

<http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n3p421-430>

Respostas nutricionais de mudas de sumaúma à adubação nitrogenada, fosfatada e potássica

Nutritional response of kapok seedlings to nitrogen, phosphorus and potassium fertilization

Arnon Afonso de Souza CARDOSO¹; José Zilton Lopes SANTOS²; Carlos Alberto Franco TUCCI³; Clauzio Heitor da SILVA JUNIOR⁴; Nelson VENTURIN⁵

¹ Autor para correspondência. Mestrando em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11, CEP.13418-900, Piracicaba-SP, Brasil. arnon.asc@gmail.com

² Prof. Dr. Universidade Federal do Amazonas. ziltonlopes@ufam.edu.br

³ Prof. Dr. Universidade Federal do Amazonas. ctucci@ufam.edu.br

⁴ Mestre em Ciências Florestais e Ambientais. Universidade Federal do Amazonas. clauziohsj@terra.com.br

⁵ Prof. Dr. Universidade Federal de Lavras. venturim@ufla.br

Recebido em: 12-02-2015; Aceito em: 15-01-2016

Resumo

Objetivou-se no presente estudo avaliar o efeito do nitrogênio (N), do fósforo (P) e do potássio (K) no crescimento de mudas de sumaúma [*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.]. Para isto, foram conduzidos três experimentos, em casa de vegetação, para avaliar os efeitos desses nutrientes isoladamente, utilizando como substrato Latossolo Amarelo distrófico típico. Foram aplicadas cinco doses de N (50; 100; 125; 150 e 200 kg ha⁻¹ de N), de P (75; 150; 225; 300 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e de K (40; 80; 120; 160 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O), além de tratamentos-controle (sem adição do nutriente testado) em cada experimento. O crescimento das plantas de sumaúma é pouco influenciado pelo fornecimento de doses crescentes dos nutrientes testados, sugerindo baixa exigência nutricional da espécie na fase inicial de crescimento.

Palavras-chave adicionais: *Ceiba pentandra*; espécies florestais; fertilidade do solo, nutrição mineral.

Abstract

Greenhouse experiments were carried out to investigate the effect of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) on the growth of kapok seedlings [*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.], grown in dystrophic Yellow Latosol. Three experiments were separately conducted. Were added five N doses (50, 100, 125, 150 and 200 kg ha⁻¹ N), five P doses (75, 150, 225, 300 and 400 kg ha⁻¹ P₂O₅), and five K doses (40, 80, 120, 160 and 200 kg ha⁻¹ K₂O). Control treatments (no nutrient tested added) was also included. The growth of kapok seedlings is little influenced by the supplementation of tested nutrients, indicating a low nutritional requirement in initial growth.

Additional keywords: *Ceiba pentandra*; forest species; plant nutrition; soil fertility.

Introdução

A sumaúma [*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.] é uma espécie arbórea pioneira que pertence à família Malvaceae encontrada desde o México até o norte da América do Sul, incluindo a Bacia Amazônica (Dick et al., 2007). Essa espécie apresenta como principal uso a produção de madeira, devido a sua fácil trabalhabilidade, sendo empregada para o preenchimento de miolos de compensados, como material de embalagem, na produção de papel, entre outros usos (Lamprecht, 1990). Apesar da larga aplicabilidade dessa espécie, principalmente na indústria moveleira, pouco se sabe sobre seu manejo, seja em plantios mistos, homogêneos, seja em reflorestamento, principalmente quanto à adubação.

A falta de estudos envolvendo a absorção de nutrientes e os requerimentos nutricionais de espécies florestais nativas têm consistido num grande entrave

para o uso destas em plantios comerciais e na recuperação de áreas degradadas (Bernadino et al., 2005). No caso da produção de mudas, isso torna-se um fator preocupante, em função de essa etapa constituir uma das fases mais importantes do cultivo de espécies florestais, pois a qualidade adequada destas é fundamental ao seu crescimento e desenvolvimento no campo (Gonçalves, 1995).

Considerando que o estado nutricional de uma planta altera sua taxa de desenvolvimento, a intensidade de crescimento e mesmo características morfológicas específicas (Epstein & Bloom, 2006), o desenvolvimento adequado das mudas ocorrerá quando o solo for fértil e apresentar concentrações adequadas de nutrientes, principalmente nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), cujas exigências pelas plantas geralmente são maiores que a capacidade de fornecimento do solo. No entanto, as características e as quantidades de adubos a serem

aplicadas dependem das necessidades nutricionais das espécies florestais, da fertilidade do solo, da forma de reação dos adubos com o solo, da eficiência dos adubos e de fatores de ordem econômica (Gonçalves, 1995).

Os substratos mais utilizados para a produção de mudas de espécies florestais nativas são constituídos, em sua maioria, por solos e subsolos com baixas concentrações de nutrientes, o que torna imprescindível a utilização de fertilizantes orgânicos e/ou minerais de modo que as exigências nutricionais das espécies sejam perfeitamente atendidas (Silva et al., 2007). No caso da Amazônia, esses substratos apresentam baixa fertilidade natural, além de alta presença de alumínio ativo e elevada acidez (Ludwig et al., 2001). Assim, é necessário o fornecimento tanto de corretivo quanto de fertilizantes para que os mesmos possam entrar no processo produtivo.

Na região Amazônica, a sumaúma tem sido encontrada desde solos de várzea até solos de terra firme, apresentando crescimento mais rápido na várzea, e crescimento mais lento e menor porte em terra firme (Loureiro et al., 1979). Paudyal & Muhamad (1995), avaliando a resposta de espécies florestais à adubação, obtiveram resultados promissores de crescimento da sumaúma, principalmente quando adubada com 500 g por planta de formulado NPK (12% de N, 12% de P_2O_5 e 17% de K_2O), correspondendo, por hectare, a 60 kg de N, 60 kg de P_2O_5 e 85 kg de K_2O , cultivada em solo de baixa fertilidade natural por seis meses, em condições de campo. Esses resultados sugerem potencial da espécie em responder à adição de fertilizantes, uma vez que os solos que proporcionam maior desenvolvimento da espécie (solos de várzea) são considerados de boa fertilidade (Fajardo et al., 2009).

Dessa forma, a realização de estudos que visem à avaliação da exigência nutricional da sumaúma pode auxiliar na tomada de decisão não só quanto à produção de mudas de qualidade, como também permitir a exploração da espécie de forma sustentável, do ponto de vista econômico e ambiental. Diante disso, objetivou-se, com este trabalho, verificar a influência dos nutrientes N, P e K sobre o crescimento de mudas de sumaúma, em condição de casa de vegetação.

Material e métodos

Delineamento experimental e tratamentos

Foram conduzidos três experimentos independentes, nos quais foram testadas as adubações nitrogenada, fosfatada e potássica no crescimento inicial da sumaúma (*Ceiba pentandra*). Utilizou-se, em todos os experimentos, do delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e três repetições. Cada parcela foi constituída por quatro vasos (cada vaso com uma planta). Em todos os experimentos, os tratamentos consistiram na aplicação de cinco doses

do nutriente testado, além do tratamento-controle (sem adição do nutriente testado).

No experimento de adubação nitrogenada, foram aplicados 50; 100; 125; 150 e 200 kg ha⁻¹ de N, utilizando-se como fonte a ureia (NH₂CONH₂, 45% de N), fornecida na forma de solução, e parcelada em três aplicações iguais (uma no momento do transplantio e duas a cada intervalo de quinze dias). As doses testadas no experimento de adubação fosfatada foram 75; 150; 225; 300 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, tendo como fonte o superfosfato triplo [Ca(H₂PO₄)·2H₂O, 46% de P₂O₅], homogeneizado em liquidificador e fornecido na forma de pó. No experimento de adubação potássica, foram fornecidos 40; 80; 120; 160 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando-se como fonte o cloreto de potássio (KCl, 60% de K₂O), fornecido na forma de solução. Os tratamentos de adubação fosfatada e potássica foram aplicados no momento da adubação básica.

Caracterização do solo

Foi utilizado, como substrato para o cultivo das plantas, solo da camada subsuperficial (20 a 40 cm de profundidade) de um Latossolo Amarelo distrófico típico, coletado em área de mata secundária, cujas coordenadas são 03° 06' 11" S; 59° 58' 32" W. Antes da instalação dos experimentos, o solo foi seco ao ar, passado em peneira de 4,0 mm de abertura, e subamostras do solo foram passadas em peneiras de 2,0 mm e submetidas às análises granulométrica e química. As análises foram realizadas de acordo com Embrapa (2009), apresentando as seguintes características: 300 g kg⁻¹ de areia; 300 g kg⁻¹ de silte; 400 g kg⁻¹ de argila; pH em água: 4,0; 29,8 mg L⁻¹ de P-rem; 12 g kg⁻¹ de matéria orgânica; 1 mg dm⁻³ de P (extrator Mehlich 1); 8 mg dm⁻³ de K⁺; 1 mmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 1 mmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 14 mmol_c dm⁻³ de Al³⁺; 79 mmol_c dm⁻³ de H + Al; 0,1 mg dm⁻³ de Zn²⁺; 220,3 mg dm⁻³ de Fe²⁺; 0,2 mg dm⁻³ de Mn²⁺; 0,2 mg dm⁻³ de Cu²⁺; 0,2 mg dm⁻³ de B e 59,4 mg dm⁻³ de S.

Correção do solo e adubação básica

O solo foi corrigido com a aplicação de 2,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (CaCO₃ + MgCO₃·7H₂O, relação cálcio/magnésio de 4:1, poder relativo de neutralização total de 100%), seguida de incubação por trinta dias. Em seguida, efetuou-se uma adubação básica, na qual não foram fornecidos os nutrientes N, P ou K nos experimentos que objetivavam a avaliação das adubações nitrogenada, fosfatada ou potássica, respectivamente, enquanto os demais nutrientes permaneceram nivelados.

A adubação básica foi constituída de 100 kg ha⁻¹ de N; 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 200 kg ha⁻¹ de K₂O; 30 kg ha⁻¹ de S, e 50 kg ha⁻¹ FTE-BR12. O nitrogênio foi parcelado em três aplicações iguais (uma no momento do transplantio e duas a cada intervalo de quinze dias). Foram utilizados como fontes a ureia (N), o superfosfato triplo (P), o cloreto

de potássio (K), o sulfato de amônio (N e S), o gesso (Ca e S) e o FTR-BR12 (B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn). O superfosfato triplo foi triturado em liquidificador, visando a melhor homogeneização e solubilização da fonte. Ureia, cloreto de potássio e sulfato de amônio foram fornecidos na forma de solução, enquanto superfosfato triplo, gesso e FTE-BR12 foram aplicados na forma de pó. Em seguida, o solo foi novamente incubado por vinte dias. Durante os períodos de incubação, a umidade do solo foi mantida em torno de 60% do volume total de poros, por meio de irrigações diárias com água deionizada.

Obtenção das mudas e condução dos experimentos

Os experimentos foram simultaneamente conduzidos em casa de vegetação, entre os meses de setembro e novembro (estação seca), no município de Manaus-AM, Brasil. As sementes de sumaúma foram obtidas no banco de sementes do Centro de Sementes Nativas da Amazônia (CSNAM) (Manaus-AM, Brasil). Para acelerar a germinação das sementes, elas foram imersas em água por 24 horas e, posteriormente, tratadas com solução fungicida de 1,0 g L⁻¹ de benomyl [metil-1-(butil-carbamoil)-2-benzimidazol carbamato; C₁₄H₁₈N₄O₃]. As sementes foram postas para germinar em areia lavada e, após a emergência das plântulas e a formação de dois pares de folhas, foram selecionadas as mais uniformes para o transplantio. Após o período de incubação da adubação básica, as plântulas selecionadas foram transplantadas para vasos de plástico com capacidade de 4 dm³ contendo os tratamentos. Durante o cultivo, a umidade do solo permaneceu em torno de 60% do volume total de poros, por meio de irrigações diárias com água deionizada.

Avaliações

Em todos os experimentos, aos 90 dias após o transplantio, foram avaliados a altura da parte aérea e o diâmetro do caule, com auxílio de régua graduada e paquímetro digital, respectivamente. Em seguida, as plantas foram colhidas, e o material vegetal (raízes e parte aérea), seco em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até massa constante, para a determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR). Utilizando os valores de MSR e MSPA, foi calculada a razão raiz/parte aérea (RPA) das plantas (g de MSR/g de MSPA). A MSPA foi moída e submetida à análise química conforme Embrapa (2009), para a determinação dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Com base nos teores dos elementos avaliados e na produção de matéria seca, foram calculados os acúmulos de nutrientes na MSPA.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$), e as variáveis analisadas foram ajustadas a modelos de regressão polinomial, para comparar o efeito dos diferentes níveis de N, P e K, utilizando o programa SAS 9.0 (SAS, 2008). As equações foram escolhidas com base na significân-

cia dos parâmetros da regressão (Teste F, 1 e 5%), valor do coeficiente de determinação (R^2) e na lógica biológica.

Resultados e discussão

Adubação nitrogenada

A adubação nitrogenada influenciou a altura, a massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) e a relação massa de matéria seca de raízes/massa de matéria seca da parte aérea (RPA) das plantas, as quais apresentaram ajuste ao modelo quadrático ($p < 0,05$). Por outro lado, o diâmetro do caule e a massa de matéria seca de raízes (MSR) das plantas não foram influenciados pelas doses de N, não apresentando ajuste aos modelos de regressão ($p > 0,05$). O diâmetro médio das plantas foi de 11,3 mm, enquanto a MSR média foi de 4,04 g.

As doses de N aumentaram apenas ligeiramente a altura e a MSPA das plantas, e somente quando comparadas com as plantas cultivadas sem fornecimento desse nutriente, com acréscimo de aproximadamente 15 e 20% na altura e MSPA das plantas cultivadas com adição de N em relação ao controle, respectivamente, comportamento que justifica os baixos coeficientes de determinação (R^2) observados (Figura 1). Quanto à RPA, houve decréscimo de aproximadamente 22% mediante as doses de N, causado pelo aumento da MSPA. Assim, nota-se que altura e MSPA aumentaram até o fornecimento de 50 kg ha⁻¹ de N, não apresentando ganhos nas doses maiores do nutriente. Esses resultados apontam que a sumaúma apresenta baixa exigência por N na fase inicial de crescimento, pois o fornecimento de baixa dose de N (50 kg ha⁻¹) satisfaz a demanda das mudas por N. Tal comportamento indica baixo potencial de resposta dessa espécie ao fornecimento desse nutriente nessa fase de crescimento, hipótese reforçada pela ausência de efeito da adubação nitrogenada no diâmetro do caule e na MSR das plantas.

Apesar de o N ser o nutriente mineral que as plantas exigem em maiores quantidades, e sua absorção limitar a produtividade primária na maioria dos ecossistemas, observa-se que o fornecimento de apenas 50 kg ha⁻¹ de N parece ter suprido toda a exigência das plantas quanto ao nutriente, dose correspondente a apenas 25 mg dm⁻³ N. Comparando esses valores com outros recomendados para a adubação de substrato visando à produção de mudas de eucalipto, pinus e espécies típicas da Mata Atlântica, verifica-se que essa dose está bem abaixo da recomendação para essas espécies (250 mg dm⁻³ de N no substrato) (Gonçalves, 1995).

A adubação nitrogenada afetou, também, os acúmulos de N, P, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe e Zn na parte aérea das mudas de sumaúma, os quais se ajustaram ao modelo quadrático ($p < 0,05$). Os conteúdos de K e Fe não foram influenciados pelo fornecimento de N, não se ajustando a modelos de regressão ($p > 0,05$). Os acúmulos médios de K e Fe na parte aérea das plantas foram de 237 e 1,3 mg por planta, respectivamente.

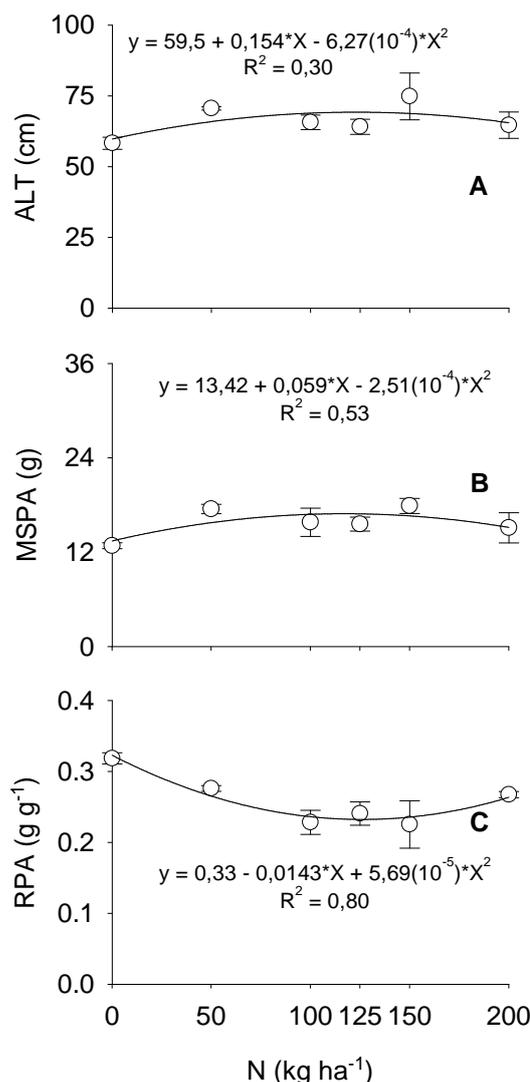


Figura 1 – A - Altura (ALT); B - matéria seca da parte aérea (MSPA); C - razão raiz/parte aérea (RPA), em mudas de sumaúma, em função da adição de doses crescentes de N, aos 90 dias, em condição de casa de vegetação. A - Height (ALT); B - shoot dry matter (MSPA); C - root/shoot ratio (RPA) - of kapok seedlings in response to nitrogen doses, after 90 days in greenhouse condition.

Os aumentos nos acúmulos de Ca, Mg, B e Mn na parte aérea foram proporcionados até o fornecimento de 50 kg ha⁻¹ de N, enquanto a absorção de N, P, S e Zn foi aumentada até a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N (Figura 2). A tendência de obter-se os maiores acúmulos desses já nas menores doses de N (50 e 100 kg ha⁻¹) é confirmada pelos ajustes quadráticos desses nutrientes, indicando que baixas doses de N já possibilitam o ótimo estado nutricional deste nas mudas de sumaúma.

Observa-se que nem toda quantidade de N, P, S e Zn absorvida foi convertida em crescimento, pois os maiores resultados das características de crescimento foram obtidos com a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N (Figura 1), enquanto os maiores acúmulos desses nutrientes foram proporcionados com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N (Figura 2), sugerindo que parte destes nutrientes foi estocada na biomassa, não sendo utilizado para desenvolvimento da planta. Apesar de a nutrição nitrogenada ade-

quada, geralmente, melhorar os teores foliares dos demais nutrientes, aumentando a altura e a produção de matéria seca da parte aérea das plantas, no presente trabalho, isso não ficou evidente para todos os nutrientes avaliados, uma vez que os acúmulos dos nutrientes foram pouco afetados pelo fornecimento de N, exceto os acúmulos de N e S.

Dessa forma, apesar dos relatos do melhor desenvolvimento da sumaúma em solos de várzea (Lamprecht, 1990; Revilla, 2001), que geralmente apresentam boa fertilidade natural (Fajardo et al., 2009), sugerindo que a espécie é exigente em solos ricos em nutrientes para seu melhor crescimento e possui potencial de responder à adição de fertilizantes, no presente estudo observou-se que a aplicação de baixa dose de N (50 kg ha⁻¹) já satisfaz a necessidade das mudas de sumaúma, apesar de este ser, em termos de requerimento, o mais importante nutriente para o cultivo da maioria das plantas (Zhang et al., 2010).

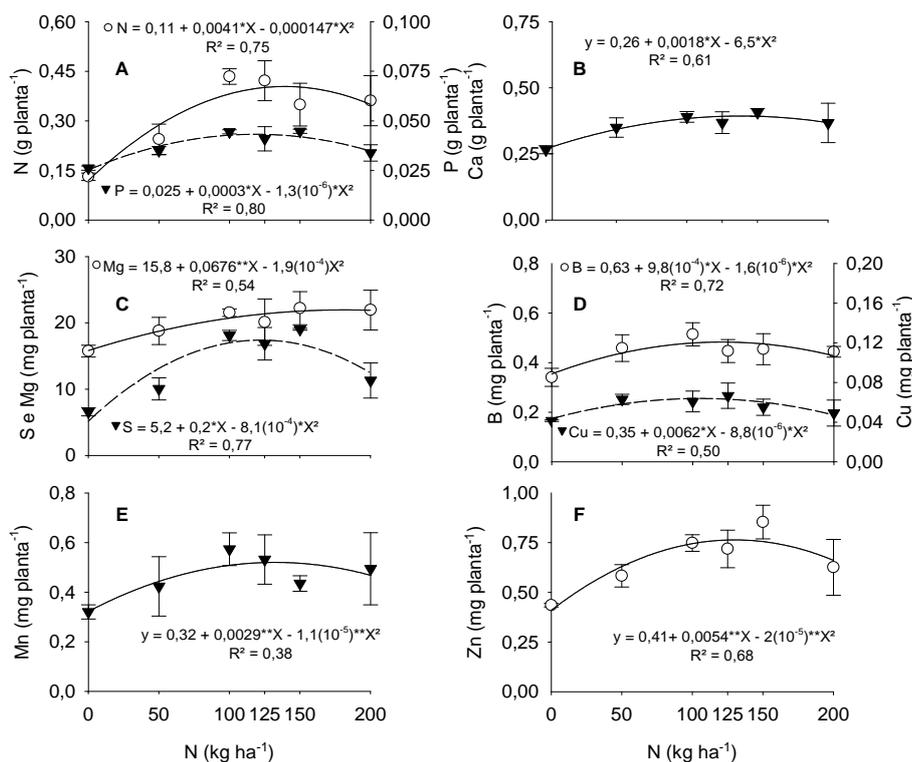


Figura 2 - A - Acúmulos de nitrogênio (N) e fósforo (P); B - cálcio (Ca); C - magnésio (Mg) e enxofre (S); D - boro (B) e cobre (Cu); E - manganês (Mn); F - zinco (Zn) - na parte aérea de mudas de sumaúma, em função da adição de doses crescentes de N, aos 90 dias, em condição de casa de vegetação. A - Nitrogen (N) and phosphorus (P); B - calcium (Ca); C - magnesium (Mg) and sulphur (S); D - boron (B) and copper (Cu); E - manganese (Mn); F - zinc (Zn) - accumulated on kapok's shoots dry matter in function of addition increasing doses of nitrogen, after 90 days in greenhouse condition.

Adubação fosfatada

A adubação fosfatada influenciou a altura, o diâmetro do caule, a MSPA, a MSR e a razão RPA das plantas, as quais se ajustaram ao modelo quadrático ($p < 0,05$). O fornecimento de doses crescentes de P promoveu ganhos em altura, diâmetro, MSPA e MSR, e reduziu a RPA (Figura 3). Semelhantemente ao observado no experimento da adubação nitrogenada, os maiores incrementos nas variáveis de crescimento foram obtidos na aplicação da menor dose de P (75 kg ha^{-1} de P_2O_5), quando comparada às plantas sem o fornecimento do nutriente, principalmente em diâmetro e MSR. Apenas a MSPA obteve aumentos nas doses acima de 75 kg ha^{-1} de P_2O_5 , apresentando ligeiro incremento de 12% na aplicação de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Todavia, em todas as variáveis de crescimento avaliadas, observou-se menor acréscimo nas doses acima de 75 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

Em relação à adubação fosfatada, apesar de a carência de P representar séria restrição ao desenvolvimento da grande maioria das culturas anuais e também para o crescimento de espécies florestais, nota-se que, no caso desta espécie, há certo potencial de a mesma vir a ser cultivada em sistemas de manejo que adota redução no fornecimento de nutrientes via aplicação de adubos em

solos de baixa fertilidade, já que os incrementos no crescimento, em resposta ao nutriente, não foram expressivos, pois uma baixa dose de P (75 kg ha^{-1} de P_2O_5) aparentemente satisfaz a demanda da espécie por este nutriente. Isto, indica que, embora o manejo da adubação em situações florestais seja bastante similar quanto aos princípios e as práticas adotadas para as culturas em geral, diferenças em alguns aspectos quanto à absorção e uso dos nutrientes devem ser consideradas.

Assim como observado para o N, a ausência da aplicação de P proporcionou a maior relação RPA, com o fornecimento de P diminuindo a RPA até a aplicação de 225 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Tal comportamento é decorrente da maior produção de MSPA em relação a MSR em função do aumento das doses de P (Figura 3B). Considerando que as raízes são os órgãos da planta em contato mais estreito com o ambiente nutricional e que estas são especialmente propensas a serem afetadas por este ambiente (Epstein & Bloom, 2006), no caso de menor disponibilidade de nutrientes, estas seriam primeiramente satisfeitas em relação à parte aérea. Assim, o maior crescimento de raízes, principalmente pelos radiculares e raízes laterais, tem sido relatado como um mecanismo usado pelas plantas

em condição de baixa disponibilidade de P (Raghothama, 2000). Levando-se em conta que estudos em vasos têm mostrado que plantas de considerável exigência nutricional requerem uma concentração mínima de P no solo variando de 150

a 200 mg dm^{-3} de P disponível para completar o ciclo vegetativo, os valores do presente trabalho ($75 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$), que afetaram as variáveis de crescimento, equivaleriam a apenas $37,5 \text{ mg dm}^{-3}$.

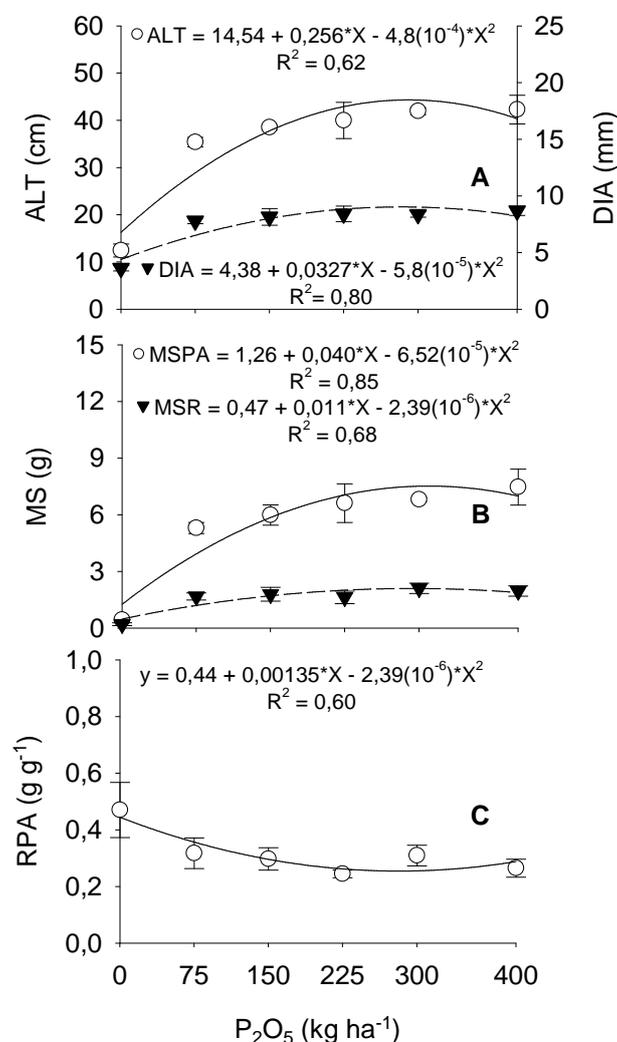


Figura 3 – A - Altura (ALT) e diâmetro do caule (DIA); B - matéria seca de raízes (MSR) e da parte aérea (MSPA); C - razão raiz-parte aérea (RPA) - de mudas de sumaúma, em função da adição de doses crescentes de P, aos 90 dias, em condição de casa de vegetação. A - Height (ALT) and stem diameter (DIA); B - shoot dry matter (MSPA) and root dry matter (MSR); C - root/shoot ratio (RPA) - of kapok seedlings in response to phosphorus doses, after 90 days in greenhouse condition.

Portanto, esses resultados confirmam um baixo potencial de resposta da espécie ao fornecimento de P na fase de mudas, considerando ainda que o cultivo da mesma se deu em solo de baixa disponibilidade de P e com considerável potencial de fixação do P fornecido ($\text{Prem} = 29,8 \text{ mg L}^{-1}$). Por outro lado, Tucci et al. (2002) observaram respostas positivas nas características de crescimento da sumaúma em função do fornecimento de doses crescentes de P, e Santos et al. (2008) verificaram

que espécies pioneiras foram bastante responsivas à adição de doses crescentes deste nutriente (0 a 800 mg dm^{-3} de P) quando comparadas a espécies climácicas, promovendo aumentos tanto na produção de matéria seca da parte aérea quanto no acúmulo de P. Resultados condizentes com a hipótese de que, comparativamente às espécies-clímax, as pioneiras mostram crescimento bastante influenciado pelo nível de fertilidade do solo (Siqueira et al., 1995).

Apesar de a sumaúma ser classificada como pioneira, no presente trabalho não ficou evidente esse potencial de resposta da espécie quanto ao fornecimento de P. No entanto, as espécies pioneiras têm sido consideradas mais responsivas à adubação fosfatada, apresentando ainda maior acúmulo de nutrientes na parte aérea e sensíveis alterações na eficiência de utilização do nutriente, enquanto as espécies climácicas crescem independentemente do suprimento de P, comportamento este associado às menores taxas iniciais de crescimento destas espécies (Resende et al., 1999).

Em relação ao estado nutricional das plantas, a adubação fosfatada afetou também os acúmulos de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Mn e Zn na parte aérea das mudas de sumaúma, os quais se ajustaram ao modelo quadrático ($p < 0,05$), enquanto os conteúdos de Cu e Fe não foram influenciados pelo fornecimento de P e não se ajustaram a modelos de regressão ($p > 0,05$). Os acúmulos de médios de Cu e Fe na parte aérea das plantas foram de 0,025 e 0,80 mg por planta, respectivamente.

Os maiores acúmulos de N, P, Mg e Mn foram promovidos a partir da adição de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Por outro lado, os maiores acúmulos de K e Ca foram obtidos nas doses acima de 225 kg ha⁻¹ de P₂O₅, enquanto os maiores acúmulos de S, B e Zn foram obtidos a partir do fornecimento de apenas 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 4). Os ajustes quadráticos observados para os acúmulos dos nutrientes confirmam que as doses de P testadas superaram a capacidade metabólica para a absorção destes, nas condições ambientais estudadas.

Em relação à influência de P no acúmulo de nutrientes na parte aérea, esse comportamento parece estar mais relacionado às interações entre nutrientes, do que ao aumento na demanda por P, em virtude do baixo estímulo ao crescimento ocasionado pela maior disponibilidade deste nutriente. No entanto, aumentos nos teores e conteúdos de P na parte aérea e raízes de freijó (*Cordia goeldiana* Huber), espécie pertencente ao grupo ecológico das pioneiras (Santana et al., 1997), em função da adição de doses crescentes desse nutriente, foram observados por Fernandes et al. (2007). Esse efeito deve-se provavelmente à eficiência na absorção de ânions, como no caso fosfato, pelas plantas, com o suprimento adequado de P, pois esse transporte é efetuado contra gradiente de potencial eletroquímico, havendo, assim, a necessidade de energia na forma de ATP, visando a promover aumento do estado energético do sistema radicular (Epstein & Bloom, 2006).

Os resultados sugerem que esta espécie possui menor eficiência de utilização dos nutrientes K e Ca, pois o aumento no crescimento das plantas não acompanhou os aumentos das absorções des-

ses nutrientes, que foram proporcionados pelo maior suprimento de P (225 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Isto sugere que uma pequena parte dos mesmos foi convertida em biomassa, havendo, portanto, possível consumo de luxo em relação a estes. Entretanto, são necessários estudos sobre a eficiência de utilização destes nutrientes para a confirmação desse comportamento.

Segundo Marschner (1991), plantas adaptadas aos solos de baixa fertilidade apresentam, em geral, altas concentrações de fósforo e outros nutrientes na parte aérea como estratégia para evitar o estresse nutricional. Todavia, essas plantas não se caracterizam por uma alta eficiência de absorção, sendo os elevados teores de nutrientes na biomassa função de suas lentas taxas de crescimento, mesmo sob condições de melhor suprimento. Considerando que no presente estudo as plantas apresentaram aumento nos acúmulos de nutrientes, principalmente até a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, enquanto a MSPA aumentou até a adição de 225 kg ha⁻¹ de P₂O₅, é possível que essa espécie tenha desenvolvido estratégias, como o elevado acúmulo de nutrientes, para sobrevivência em solos de baixa fertilidade, como o utilizado neste estudo.

Adubação potássica

A adubação potássica influenciou apenas a MSPA, a MSR e o acúmulo de K na parte aérea das mudas de sumaúma, as quais se ajustaram ao modelo quadrático ($p < 0,05$). As médias de altura, diâmetro do caule e RPA das plantas foram 31,1 cm; 6,8 mm e 0,29 g g⁻¹, respectivamente. As médias dos acúmulos de N, P, Ca, Mg e S na parte aérea das plantas foram 140; 12; 55; 34 e 4,9 mg por planta, respectivamente, enquanto os acúmulos de B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea das mudas foram 0,14; 0,02; 0,45; 0,16 e 0,19 mg por planta, respectivamente.

Semelhantemente ao observado nos experimentos de adubação nitrogenada e fosfatada, as variáveis afetadas pela adubação potássica apresentaram maiores ganhos já nas primeiras doses de K, situadas abaixo do geralmente recomendado para o cultivo de espécies florestais. A MSPA aumentou em função das doses de K somente até o fornecimento de 80 kg ha⁻¹ de K₂O, enquanto a MSR e o acúmulo de K na parte aérea aumentaram apenas até a adição de 40 kg ha⁻¹ de K₂O, dose mais baixa do nutriente (Figuras 5 e 6). Esses resultados indicam que a sumaúma também apresenta baixa exigência por K, pois o fornecimento de 80 kg ha⁻¹ de K₂O satisfaz a necessidade das plantas por esse nutriente na fase inicial de crescimento, sendo essa dose muito inferior a 200 kg ha⁻¹ de K₂O, dose geralmente recomendada para a formação de mudas de espécies florestais (Gonçalves, 1995).

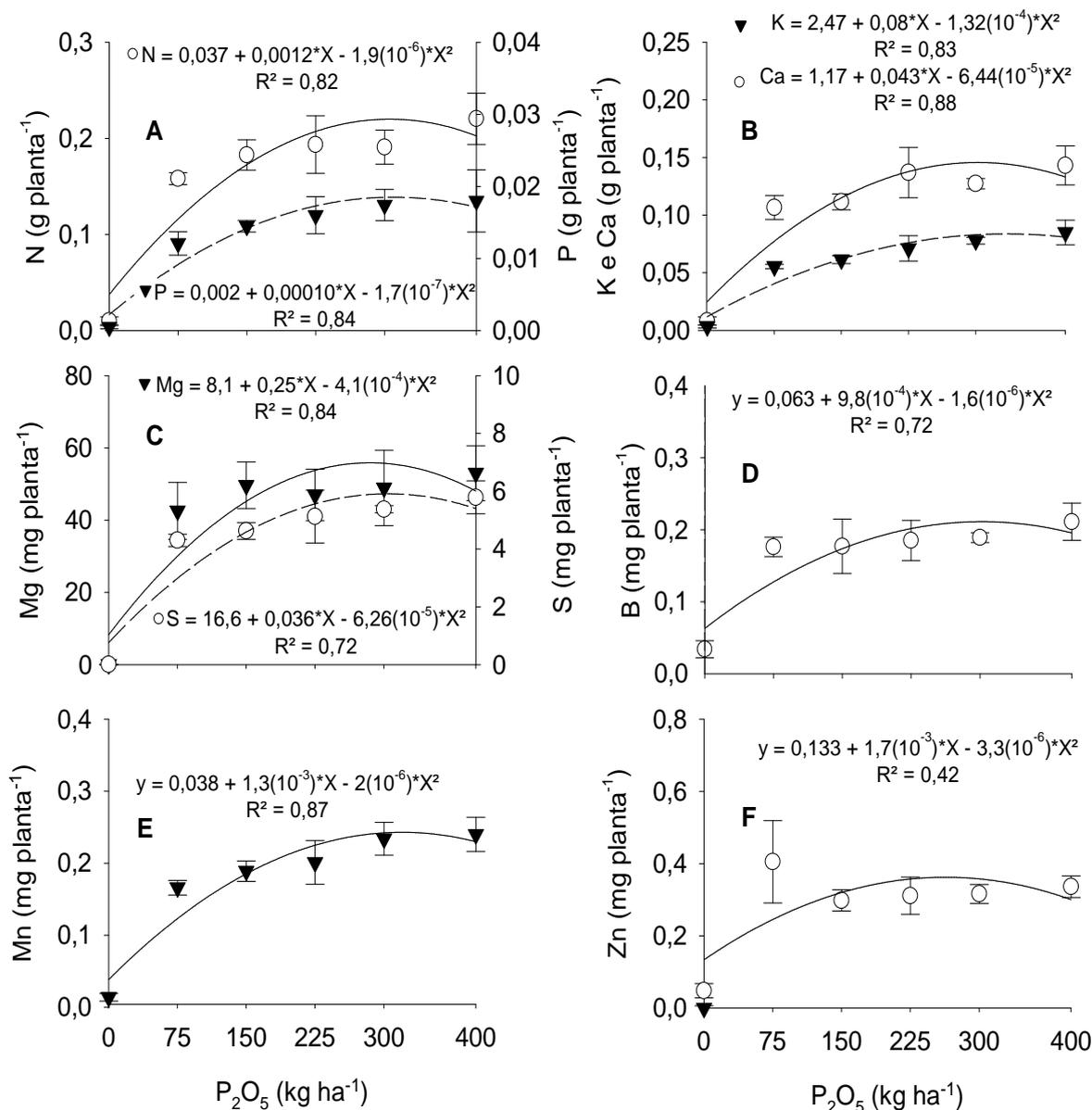


Figura 4 - A - Acúmulos de nitrogênio (N) e fósforo (P); B - potássio (K) e cálcio (Ca); C - magnésio (Mg) e enxofre (S); D - boro (B); E - manganês (Mn); F - zinco (Zn) - na parte aérea de mudas de sumaúma, em função da adição de doses crescentes de P, aos 90 dias, em condição de casa de vegetação. A - Nitrogen (N) and phosphorus (P); B - potassium (K) and calcium (Ca); C - magnesium (Mg) and sulphur (S); D - boron (B); E - manganese (Mn); F - and zinc (Zn) - accumulated on kapok's shoots dry matter in function of addition increasing doses of phosphorus, after 90 days in greenhouse condition.

Segundo Silva et al. (1997) os efeitos da aplicação de K em espécies florestais são muito pequenos, inexistentes e até mesmo depressivos para o crescimento de certas espécies nativas, sobretudo no caso das espécies pioneiras e secundárias, as quais são eficientes em adquirir e utilizar esse nutriente. De forma que algumas espécies são capazes de se desenvolver sob condições de baixa disponibilidade de K, usando formas não trocáveis desse nutriente no solo. Assim, uma alta eficiência nutricional das mudas de sumaúma quanto ao K,

possivelmente, explica a ausência de resposta marcante das variáveis avaliadas no presente estudo.

Segundo Zhang et al. (2010), a resposta das plantas à absorção de K depende, em maior extensão, do suprimento de N, sendo a interação entre os mesmos positiva. Esse comportamento não foi observado no presente estudo; pois, no experimento da adubação nitrogenada, foi constatado aumento do acúmulo de N na parte aérea das plantas, enquanto o acúmulo de K não foi afetado pelas doses de N.

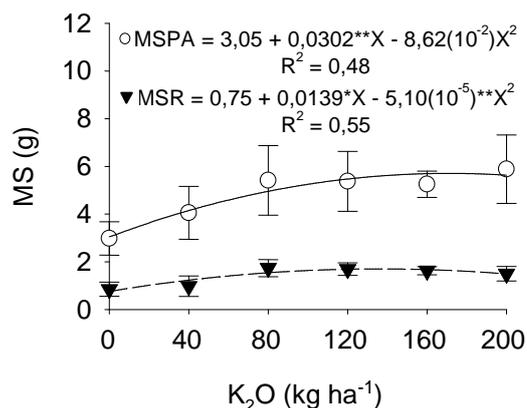


Figura 5 - Matéria seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) de mudas de sumaúma, em função da adição de doses crescentes de K, aos 90 dias, em condição de casa de vegetação. *Shoot dry matter (MSPA) and root dry matter (MSR) of kapok seedlings in response to potassium doses, after 90 days in greenhouse condition.*

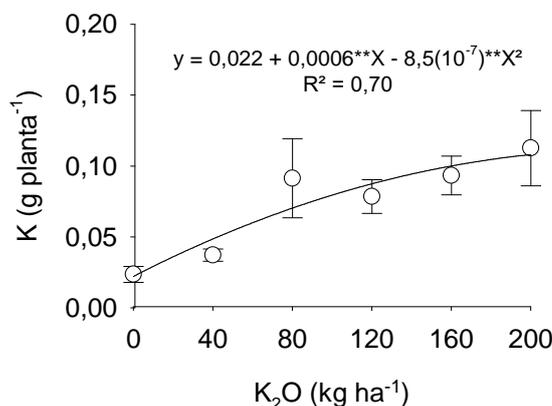


Figura 6 - Acúmulo de potássio (K) na parte aérea de mudas de sumaúma, em função da adição de doses crescentes de K, aos 90 dias, em condição de casa de vegetação. *Potassium (K) accumulation on kapok's shoot dry matter in function of addition increasing doses of potassium, after 90 days in greenhouse condition.*

No entanto, Thiyageshwari et al. (2001), avaliando o requerimento nutricional da sumaúma por um período de seis meses na fase de viveiro, verificaram que a adição de N (0,6 g kg⁻¹ de ureia), P (2 g kg⁻¹ de superfosfato simples), K (0,6 g kg⁻¹ de cloreto de potássio) e 0,5 g kg⁻¹ de um composto de fosfobactéria promoveu aumento significativo na altura (50,55 cm), no comprimento da raiz (49,19 cm) e na matéria seca (13,71 g). Os mesmos verificaram, também, incrementos nos teores de N (1,19%), de P (0,253%) e de K (1,46%), sendo significativamente maiores em relação ao tratamento-controle.

De maneira semelhante, Agboola & Kadiri (1999), avaliando o efeito de fertilizantes inorgânicos sobre o crescimento de mudas de algumas espécies tropicais, verificaram que houve aumento na área foliar total e na massa seca de mudas de sumaúma tratadas com cinco fertilizantes inorgânicos, sendo o nitrato de magnésio [Mg(NO₃)₂] mais eficaz. Resultados que, possivelmente, justificam o enquadramento dessa espécie no grupo das pioneiras, além de seu

rápido crescimento. Silva et al. (1997), avaliando diferentes espécies tanto pioneiras quanto climax, em relação à adubação potássica, também verificaram que as maiores respostas foram encontradas para as pioneiras e secundárias. Estes resultados indicam a necessidade de fertilização da espécie durante a fase de viveiro para produzir mudas saudáveis para um melhor programa de arborização.

Em função do contraste de resultados observados na literatura, entre os quais se inclui o presente estudo, há necessidade de mais estudos quanto à exigência nutricional dessa espécie, pois a sua pouca resposta apresentada à adição dos nutrientes N, P e K revela que, pelo menos nessa fase de crescimento, e nas condições em que foi conduzido o estudo, a mesma encontrava-se adaptada às condições ambientais da área (baixa fertilidade do solo), sugerindo a ausência ou a baixa necessidade de adição de insumos na fase de implantação de reflorestamento com essa espécie.

Conclusões

O crescimento inicial da sumaúma é pouco influenciado pelo fornecimento de nitrogênio, fósforo e potássio, de forma que a necessidade por esses nutrientes é satisfeita com a adição de 50 kg ha⁻¹ de N, 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O.

Referências

Agboola DA, Kadiri M (1999) The effects of defoliation and inorganic fertilizers on the growth of some tropical tree seedlings. *Journal of Tropical Forest Science* 11:672-679.

Bernadino DCS, Paiva HN, Neves JCL, Gomes JM, Marques VB (2005) Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do substrato. *Revista Árvore* 29:863-870.

Dick CW, Bermingham E, Lemes MR, Gribel R (2007) Extreme long-distance dispersal of the lowland tropical rainforest tree *Ceiba pentandra* L. (Malvaceae) in Africa and the Neotropics. *Molecular Ecology* 16:3039-3049.

Embrapa (2009) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa. 628p.

Epstein E, Bloom A (2006) Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Editora Planta. 86p.

Fajardo JDV, Souza LAG, Alfaia SS (2009) Características químicas de solos de várzeas sob diferentes sistemas de uso da terra, na calha dos rios baixo Solimões e médio Amazonas. *Acta Amazonica* 39:731-740.

Fernandes AR, Paiva HN, Carvalho JG, Miranda JRP (2007) Crescimento e absorção por mudas de freijó (*Cordia goeldiana* Huber) em função de doses de fósforo de zinco. *Revista Árvore* 31:599-608.

Gonçalves JLM (1995) Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. *Documentos Florestais* 15:1-23.

Lamprecht H (1990) Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas: possibilidade e métodos de aproveitamento sustentado. TZ-Verl. 343p.

Loureiro AA, Silva MF, Alencar JC. 1979. Essências madeiras da Amazônia. INPA. 125p.

Ludwig B, Khanna PK, Anurugsa B, Folster H (2001) Assessment of cation and anion exchange and pH buffering in an Amazonian Ultisol. *Geoderma* 102:27-40.

Marschner H (1991) Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. *Plant and Soil* 134:1-20.

Paudyal BK, Muhamad MN (1995) Fertilizer trial on *Ceiba pentandra* seedlings on ex-tin-mining land in Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science* 7:570-579.

Raghothama KG (2000) Phosphate transport and signaling. *Current Opinion in Plant Biology* 3:182-187.

Resende AV, Furtini Neto AE, Muniz JÁ, Curi N, Faquin V (1999) Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34:2071-2081.

Revilla J (2001) Plantas da Amazônia: oportunidades econômicas e sustentáveis. Inpa. 405p.

Santana JAS, Barros LP, Jardim FCS (1997) Análise da vegetação de regeneração natural na floresta tropical úmida em Paragominas-PA. *Boletim da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará* 28:9-35.

Santos JZL, Resende AV, Furtini Neto AE, Corte EF (2008) Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. *Revista Árvore* 32:799-807.

SAS Institute (2008). SAS User's guide: Statistics. Version 9.2.

Silva ARM, Tucci CAF, Lima HN, Figueiredo AF (2007) Doses crescentes de corretivo na formação de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). *Acta Amazônica* 37:195-200.

Silva IR, Furtini Neto AE, Curi N, Vale FR (1997) Crescimento inicial de quatorze espécies florestais nativas em resposta à adubação potássica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 32:205-212.

Siqueira JO, Curi N, Vale FR (1995) Aspectos de solos, nutrição vegetal e microbiologia na implantação de matas ciliares. CEMIG/UFLA. 28p.

Thiyageshwari S, Kanna SU, Dasthagir MG (2001) Foliar analysis as a guide to fertilize *Ceiba pentandra* seedlings. *Indian Journal of Environmental Protection* 21:876-879.

Tucci CAF, Hara FAS, Freitas RO (2002) Adubação e calagem para a formação de mudas de sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn). *Revista de Ciências Agrárias e Ambientais* 11:9-16.

Zhang F, Niu J, Zhang W, Chen X, Li C, Yuan L, Xie J (2010) Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. *Plant and Soil* 335 (1-2):21-34.