | 3 | 0,75 | 0,3 | 0,27 |
| Manganês (Mn) | 2 | 0,5 | 0,2 | 0,18 |
| Molibdênio (Mo) | 0,1 | 0,025 | 0,5 | 0,45 |
| Zinco (Zn) | 9 | 2,25 | 2,4 | 2,16 |

mg/ue: miligramas por unidade experimental.

Aos 90 dias após o transplântio, foram avaliados a altura das plantas e o diâmetro do colo. Nessa mesma época, as plantas foram colhidas e o material vegetal (raízes e parte aérea) foi posto para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante, para determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA), raízes (MSR) e matéria seca total (MST), além da relação parte aérea/raiz (PA/R), nos diversos tratamentos. O material da parte aérea e raízes foi moído e submetido à análise química, conforme Malavolta *et al.* (1997), para determinação dos teores de macronutrientes. Com base nos teores dos elementos avaliados e na produção de matéria seca total, foi calculado o acúmulo dos macronutrientes na matéria seca total.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e testes de médias (Tukey 5%), para avaliar a diferença entre tratamentos, utilizando o programa Sistema de Análise Estatística e Genética (SAEG) versão 9.1 (SAEG, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Absorção de macronutrientes pelo mogno

Ocorreu interação significativa entre as fontes de fósforo e calagem para os conteúdos de Mg e S na matéria seca total das mudas de mogno (Tabela 4).

O termofosfato Yoorin proporcionou uma maior absorção de Mg em relação às demais fontes de P na ausência de calagem. No entanto, quando o corretivo foi fornecido, houve uma tendência de comportamento semelhante entre as fontes de P. Tal comportamento possivelmente se deve ao potencial que o termofosfato Yoorin tem de alterar o pH do solo. Dessa forma, na ausência de calagem, essa fonte promoveria uma elevação do pH e conseqüentemente uma maior disponibilidade de Mg. Além disso, o termofosfato Yoorin apresenta maior presença de Mg em relação às outras fontes (Tabela 2).

Quanto à absorção do Mg na ausência ou presença de calagem, nota-se que, de maneira geral, o fornecimento do corretivo contribuiu para uma maior absorção do Mg, exceto para a fonte termofosfato

Yoorin, que não apresentou diferença significativa entre a ausência ou presença de calagem (Tabela 4). Isso, possivelmente, se deu em função da reação básica que essa fonte apresenta, contribuindo assim para uma elevação do pH, proporcionando conseqüentemente uma maior absorção do Mg mesmo na ausência de calagem, além da própria constituição da fonte, que apresenta um teor de Mg maior em relação às demais fontes (Tabela 4).

Tabela 4. Conteúdos de Mg e S na matéria seca total das mudas de mogno em função da aplicação de diferentes fontes de P, na ausência ou presença de calagem, em condição de casa de vegetação aos 90 dias após transplantio.

Table 4. Total dry matter Mg and S contents of mahogany seedlings in response to different phosphorus sources in absence or presence after 90 days in greenhouse condition.

| Fontes de fósforo | Ausência de calagem | Presença de calagem |
|------------------------------|---------------------|---------------------|
| | Mg (g/planta) | |
| Superfostato simples | 0,27 Bb | 0,37 Ba |
| Superfostato triplo | 0,34 Bb | 0,49 ABa |
| Fosfato natural reativo Arad | 0,36 Bb | 0,51 ABa |
| Termofosfato Yoorin | 0,60 Aa | 0,59 ABa |
| | S (g/planta) | |
| Superfostato simples | 0,22 Aa | 0,20 Aa |
| Superfostato triplo | 0,24 Ab | 0,28 Aa |
| Fosfato natural reativo Arad | 0,23 Aa | 0,22 Aa |
| Termofosfato Yoorin | 0,24 Aa | 0,21 Aa |

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas ou minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Dessa forma, esses resultados sugerem que, na escolha da fonte fosfatada, a constituição química do fertilizante também deve ser observada, pois, no caso do Yoorin, devem ser considerados também os efeitos nutricionais e corretivos dos silicatos de Ca e Mg presentes nesses materiais, que auxiliam no incremento da massa da matéria seca, como é o caso dos termofosfatos (CASTRO, 1991).

Em relação ao enxofre (S), observa-se que a sua absorção foi afetada pela interação dos fatores fontes de P e calagem (Tabela 4). No entanto, a calagem afetou a absorção apenas quando foi fornecido o superfostato triplo. Nota-se que o superfostato triplo tem pequena porcentagem de S (Tabela 2).

Quanto ao comportamento das fontes, verifica-se que elas não se diferenciaram entre si, tanto na ausência quanto na presença de calagem (Tabela 4). Tal comportamento pode ser em função da baixa exigência da espécie em S, uma vez que, sendo o termofosfato Yoorin a fonte que tem a maior porcentagem de S em sua composição (Tabela 2), ele poderia ter assim influenciado a absorção e o acúmulo do S. Ribeiro (2008), estudando o efeito da omissão de S, combinado ou não à calagem, sobre o desenvolvimento da espécie cedro, verificou ausência de limitação de crescimento em altura, diâmetro, matéria seca da parte aérea, raiz e total, demonstrando, assim, que essa espécie possivelmente apresenta uma baixa exigência por esse nutriente. Observa-se que esse resultado foi encontrado para uma espécie considerada secundária, o que a colocaria com maior potencial de resposta ao S quando comparada ao mogno, que é uma espécie clímax. No entanto, tal premissa não foi confirmada.

Quanto aos conteúdos de fósforo (P) e cálcio (Ca), não houve interação significativa entre os fatores fontes de P e calagem, havendo apenas efeitos isolados dos mesmos (Tabela 5).

Em relação às fontes de fósforo, observa-se na tabela 5 que o maior conteúdo de P foi proporcionado pela fonte fosfato natural reativo Arad. A explicação pode ser o aumento do teor de P disponível no substrato em função da aplicação da fonte fosfato natural reativo Arad, comportamento observado 30 dias após a aplicação dos tratamentos antes do transplantio das mudas (dados não apresentados). No entanto, essa fonte apresenta uma menor concentração de P solúvel em relação às demais fontes, o que possivelmente pode ter contribuído para uma menor adsorção desse nutriente ao solo, em função de liberação mais lenta dessa fonte, o que conseqüentemente pode ter proporcionado uma maior eficiência de absorção desse nutriente.

Além disso, esse resultado deve estar associado às características peculiares de solubilidade e à dinâmica de liberação de P do fosfato natural reativo Arad. Os fosfatos reativos caracterizam-se por

apresentarem solubilidade intermediária entre os fosfatos acidulados e os fosfatos naturais brasileiros, o que lhes confere capacidade de liberação gradual do P no solo. Essa liberação ocorre por meio de processos semelhantes àqueles que controlam a solubilização dos fosfatos naturais brasileiros, porém de forma mais intensa (NOVAIS; SMYTH, 1999; HOROWITZ; MEURER, 2004).

Tabela 5. Conteúdos de P e Ca na matéria seca total das mudas de mogno em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, na condição de casa de vegetação aos 90 dias após transplântio.

Table 5. Total dry matter P and Ca contents of mahogany seedlings in response to different phosphorus sources, in absence or presence of liming, after 90 days in greenhouse condition.

| Fontes de fósforo | P | Ca |
|------------------------------|------------|---------|
| | (g/planta) | |
| Superfostato simples | 0,22 b | 2,64 b |
| Superfostato triplo | 0,17 b | 2,49 b |
| Fosfato natural reativo Arad | 0,34 a | 3,73 a |
| Termofostato Yoorin | 0,18 b | 3,12 ab |

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resende *et al.* (2006) observaram que o uso de fontes com solubilidade variável e em distintos modos de aplicação proporcionou incrementos semelhantes na produção acumulada de três cultivos sucessivos de milho. Contudo, quando usado de forma parcelada, o fosfato natural reativo Arad tendeu a proporcionar produtividade superior à do superfostato triplo e do termofostato. Apesar de não estarmos discutindo produtividade e sim conteúdos em espécies florestais e não em culturas anuais, como o milho, esse trabalho mostra que, quando se aplica um fertilizante, pretende-se que ele consiga estabelecer uma concentração adequada de nutrientes na solução do solo. Já nas primeiras observações relacionadas com nutrição mineral de plantas, constatou-se que os fertilizantes solúveis em água eram mais eficientes. Mas há que se considerar, que a fácil dissolução deixa os nutrientes sujeitos a perdas e insolubilização, principalmente em relação ao fósforo (ALCARDE, 2007).

Em relação aos conteúdos de cálcio, observa-se que os maiores valores foram verificados para o fosfato natural reativo Arad, juntamente com o termofostato Yoorin. Esses resultados apresentam uma estreita relação com aqueles teores de cálcio observados para o fosfato natural reativo Arad, no substrato, 30 dias após a incubação dos tratamentos e antes do transplântio das mudas (dados não apresentados), juntamente com o alto teor de cálcio em sua composição (Tabela 2), o que poderia justificar tal comportamento.

Crescimento das plantas de mogno

De modo geral, o fornecimento de diferentes fontes de P, tanto na presença como na ausência de calagem, não proporcionou ganhos significativos em nenhuma das variáveis avaliadas (diâmetro, MSPA e MSR), exceto as variáveis altura e PA/R (Tabelas 6 e 7), resultados que evidenciam uma baixa responsividade dessa espécie à adubação fosfatada e também à correção do solo, na fase de muda. Hipótese que pode ser ratificada pela ausência de diferença significativa das características MSPA e diâmetro do colo, duas variáveis bastante representativas na expressão de resposta ao fornecimento de um fator limitante ao desenvolvimento das plantas. Segundo Souza *et al.* (2006), é importante destacar que o diâmetro do colo é de fundamental importância na avaliação do potencial da muda para sobrevivência e crescimento após o plantio. De forma semelhante, a produção de matéria seca tem sido considerada um dos melhores parâmetros para caracterizar a qualidade de mudas (BERNARDINO, 2005).

Wallau *et al.* (2008), avaliando sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mogno em solução nutritiva, verificaram que na omissão de P obteve-se uma pequena redução no crescimento. Ressalte-se ainda que, nesta condição, não foram observados sintomas característicos de deficiência desse nutriente, o que confirma uma possível formação de um estoque e a utilização eficiente do mesmo pelas plantas. Relatos de ausência de resposta de algumas espécies florestais, tais como eucalipto (MAFFEIS *et al.*, 2000) e castanheira-do-brasil (CAMARGOS *et al.*, 2002), ao fornecimento de P em solução nutritiva tem sido comum. Santos *et al.* (2008), avaliando o desenvolvimento de espécies florestais de diferentes

grupos sucessionais em função da adição de doses crescentes de P, verificaram que as espécies climácicas guanandi e óleo-bálsamo praticamente não tiveram alteração do crescimento em função do aumento da dose de P, apesar de o P ser considerado um nutriente extremamente limitante ao crescimento inicial e estabelecimento da maioria das espécies cultivadas, principalmente para aquelas com sistema radicular pouco desenvolvido. No caso das espécies florestais nativas de crescimento lento, uma proposta que parece condizente com as informações até aqui obtidas é a de que essas plantas apresentam baixa eficiência de utilização, sendo também menos responsivas ao fornecimento de nutrientes, entre os quais o P.

Em relação à variável altura, verifica-se que, apesar de não haver diferença estatística entre as fontes de P, o fosfato natural reativo Arad tendeu a ser melhor em relação às demais fontes de P na condição de presença de calagem (Tabela 6). Possivelmente esse comportamento se dê em função da baixa exigência da espécie a P nessa fase de muda. As espécies florestais clímax, como, por exemplo, o mogno, mostram um crescimento pouco influenciado pelo nível de fertilidade do solo, o que poderia ser indicativo de uma maior adaptação a solos pouco férteis (MARSCHNER, 1991; LAMBERS; POORTER, 1992; SIQUEIRA *et al.*, 1995). As espécies clímax, de acordo com alguns autores, podem também possuir um rígido ajuste da taxa de crescimento às condições de baixa disponibilidade de nutrientes como o Ca, Mg, K e P, o que restringiria sua resposta à melhoria nos níveis de fertilidade do solo (SILVA *et al.*, 1997; FURTINI NETO *et al.*, 1999). No entanto, quando o corretivo não foi fornecido, houve semelhança de comportamento entre as fontes de P (Tabela 6). Tal comportamento possivelmente se deve ao potencial que o fosfato natural reativo Arad teve em elevar o teor de fósforo na condição de ausência de calagem (dados não apresentados). Além disso, o fosfato natural reativo Arad apresenta maior presença de Ca em relação às outras fontes (Tabela 2). Entretanto, nota-se que, mesmo havendo alto P disponível no fosfato natural reativo Arad, a absorção não se diferenciou entre as fontes, indicando que pode ter havido uma superestimulação do P disponível pelo extrator Mehlich-1, pois, para esse intervalo de tempo de condução do experimento, e ainda na presença de calagem, esse resultado não era esperado.

Para que o uso do fosfato natural reativo Arad seja comprovado como uma fonte de P eficiente no processo de formação de mudas, não só para a redução da acidez do solo, mas também como fonte de nutrientes indispensáveis ao crescimento inicial das plantas, especialmente quando se utilizam, como substrato para produção de mudas, solos ácidos e pobres em nutrientes, é imprescindível que essa fonte seja mais estudada, para se emitir uma possível conclusão, pois a literatura não permite tal dedução.

Segundo Fernandez *et al.* (1996), para mudas da espécie florestal *Mimosa tenuifolia*, foi observado resposta ao P em função das doses de calcário, indicando que houve efeito da interação calcário e fósforo. Resultados semelhantes foram observados por Oliveira *et al.* (1997), que verificaram que a adubação fosfatada influencia na produção de matéria seca e altura das plantas de mudas de angelim-pedra. Porém, para a espécie mogno esse comportamento só ficou claro para a fonte fosfato natural reativo Arad, sugerindo que o comportamento, quanto ao fornecimento de P e calcário, é também influenciado pela espécie.

Tabela 6. Altura das mudas de mogno (cm) em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, na ausência ou presença de calagem e na condição de casa de vegetação, aos 90 dias após transplantio.

Table 6. Height of mahogany seedlings (cm) in response to different phosphorus sources, in absence or presence of liming, after 90 days in greenhouse condition.

| Fontes de fósforo | Ausência de calagem | Presença de calagem |
|------------------------------|---------------------|---------------------|
| Superfostato simples | 22,09 Aa | 20,65 Bb |
| Superfostato triplo | 22,66 Aa | 22,78 ABa |
| Fosfato natural reativo Arad | 23,79 Ab | 25,37 ABa |
| Termofosfato Yoorin | 23,84 Aa | 22,54 ABb |

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas ou minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao comportamento da calagem, observa-se que, de maneira geral, o fornecimento do corretivo não afetou o crescimento da planta ou foi ligeiramente inferior à condição que não recebeu o corretivo. Apenas para a fonte fosfato natural reativo Arad é que a calagem proporcionou um maior crescimento das mudas (Tabela 6). Esses resultados confirmam que, provavelmente, essa espécie, na fase

de muda, é pouco exigente quanto ao pH do solo, pois mesmo nas condições que favorecem um uso mais eficiente do nutriente (ausência de acidez) o crescimento não foi alterado.

Mann *et al.* (1996) encontraram que a calagem favorece o crescimento de espécies florestais como *Senna spectabilis*, *Schinus molle*, *Cassia javanica*, *Joannesia princeps*, *Tabebuia chrysotricha* e *Sapindus saponaria*, muito embora os autores ressaltem que existam espécies bastante tolerantes à acidez, não apresentando respostas pronunciadas à calagem, como é o caso da *Acacia auriculiformis* e jacarandá-branco.

Quanto à característica relação parte aérea/raiz (PA/R), esta não apresentou interação significativa entre os fatores fontes de fósforo e calagem, havendo apenas efeito isolado (Tabela 7). Esse resultado pode estar relacionado ao fato de algumas espécies florestais nativas apresentarem grande variabilidade de comportamento em relação à acidez do solo, saturação por bases e por Al (FURTINI NETO *et al.*, 1999). Esse comportamento é um fator importante a ser considerado em reflorestamentos com espécies nativas, prevendo uso mínimo de corretivos em solos muito ácidos para algumas espécies (FURTINI NETO *et al.*, 2000), sendo importante do ponto de vista de sobrevivência de mudas no campo, a qual é favorecida pelo equilíbrio, ou seja, por relações mais estreitas entre a parte aérea e a raiz.

Tabela 7. Relação parte aérea/raiz (PA/R) das mudas de mogno em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo e na condição de casa de vegetação, aos 90 dias após transplântio.

Table 7. Shoot/root ratio of mahogany seedlings, in response to different phosphorus sources, after 90 days in greenhouse condition.

| Fontes de fósforo | PA/R |
|------------------------------|---------|
| Superfostato simples | 1,96 b |
| Superfostato triplo | 2,17 ab |
| Fosfato natural reativo Arad | 2,02 ab |
| Termofostato Yoorin | 2,33 a |

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. $MSPA \pm MSR = PA/R$.

Em relação às fontes de fósforo, os maiores valores da relação PA/R foram observados para o termofostato Yoorin, seguido do superfostato triplo e do fosfato natural reativo Arad (Tabela 7). No caso do termofostato Yoorin, uma provável explicação deve ser o fato de essa fonte ser mais concentrada em Mg e S quando comparada com as demais fontes, hipótese respaldada pelo fato de que, no momento de transplântio das mudas, os tratamentos que receberam a fonte termofostato apresentavam uma maior concentração, principalmente, de magnésio. No entanto, deve ser levado em conta que, apesar de haver tendência de alguns tratamentos serem melhores que outros, os ganhos obtidos foram pequenos ou inexpressivos, sugerindo que, nessa fase que foi avaliada, a espécie parece pouco responsiva ao fornecimento de P.

Os termofostatos são fertilizantes silicatados, o que pode ser uma vantagem em solos tropicais. Os silicatos, por competirem com os sítios de adsorção de fósforo, contribuem para a manutenção do P em sua forma lábil (BÜLL *et al.*, 1997), podendo fornecer maior quantidade de P disponível para plantas em condições adversas ao uso de fertilizantes solúveis em água. Assim, essa fonte poderia contribuir para um menor crescimento de raízes, quando comparada às fontes de baixa liberação de P, pois onde há mais P disponível as raízes tendem a crescer menos, proporcionalmente a ambientes pobres em P. Fato que possivelmente justifica os menores valores de PA/R observados, principalmente para a fonte superfostato simples. Contudo, outros fatores também devem ser observados para a escolha da fonte fosfatada a ser utilizada, como, por exemplo, a constituição química dos fertilizantes, pois, segundo Castro (1991), o aumento de matéria seca não pode ser atribuído apenas à disponibilidade de P nesses produtos, devendo ser considerados também os efeitos nutricionais e corretivos dos silicatos de Ca e Mg presentes nesses materiais que auxiliam no incremento da massa da matéria seca, como é o caso dos termofostatos.

CONCLUSÕES

- A absorção de macronutrientes e o crescimento das mudas de mogno foram pouco afetados, tanto pelas fontes de P quanto pelo fornecimento de calcário, indicando ser a espécie pouco sensível à acidez do solo e pouco exigente a esse nutriente nessa fase de cultivo.

- A maior eficiência, tanto na absorção de nutrientes quanto para o crescimento da espécie mogno, foi observada para o fosfato natural reativo Arad. Sugerindo que a fonte de P com menor solubilidade em água pode ser agronomicamente mais eficiente em solos altamente intemperizados e com altos teores de argila.
- De modo geral, o comportamento das fontes de P foi pouco influenciado pelo pH do solo.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 799 - 806, 2003.

ALCARDE, J. C. Fertilizantes. In: NOVAIS *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 737 - 768.

BERNARDINO, D. C. S.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; MARQUES, V. B. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do substrato. **Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 863 - 870, 2005.

BÜLL, L. T.; LACERDA, S.; NAKAGAWA, J. Termofosfato: alterações em propriedades químicas em um Latossolo Vermelho Escuro e eficiência agrônômica. **Bragantia**, v. 56, n. 1, p. 79 - 169, 1997.

CAMARGOS, S. L.; MURAOKA, T.; FERNANDES, S. A. P.; SALVADOR, J. O. Diagnose nutricional em mudas de castanheira-do-brasil. **Agricultura Tropical**, Cuiabá, v. 6, n. 1, p. 81 - 96, 2002.

CASTRO, C. **Avaliação agrônômica de termofosfatos magnesianos fundidos, produzidos a partir de minérios oriundos de Maicuru, PA**. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1991.

CORDEIRO, Y. E. M.; PINHEIRO, H. A.; SANTOS FILHO, B. G.; CORRÊA, S. S.; SILVA, J. R. R.; DIAS FILHO, M. B. Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 1449 - 1455, 2009.

CRAVO, M. S.; SMITH, T. J. **Manejo sustentado da fertilidade de um Latossolo da Amazônia Central sob cultivos sucessivos**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. Anais da... Piracicaba, 1992. p. 608 - 616.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília. 1999. 370 p.

_____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; CAMPOS, M. L.; CAMILLO, R. J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 537 - 544, 2000.

FERNANDEZ, J. Q. P.; RUIVO, M. L. P.; DIAS, L. E.; COSTA, J. P. V.; DIAZ, R. R. Crescimento de *Mimosa tenuiflora* submetidas a diferentes níveis de calagem e doses de fósforo, potássio e enxofre. **Árvore**, v. 20, n. 4, p. 425 - 431, 1996.

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

FURTINI NETO, A. E.; SIQUEIRA, J. O.; CURTI, N.; MOREIRA, F. M. S. Fertilização em reflorestamento com espécies florestais nativas. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (Ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 351 - 383.

- GOEDERT, W. J.; LOPES, A. S. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento. In: SEMINÁRIO SOBRE RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO, 1987, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRAFOS, 1987. p. 24 - 49.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 665 - 682.
- LAMBERS, H.; POORTER, H. Inherent variations in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. **Advances in Ecological Research**, London, v. 23, p. 188 - 261, 1992.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, v. 1, 1998. 352 p.
- 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, v. 57, p. 87 - 98, 2000.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MANN, E. N.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; VALE, F. R.; FONSECA, F. C. Calagem e crescimento de espécies florestais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., 1996, Manaus. **Anais da...** Manaus: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 240 - 241.
- MARSCHNER, H. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 134, n. 1, p. 1 - 20, jul. 1991.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fontes minerais de fósforo. In: NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. p. 123 - 164.
- _____. Fósforo na planta. In: NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. p. 255 - 270.
- OLIVEIRA, J.; SILVA, A.; SCHWENGBER, D.; DUARTE, O. Resposta de mudas de angelim-pedra (*Dinizia excelsa* Ducke) a nitrogênio e fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 33, n. 9, p. 1503 - 1507, 1997.
- RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 453 - 466, 2006.
- RIBEIRO, W. O. **Limitações nutricionais para o crescimento de mudas de cedro (*Cedrela odorata* L.) em Latossolo Amarelo**. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.
- SANTOS, J. Z. L.; RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; CORTE, E. F. Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 799 - 807, 2008.
- SANTOS, R. A.; TUCCI, C. A. F.; HARA, F. A. S.; SILVA, W. G. Adubação fosfatada para a produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 453 - 458, 2008.
- SILVA, A. R. M.; TUCCI, C. A. F.; LIMA, H. N.; FIGUEIREDO, A. F. Doses crescentes de corretivo na formação de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazonica**, v. 37, n. 2, p. 196 - 200, 2007.
- SILVA, I. R.; FURTINI, A. E. N.; CURI, N.; VALE, F. R. Crescimento inicial de quatorze espécies florestais nativas em resposta à adubação potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 205 - 212, fev. 1997.

- SILVA, W. G.; TUCCI, C. A. F.; HARA, F. A. S.; SANTOS, R. A. C. Efeito de micronutrientes sobre o crescimento de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King) em Latossolo Amarelo. **Acta Amazônica**, v. 37, n. 3, p. 371 - 376, 2007.
- SIQUEIRA, J. O.; CURTI, N.; VALE, F. R.; FERREIRA, M. M.; MOREIRA, F. M. S. **Aspectos de solos, nutrição vegetal e microbiologia na implantação de matas ciliares**. Belo Horizonte: CEMIG, 1995. 28 p.
- SISTEMA DE ANÁLISE ESTATÍSTICA E GENÉTICA (SAEG). **Versão 9.1**. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes; UFV, 2007.
- SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 102, p. 1 - 16, 2003.
- SOUZA, C. A. M.; OLIVEIRA, R. B.; MARTINS FILHO, S.; LIMA, J. S. S. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubação. **Ciências Florestais**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 243 - 249, 2006.
- SOUZA, C. A. S. **Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King)**. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2007.
- TUCCI, C. A. F. Seleção de métodos de laboratório para estimativa da necessidade de calagem em alguns solos da Amazônia. **Revista da Universidade do Amazonas**, Manaus, v. 8, n. 1/2, p. 1 - 19, 1996.
- TUCCI, C. A. F.; HARA, F. A. S.; FREITAS, R. O. Adubação e calagem para a formação de mudas de sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.). **Revista Ciências Agrárias e Ambientais da UFAM**, v. 2, n. 1/2, p. 27 - 39, 2002.
- TUCCI, C. A. F.; SOUZA, P. A.; VENTURIN, N.; BARROS, J. G. Calagem e adubação para a produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 299 - 307, 2007.
- WALLAU, R. L. R.; BORGES, A. R.; ALMEIDA, D. R.; CAMARGOS, S. L. Sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mogno cultivadas em solução nutritiva. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 304 - 310, 2008.

