

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

The seal of the Universidade Federal do Amazonas is a circular emblem. It features a central figure of a hand holding a branch, surrounded by a laurel wreath. Above the wreath are three stars. The text "UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS" is inscribed along the top inner edge, and "IN UNIVERSA SCIENTIA VERITAS" is inscribed along the bottom inner edge.

FONTES DE FÓSFORO, DESENVOLVIMENTO INICIAL E FRAÇÕES  
FOSFATADAS NA PARTE AÉREA DO CURAUÁ (*Ananas erectifolius* L. B.  
Smith).

TAINAH MANUELA BENLOLO BARBOSA

MANAUS  
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

TAINAH MANUELA BENLOLO BARBOSA

FONTES DE FÓSFORO, DESENVOLVIMENTO INICIAL E FRAÇÕES  
FOSFATADAS NA PARTE AÉREA DO CURAUÁ (*Ananas erectifolius* L. B.  
Smith)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. José Zilton Lopes Santos

MANAUS  
2012

Ficha Catalográfica  
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Barbosa, Tainah Manuela Benlolo

B238F Fontes de fósforo, desenvolvimento inicial e frações fosfatadas na parte aérea do curauá (*Ananas erectifolius* L. B. Smith) / Tainah Manuela Benlolo Barbosa. - Manaus: UFAM, 2012.  
68 f.; il. color.

Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) — Universidade Federal do Amazonas, 2012.

Orientador: Prof. Dr. José Zilton Lopes Santos

1. Adubação 2. Fertilizante fosfatado 3. Bromeliacea I. Santos, José Zilton Lopes (Orient.) II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU 631.85(043.3)

TAINAH MANUELA BENLOLO BARBOSA

FONTES DE FÓSFORO, DESENVOLVIMENTO INICIAL E FRAÇÕES  
FOSFATADAS NA PARTE AÉREA DO CURAUÁ (*Ananas erectifolius* L. B.  
Smith)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Aprovada em 4 de julho de 2012

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. JOSÉ ZILTON LOPES SANTOS  
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO FRANCO TUCCI  
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. BRUNO FERNANDO FARIA PEREIRA  
Universidade Federal do Amazonas

## **DEDICATÓRIA**

A Deus!

Pelo dom da vida, pela saúde concedida, pela força, luz e proteção para minha existência e realização deste mestrado.

Aos meus amados pais, Marcos Barbosa e Neuza Benlolo, pelos cuidados e amor ofertados, por serem os meus maiores incentivadores na luta por um futuro digno e pelos esforços para a formação de filhas fortes, honestas e independentes.

Às minhas queridas irmãs, Ada, Tássia e Naima, pelo carinho, ajuda, união e por compartilharem comigo todos os momentos de minha vida.

Às minhas sobrinhas, Isabele e Emanuele e ao meu cunhado Ildson, por proporcionarem momentos muito felizes!

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Amazonas, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, pela oportunidade e apoio concedidos para realização do mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pela concessão de bolsa de estudos.

Ao professor Dr. José Zilton Lopes Santos, meu orientador, mais que agradecimento, devo-lhe imensa consideração pela orientação e pelo préstimo empenhado para a concretização deste trabalho. Bem como, pela amizade, incentivo e aconselhamento com o objetivo de formar-me uma profissional qualificada.

Ao professor Dr. Carlos Alberto Franco Tucci, pela cordialidade e referência profissional, também por ser um dos principais responsáveis por aguçar os meus anseios em almejar desenvoltura técnica.

Ao professor Dr. Antenor Francisco de Figueiredo, pela orientação concedida na primeira etapa desta dissertação e por me ceder espaço em seu laboratório para realização de minhas pesquisas e trabalhos.

Ao professor Dr. Afrânio Ferreira Neves Junior, por disponibilizar laboratório e equipamentos para realização das análises.

Ao professor Dr. Bruno Pereira, pela contribuição nas análises laboratoriais e nos resultados estatísticos.

Aos amigos Jaisson, Daiana, Jolemia, Catiele, Iza, José Augusto, Silvio e Aldilane, pelo privilégio da amizade, companheirismo e pela ajuda em todas as etapas deste mestrado.

A todos os colegas e amigos da Pós-Graduação que de alguma forma me ajudaram e pela satisfação do convívio no dia a dia.

Aos estudantes da iniciação científica, Diego Viana e Arnon Cardoso, pela grande ajuda na condução do experimento e nas análises laboratoriais.

## RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar o efeito de diferentes fontes de fósforo (P) no desenvolvimento inicial e na distribuição das frações fosfatadas na parte aérea do curauá. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos e doze repetições. Os tratamentos constituíram da avaliação da resposta do curauá ao fornecimento de  $250 \text{ mg dm}^{-3}$  de P, testando-se cinco fontes de P (superfosfato triplo, termofosfato magnésiano, fosfato reativo de Arad, fosfato de Araxá e ácido fosfórico), mais o tratamento controle (sem fornecimento de P). O desenvolvimento inicial do curauá é afetado pelas diferentes fontes de P, com maior magnitude para o superfosfato triplo. A espécie acumulou P preferencialmente na fração orgânica, independente da fonte utilizada, porém, o acúmulo nessa fração é mais expressivo com fontes de baixa solubilidade.

Palavras-chave: Adubação fosfatada, formas de fósforo, Bromeliacea.

## ABSTRACT

The Phosphate fertilizers efficiency in tropical soils is mainly influenced by its solubility, particle size and chemical composition. This work aimed to evaluate the effect of different phosphorus (P) sources on the initial development and distribution of P-fractions in curauá seedlings. The experimental design was completely randomized with six treatments and twelve replications. The treatments evaluated the response of curaua supplying 250 mg dm<sup>-3</sup> of P, using five P sources (triple superphosphate - TS, magnesium termophosphate - MT, Arad reactive rock phosphate - RP, Araxá rock phosphate - AP and phosphoric acid), plus treatment control (without P supply). The initial development of curauá is affected by different phosphorus sources, with greater magnitude for the triple superphosphate. The organic-P was the main fraction accumulated on curauá, regardless of P source used. The accumulation of this fraction is more expressive using low solubility P-sources.

Keywords: P-fertilization, phosphorus forms, Bromeliacea.

**LISTA DE TABELAS**

- TABELA 1.** Atributos químicos, físicos e mineralógicos do solo (20 - 40 cm de profundidade), antes da aplicação dos tratamentos. ....31
- TABELA 2.** Caracterização química e física dos fertilizantes fosfatados.....33
- TABELA 3.** Fósforo disponível (P-resina) no solo após aplicação das fontes superfosfato triplo (ST), termofosfato magnésiano (TM), fosfato reativo Arad (FR), fosfato de Araxá (FA), ácido fosfórico (AF) e controle e incubado por 30 dias.....34
- TABELA 4.** Conteúdo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea do curauá, em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação. ....37
- TABELA 5.** Conteúdo de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) na parte aérea do curauá em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação. ....39
- TABELA 6.** Frações de fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po) e fósforo total (Pts) na folha do curauá em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação. ....41
- TABELA 7.** Altura (ALT), diâmetro da roseta (DR), maior largura da folha (MLF) e relação parte aérea raiz (RPAR) do curauá em função do fornecimento de fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação. ....45
- TABELA 8.** Número de folha (NF), diâmetro do caule (DC), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST) do curauá em função do fornecimento de fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação. ...46

## LISTA DE FIGURAS

**FIGURA 1.** Eficiência de absorção de P – EAP em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzidos por 120 dias em casa de vegetação.....47

**FIGURA 2.** Eficiência de utilização de P – EUP na matéria seca da parte aérea em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzidos por 120 dias em casa de vegetação .....49

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	11
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	14
2.1. Geral.....	14
2.2. Específicos.....	14
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	15
3.1. Aspectos gerais do curauá.....	15
3.2. Características físicas, químicas e mineralógicas dos solos de terra firme do Estado do Amazonas.....	17
3.3. Eficiência da adubação fosfatada em solos tropicais.....	19
3.3.1. Fontes de fósforo.....	22
3.4. Importância do fósforo para as plantas.....	25
3.5. Formas de fósforo na planta.....	27
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	30
4.1. Localização do experimento.....	30
4.2. Preparo e caracterização química, física e mineralógica do solo.....	30
4.3. Descrição do experimento.....	32
4.4. Delineamento experimental e tratamentos.....	32
4.5. Condução do experimento.....	34
4.6. Variáveis analisadas.....	34
4.7. Análise estatística.....	36
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	37
5.1. Absorção de nutrientes.....	37
5.2. Frações orgânicas e inorgânicas de fósforo na folha de curauá.....	40
5.3. Crescimento das plantas.....	44
5.4. Eficiência de absorção e utilização de fósforo.....	47
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	51
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	52
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	54
<b>APÊNDICE.....</b>	66

## INTRODUÇÃO

A baixa fertilidade do solo constitui um dos principais entraves para as produtividades agrícolas satisfatórias nos solos de terra firme da região Amazônica. Os motivos para tal comportamento estão ligados ao material de origem e às suas características físico-químicas e mineralógicas resultantes do processo de intemperismo.

Esses solos altamente intemperizados apresentam elevada acidez, baixa capacidade de troca catiônica e predomínio de minerais de argila 1:1, como a caulinita e os óxidos de Fe (hematita e goethita) e Al (gibbsita) com alta capacidade de adsorção de fósforo (P) (SOUZA et al., 2006). Estes fatores causam sérios problemas nutricionais às plantas, principalmente se tratando do P, nutriente fortemente fixado nestes solos, tornando-se não disponível para as plantas (FALCÃO e SILVA, 2004).

A fixação de fósforo é a denominação atribuída ao fenômeno de indisponibilidade de fósforo para as plantas, que ocorre tanto pela precipitação do P em solução com formas iônicas de ferro (Fe), alumínio (Al) e cálcio (Ca), quanto pela adsorção de óxidos de Fe e Al presentes nos solos, principalmente nos mais argilosos (NOVAIS et al., 2007). Nestas condições o solo apresenta-se como forte dreno de P, havendo a necessidade de aplicações de maiores quantidades dos fertilizantes fosfatados para suprir as necessidades das plantas (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Além das características inerentes ao solo, há também a interação destas com outros fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada, como por exemplo, as fontes do adubo e a própria cultura (ANGHINONI, 2004). No que se referem aos adubos fosfatados, estes estão entre os fertilizantes que apresentam maior opção de fontes no mercado, os quais variam quanto à composição, granulometria e solubilidade (SANTOS et al., 2008), e conseqüentemente variam também quanto à eficiência agrônômica.

Segundo Benedito et al. (2010), os fosfatos solúveis possuem rápida dissolução no solo, o que é vantajoso para a absorção do P pelas plantas. No entanto, a afinidade do P com os componentes dos solos tropicais podem favorecer também as reações de adsorção do nutriente no solo (RESENDE et al., 2006). Como alternativa, existem outros fosfatos, entre eles os de solubilidade mediana e os de baixa solubilidade, como os fosfatos naturais, que liberam o nutriente de forma mais lenta, minimizando sua retenção no solo (SILVA et al., 2009). Nestes, a quantidade de P geralmente liberada não é satisfatória para o crescimento inicial da planta, no entanto, estes podem ter a sua eficiência melhorada com o passar do tempo, sendo aproveitados principalmente pelas culturas de ciclo longo (NOVAIS et al., 2007).

As plantas diferem quanto sua capacidade de se desenvolverem em função dos níveis de P no solo (BHADORIA et al., 2002). A demanda por nutrientes varia de acordo com a espécie, cultivar ou genótipo, entre outros fatores. Em geral, plantas adaptadas a solos pouco férteis são menos influenciadas pela aplicação de fertilizantes do que as espécies quimicamente mais exigentes (SILVA e CORRÊA, 2008). Em resposta a baixos níveis de P disponível na rizosfera, as plantas têm desenvolvido mecanismos fisiológicos e bioquímicos altamente especializados para adquirir e utilizar o P. Como consequência, estas modificações aumentam o P disponível na rizosfera elevando sua absorção (RAGHOTHAMA, 1999).

Em relação ao curauá (*Ananas erectifolius* L. B. Smith), apesar do seu grande potencial como fornecedor de fibra para a indústria automobilística (PEREIRA et al., 2007), pouco se sabe sobre a exigência nutricional da espécie. Esta se adapta a diferentes tipos de solos e ambientes (CORDEIRO et al., 2010), sendo preferencialmente encontrada em solos arenosos e pouco férteis, onde atinge até 1,5m de altura (ROCHA e GHELIER JÚNIOR, 2003; RAMALHO, 2005). Apesar de ser uma espécie Amazônica, onde predominam Latossolos e Argissolos, que se caracterizam pela forte limitação química e alta capacidade de fixação de

P, Correia et al. (2009) avaliando o efeito de diferentes substratos, com e sem o fornecimento de fertilizantes de liberação lenta (NPK - 14:14:14 - 3,6 kg/m<sup>3</sup>), no crescimento de mudas de *Ananas erectifolius*, verificaram que, nos tratamentos com a adição dos fertilizantes, as plantas alcançaram maior número de folhas e matéria seca da parte aérea, resultados que sugerem um potencial de resposta da espécie ao fornecimento de nutrientes, entre os quais o P.

Desta forma, entre as maneiras de conhecer as respostas da planta quanto ao crescimento e eficiência de utilização deste nutriente, temos o acompanhamento das formas de acúmulo de P inorgânico (Pi) e P orgânico (Po) no tecido foliar (Fernandes et al., 2000). O Pi constitui a fração armazenada no vacúolo, funcionando como um tipo de reservatório do nutriente, e o Po, cujo armazenamento ocorre no citoplasma, é responsável pela fração utilizada no metabolismo da planta. A translocação do nutriente de um compartimento para o outro, dependerá, dentre outros fatores, de mecanismos intrínsecos à planta que influenciarão na capacidade de utilizar o P mesmo sob condições de baixa disponibilidade do nutriente (Martinez et al., 2005).

Portanto, levando em consideração a complexidade da dinâmica do fósforo no solo, principalmente nos mais intemperizados e a carência de estudos a respeito da cultura do curauá, em especial dos seus aspectos nutricionais, é que se faz necessário à realização de estudos que visem à compreensão das reações no solo dos fosfatos de características distintas, de forma a contribuir para um manejo mais racional da espécie, principalmente quanto à escolha da melhor fonte de P, e que auxilie o produtor a respeito das recomendações de adubação fosfatada que atendam as exigências nutricionais da cultura.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Avaliar o efeito de diferentes fontes de P no desenvolvimento inicial e na distribuição das frações fosfatadas na parte aérea do curauá (*Ananas erectifolius* L. B Smith).

### **2.2. Específicos**

- Identificar a melhor fonte de P para a cultura na fase inicial de desenvolvimento;
- Identificar quais as principais frações de P acumuladas pela espécie.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. Aspectos gerais do curauá

O curauá (*Ananas erectifolius* L. B Smith) é uma monocotiledônea pertencente à família Bromeliácea, originária da região Amazônica, especificamente da Amazônia paraense (PEREIRA et al., 2007). De caráter herbáceo e perene, possui um sistema radicular relativamente superficial e frágil e que em geral explora apenas os primeiros 15 a 20 cm do solo. Suas folhas são fibrosas e de muita mucilagem, podendo atingir até 1,5m de comprimento (SILVA, 2006). Esta espécie tem despertado grandes expectativas econômicas e isto se deve à produção de fibras extraídas de suas folhas (SILVA et al., 2011), produto que tem grande aplicabilidade na indústria automobilística, sendo utilizado, principalmente, no revestimento interno de automóveis, ônibus e caminhões (MOTHÉ e ARAÚJO, 2004). A demanda de fibras de curauá para a indústria automotiva e têxtil é superior a 500 ton/mês e seu uso está em constante crescimento (LAMEIRA et al., 2003).

Em comparação às fibras vegetais mais utilizadas, como a de coco, sisal e juta, o curauá tem apresentado um desempenho superior a estas, em função de sua boa resistência, flexibilidade e por apresentar peso reduzido, atingindo quase as mesmas propriedades das fibras de linho e vidro (ZAH et al., 2007). Atualmente, a fibra de curauá tem apresentado grande potencial para substituição às fibras de vidro, pois além da alta resistência mecânica esta apresenta também baixa densidade, ausência de odor, alto grau de flexibilidade, toque suave, fácil de processar e não abrasivo (GRAFORA et al., 2011). Já as fibras sintéticas, como as de vidro, de carbono e metálicas, apesar de serem rotineiramente utilizadas, apresentam como desvantagens o consumo eminente de energia para a sua produção, custos

elevados, maior abrasão para equipamentos de processamento, além de não serem degradadas em curto prazo (ARAÚJO et al., 2010).

Segundo Oliveira et al. (2008), no Brasil e no exterior, a fibra de curauá é submetida a frequentes pesquisas, que vêm apresentando resultados significativos, o que torna essa espécie a mais promissora entre aquelas produtoras de fibra da Amazônia brasileira. Além do potencial econômico, é atribuído um caráter socioambiental ao seu cultivo, desempenhando um papel importante na redução da pobreza, através do emprego de mão de obra entre as populações de baixa renda e também por ser um recurso renovável e biodegradável (GRAFORA et al., 2011).

Em relação à distribuição geográfica do curauá, o mesmo encontra-se distribuído nos estados do Pará, Acre, Mato Grosso, Goiás e Amazonas. O maior produtor é o estado do Pará, onde é cultivado principalmente por pequenos produtores do município de Santarém (COSTA et al., 2002).

Por outro lado, no Amazonas, embora o potencial para o cultivo desta espécie seja grande, ainda não existem plantios em escala comercial, mas, estudos já estão sendo realizados, visando à observação e incentivo ao cultivo do curauá na região (IDAM, 2010). Segundo Barcelos (2010), existem amplas possibilidades de expansão desta cultura no estado, notadamente pela agricultura familiar, aproveitando as áreas de florestas já desmatadas, gerando emprego e renda no interior, além de fazer uma ligação entre a produção rural e o polo industrial de Manaus, através do fornecimento de matéria prima para o setor automotivo, de televisores e tantos outros a serem conquistados.

Quanto às condições edáficas para o cultivo do curauá, a espécie apresenta um comportamento bastante rústico no que diz respeito ao tipo de solo, podendo atingir 1,5 m de altura em solos arenosos e pouco férteis, sendo, portanto, considerada pouco exigente em nutrientes (PEREIRA et al., 2007). No entanto, Correia et al. (2009) avaliando o crescimento

de plântulas micropagadas de *Ananas erectifolius* cultivadas em diferentes substratos e em condições de casa de vegetação, na presença e ausência de adubação, verificaram que as plantas obtiveram maior número de folhas e matéria seca da parte aérea quando cultivadas em substratos enriquecidos com fertilizantes, sugerindo que a espécie pode apresentar respostas positivas a adição de nutrientes como o P.

Em relação às condições climáticas, sendo esta espécie originária da região Amazônica, a mesma não se desenvolve bem em baixas temperaturas (OLIVEIRA et al., 2008). Como para maioria das bromeliáceas, o curauá requer para o seu melhor desenvolvimento vegetativo, condições ideais de luz e umidade atmosférica. O clima ideal é quente e úmido, com temperatura variando entre 22° e 32°C, umidade relativa do ar em torno de 90% e precipitação pluviométrica entre 2000 e 2500 mm anuais (SILVA et al., 2006).

### **3.2. Características físicas, químicas e mineralógicas dos solos de terra firme do Estado do Amazonas**

O curauá é cultivado na região Amazônica em áreas de terra firme, onde os solos predominantes são Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos e também Argissolos Vermelho-Amarelos (LEPSH, 2002), os quais possuem como característica comum o alto grau de intemperismo, consequência das elevadas temperaturas e precipitações, próprios de clima tropical úmido (CHIG et al., 2008). Possuem algumas propriedades físicas adequadas ao uso agrícola, sendo profundos, bem drenados, e com boa capacidade de retenção de água (MARQUES et al., 2010). No entanto, há fortes limitações químicas como elevada acidez, com pH variando de 4,0 a 5,4, baixa capacidade de troca de cátions, deficiência nutricional, alta saturação por alumínio, além de uma forte tendência em fixar P (FALCÃO e SILVA, 2004).

Com o aumento do grau de intemperismo, há uma mudança gradual de características de um solo, no sentido de torná-lo menos eletronegativo e, como consequência, mais eletropositivo. Com isso, sua capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases são diminuídas, enquanto aumentam gradualmente a retenção de ânions, como os fosfatos (NOVAIS et al., 2007). Nestes solos, a predominância de argilas silicatadas de baixa atividade, como a caulinita, e de sesquióxidos de ferro (hematita, goethita) e alumínio (gibbsita), são os principais responsáveis pela fixação de P (NOVAIS e MELLO, 2007). Nessa situação, o solo compete com a planta pelo P adicionado, caracterizando-se como um forte dreno de P, os quais respondem a grandes adições de fertilizantes fosfatados (CONTE et al., 2003).

A adsorção de P ocorre devido às reações químicas existentes ao longo do processo de intemperismo, atuantes no material de origem e no próprio solo, que levam à formação de minerais mais estáveis, como os oxidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) os quais atuam como adsorventes deste elemento, propiciando limitação da disponibilidade deste no solo (CROSS e SCHLESINGER, 1995). Nestas condições, o solo é, portanto, um fator limitante para a produtividade e sustentabilidade de sistemas de produção agrícola (CUNHA et al., 2007), uma vez que as características químicas do solo estão entre os principais fatores que condicionam o desenvolvimento das plantas (SANTOS et al., 2008). Como consequência, há necessidade da aplicação de altas doses de fertilizantes fosfatados para que o solo deixe de ser um dreno e passe a atuar como fonte de P para as plantas, possibilitando, assim a obtenção de altas produtividades.

### 3.3. Eficiência da adubação fosfatada em solos tropicais

A elevada capacidade de adsorção de P dos solos tropicais traz como consequência a diminuição da eficiência dos fertilizantes fosfatados aplicados nesses solos. De modo geral, apenas 10 a 20% do nutriente são aproveitados pelas culturas no ano de aplicação, além de proporcionar um baixo efeito residual para os cultivos futuros (BOLLAND e GICKES, 1998).

Segundo Anghinoni (2004), a eficiência de aproveitamento do nutriente pelas plantas pode ser definida, sob o ponto de vista fisiológico, como a quantidade de biomassa produzida por unidade de nutriente absorvido da solução. Sob o ponto de vista agrônômico, a eficiência é expressa pelo rendimento de biomassa (matéria seca, grãos, frutos, etc.) produzido por unidade de nutriente aplicado ao solo e, sob o ponto de vista econômico, trata-se da relação entre a receita financeira gerada por unidade de nutriente aplicado como adubo.

São numerosos os fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada, sendo que a abordagem desses devem considerar aspectos como, o pH, a textura e mineralogia do solo, a matéria orgânica, a solubilidade, granulometria, composição química e a forma de aplicação dos fosfatos, o tempo decorrido após a adubação, as diferenças varietais, os métodos de preparo do solo, o sistema de produção, a atividade microbiana, a presença de micorrizas, a atividade de fosfatases e a interação do fósforo com outros elementos (ANGHINONI, 2004; SANTOS et al., 2008; RESENDE et al., 2006; NUNES et al., 2008, MALAVOLTA, 2006).

No que se refere à textura do solo, a disponibilidade do P aplicado pode ser afetada pela diferença na superfície específica existente entre as frações texturais do solo, com a seguinte ordem de adsorção de fosfatos: argila > silte > areia (DONAGEMMA et al., 2008). Além de a argila apresentar maior superfície específica, a composição mineralógica desta

fração, geralmente, é rica em óxidos hidratados de ferro e alumínio, que junto com a caulinita, formam os constituintes mais efetivos na adsorção de P (RAIJ, 2004).

Nas condições de reação ácida a moderadamente ácida, os óxidos de ferro e alumínio apresentam-se preferencialmente com cargas positivas, sendo assim capazes de reter em sua superfície vários tipos de ânions, com predomínio de íons fosfatos (VALLADARES et al., 2003). Segundo Souza et al. (2004), a adoção de sistemas de manejo que visem o aumento do pH e da matéria orgânica do solo podem reduzir a adsorção de P. De acordo com esses autores, a elevação do pH do solo promove a redução na precipitação de P-Fe e P-Al, contribuindo para um aumento no P solução.

Por outro lado, os grupos funcionais carboxílicos e fenólicos presentes na matéria orgânica são responsáveis pelo bloqueio dos sítios de carga positiva dos óxidos de Fe e Al, reduzindo a adsorção do P. Dessa forma, manejos que promovem uma maior preservação da matéria orgânica do solo tendem a contribuir para uma maior disponibilidade deste nutriente (SOUZA et al., 2004).

Outro fator que influencia na eficiência da adubação são as modificações da rizosfera, provocadas pelas próprias raízes das plantas, que envolvem a absorção seletiva de íons e de água e a liberação de exsudatos, que alteram o fluxo e a absorção de nutrientes pelas raízes e, com isso, a eficiência da adubação fosfatada (ANGHINONI, 2004). Mudanças no pH do solo ao redor das raízes estão associadas ao balanço de cátions e ânions. Como as plantas necessitam manter o equilíbrio de cargas e o pH no interior das células próximo da neutralidade, quanto mais cátions são absorvidos, mais  $H^+$  são liberados pelas raízes e o pH decresce, similarmente, quanto mais ânions são absorvidos, há aumento de  $OH^-$  e pH, desta forma, a extrusão de prótons na rizosfera pode aumentar a disponibilidade de P em fontes pouco solúveis, (ARAÚJO e MACHADO, 2006), uma vez que condições ácidas são necessárias para a solubilização dessas fontes (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Em relação aos fatores ligados à planta, alterações bioquímicas em respostas à baixa disponibilidade de P no solo, podem aumentar a absorção do nutriente, como a maior atividade da fosfatase ácida, as quais estão associadas à remobilização de P nas plantas, como estratégia para manter o teor de Pi citoplasmático adequada à manutenção do metabolismo (NUNES et al., 2008). A associação mutualista entre fungos micorrízicos e as raízes das plantas hospedeiras também proporciona um significativo aumento da área de absorção do nutriente pelo sistema radicular, pois hifas fúngicas externas podem atingir até 80 cm/cm de raízes colonizadas, beneficiando a absorção de nutrientes de baixa mobilidade como o P devido à exploração de um volume de solo fora da zona natural de depleção das raízes principais e pelos absorventes (SANTOS et al., 2008). Além disso, a taxa de absorção de P também é controlada por características fisiológicas (herdáveis) que variam com as espécies, cultivares e genótipos.

A eficiência da adubação fosfatada também é influenciada pelo modo de aplicação, uma vez que a dissolução desses produtos é dependente de superfície de contato com o solo. Desta forma, os fosfatos naturais têm a sua eficiência aumentada quando aplicados a lanço e em área total (HOROWITZ e MEURER, 2004), já os fosfatos solúveis recomenda-se a aplicação localizada com o objetivo de diminuir o contato dos íons ortofosfatos com os pontos de retenção de P (PROCHNOW, 2004).

No que se refere à granulometria, a aplicação de fosfatos totalmente acidulados na forma de grânulos diminui-se o volume de solo com o qual o fertilizante reage, o que resulta em menor retenção de P pelo solo (PROCHNOW et al., 2004). Já os fosfatos naturais, como estes têm baixa solubilidade em água, quanto menor o tamanho da partícula, maior será o contato do fertilizante com o solo, aumentando, com isso, a liberação de fósforo (HOROWITZ e MEURER, 2004).

Além desses fatores, a interação com outros elementos resultantes da concentração do íon acompanhante, dos efeitos de inibição e sinergismo (MALAVOLTA, 2006), ademais da vegetação, manejo e histórico de uso do solo, a composição e a reatividade da fonte também podem influenciar na disponibilidade desse nutriente e, conseqüentemente, na sua absorção pelas plantas (SANTOS et. al., 2011).

### **3.3.1. Fontes de fósforo**

A qualidade dos adubos fosfatados está relacionada à sua capacidade em disponibilizar o P para a solução do solo. Assim, a característica que distingue as diferentes fontes do nutriente disponíveis no mercado, é, entre outros fatores, determinada, pelo seu grau de solubilidade, propriedade esta considerada de grande importância na avaliação da eficiência agrônômica dos adubos fosfatados (RAIJ, 2004). As principais fontes de P podem ser divididas em: a) fontes com alta solubilidade em água, como é o caso dos superfosfatos simples e triplo; b) produtos insolúveis em água e em ácido cítrico, que incluem os fosfatos naturais brasileiros (Araxá, Patos de Minas, Catalão e outros); c) produtos insolúveis em água e com alta solubilidade em ácido cítrico, entre os quais se enquadram os termofosfatos; d) os produtos insolúveis em água e com média solubilidade em ácido cítrico, fazendo parte desse grupo os fosfatos naturais sedimentares de alta reatividade (Carolina do Norte, Gafsa, Arad e outros) (SOUSA et al., 2004).

Entre as fontes de P, as solúveis ocupam lugar de destaque em termos de eficiência agrônômica e utilização na agricultura (GAVA et al., 1997), com destaque para os superfosfatos triplo e simples, os quais representam aproximadamente 50% dos fertilizantes fosfatados fabricados no mundo (MOREIRA et al., 2002). São produtos que quando incorporados ao solo, rapidamente liberam o P para a solução, sendo em seguida absorvidos

pelas raízes das plantas (ESTEVES e ROSOLEM, 2011), favorecendo principalmente a utilização do nutriente pelas culturas de ciclo curto (RICHART et al., 2006). No entanto, essa rápida liberação do nutriente pode também favorecer o processo de adsorção e precipitação do P pelos componentes do solo, originando compostos fosfatados de baixa solubilidade e indisponibilizando o nutriente para as plantas, especialmente em solos argilosos (BEDIN et al., 2003). Este comportamento foi observado por Melo et al. (2005), os quais testaram diferentes fontes de P em Latossolo Vermelho distroférico, na cultura do cafeeiro em diferentes fases de desenvolvimento, e verificaram que com o aumento do tempo de reação do superfosfato triplo com o solo, diminuiu a disponibilidade de P, dada a reação de fixação do nutriente no solo.

No caso dos termofosfatos, são fertilizantes resultantes do tratamento térmico de rochas fosfatadas com a adição de materiais fundentes (KAMINSKI et al., 1997), assim, além do fornecimento de fosfato tricálcico, a fonte também fornece ao solo silicatos de cálcio e magnésio (SANTOS et al., 2006). Sua solubilidade é considerada intermediária às fontes solúveis e aos fosfatos naturais, fator que contribui para tornar o processo de adsorção de P no solo mais lento, além disso, o ânion silicato presente nessas fontes, por competirem com os fosfatos pelos mesmos sítios de adsorção (TOKURA et al., 2011), contribuem para manutenção de P em sua forma lábil (OLIVEIRA et al., 2007). Outros pontos positivos no uso dos termofosfatos referem-se à sua reação corretiva, o que reduz as concentrações de Al e Mn no solo, além da ação benéfica do silício no controle de pragas e doenças e no aumento da tolerância ao estresse hídrico (RAMOS et al., 2006). No entanto, o fato dessa fonte apresentar reação mais lenta no solo, necessitará de períodos mais longos para completar sua solubilização, e, com isso, o P liberado do fertilizante poderá não suprir as necessidades das plantas na fase inicial de desenvolvimento, especialmente aquelas de ciclo curto (KAMINSKI et al., 1997; NOVAIS e SMITY, 1999) além disso, em função de apresentar um valor

comercial elevado, a relação custo/benefício pode não ser compensadora (RESENDE et al. 2006).

Quanto aos fosfatos naturais, estes são classificados em pouco reativos e altamente reativos. Os que são pouco reativos são de origem ígnea ou metamórfica, entre os quais estão incluídos os fosfatos naturais brasileiros de importância comercial, como fosfato de Araxá, Patos de Minas e Catalão. Já os de alta reatividade, são de origem sedimentar, entre os quais incluem o fosfato reativo de Arad, Carolina do Norte e Gafsa (SOARES et al., 2000). A diferença de reatividade, quando comparado aos fosfatos reativos brasileiros, se dá em função de um maior grau de substituição isomórfica de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) por carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), gerando instabilidade na estrutura cristalina da rocha, razões estas, que qualificam os fosfatos naturais importados como mais solúveis (reativos) em detrimento aos fosfatos naturais brasileiros (FONTOURA, et al., 2010; KORNDÖRFER et al., 1999). Quanto a sua eficiência agrônômica, os fosfatos naturais, de modo geral, são considerados inferiores aos superfosfatos e termofosfatos, e isso se deve, principalmente, à sua baixa solubilidade e, conseqüentemente, lenta liberação de P em curto prazo para as plantas, principalmente dos fosfatos naturais brasileiros (NOVAIS et al., 2007; KLIEMANN e LIMA, 2001).

Por outro lado, os fosfatos reativos têm fugido à regra, apresentando, em curto prazo, resultados equivalentes ao superfosfato triplo, além disso, em função de sua menor reatividade, minimizam os processos de fixação (RAMOS et al., 2010) e possuem maior efeito residual (FRANZINI et al., 2009). Resende et al. (2006) testaram a eficiência agrônômica de fontes de P em diferentes modos de aplicação em cultivos de milho, e verificaram que quando o fosfato reativo foi aplicado de forma parcelada, o resultado da produção de grãos acumulado no total de três cultivos superou as fontes solúveis superfosfato e termofosfato. Resultados semelhantes foram encontrados por Corrêa et al. (2005), onde verificaram que a aplicação de fosfato reativo de Gafsa incorporado ao um Argissolo Amarelo

foi eficiente tanto quanto o superfosfato triplo para a produção de matéria seca da parte aérea para a cultura do milho.

O fator solubilidade dos fertilizantes, como foi visto, é muito importante na avaliação da eficiência agrônômica das diferentes fontes de P, no entanto, a composição química desses fertilizantes é de grande relevância para interpretação adequada dos resultados agrônômicos (PROCHNOW, 2004), em vista às vantagens na incorporação de outros elementos essenciais às plantas, bem como a ocorrência de sinergismo ou antagonismo entre eles (MALAVOLTA, 2006).

O superfosfato simples, por exemplo, contém enxofre (S) em sua composição, e tem sido muito utilizado para suprir o S às plantas (HOROWITZ e MEURER, 2007). Já o superfosfato triplo, é fornecedor de cálcio (Ca), responsável em propiciar melhoria no ambiente radicular e maior desenvolvimento de raízes (PROCHNOW et al., 2004). No caso do termofosfato, como já mencionado, há na sua composição a presença de nutrientes secundários como o cálcio (Ca), magnésio (Mg) e silício (Si) e também de micronutrientes, entre eles o boro (B), cobre (Cu), Ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn) (ALCARDE e VALE, 2003). Seus efeitos alcalinos melhoram a disponibilidade de nutrientes e aumentam a utilização dos mesmos pelas plantas (SANTOS et al., 2006). No caso dos fosfatos naturais, especialmente os reativos, também fornecem cálcio e carbonatos que podem ajudar na correção da acidez (KORNDÖRFER, 2003).

### **3.4. Importância do fósforo para as plantas**

O P é um componente integral de compostos importantes das células vegetais, incluindo fosfato-acúcares, intermediários da respiração e fotossíntese, bem como os fosfolípidios que compõem as membranas vegetais. Ele é também um componente de

nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas como o trifosfato de Adenosina (ATP), ácido desoxirribonucléico (DNA) e ácido ribonucléico (RNA) (TAIZ E ZEIGER, 2009). Apesar da sua participação em diferentes processos metabólicos, a principal função desempenhada na planta está relacionada ao armazenamento e transferência de energia (MALAVOLTA, 2006).

Diante disso, no caso de deficiência de P, os primeiros sintomas visuais podem ser observados nas folhas que, em algumas espécies, apresentam uma coloração verde-escura ou azul-esverdeada. Podem surgir também pigmentos vermelhos, púrpuros e marrons, especialmente ao longo das nervuras (EPSTEIN e BLOOM, 2006). Além disso, sob condições de deficiência severa, as plantas apresentam enfezamento, com encurtamento dos internódios, crescimento reduzido e aspecto raquítico (SILVA et al., 2003). De modo geral, no estágio inicial do ciclo vegetativo, ocorre restrição do crescimento da planta (GRANT et al., 2001), e em plantas adultas sua deficiência pode acarretar em menor perfilhamento, atraso no florescimento e número reduzido de frutos e sementes (ARAÚJO e MACHADO, 2006).

As culturas de interesse econômico, com elevadas taxas de crescimento, normalmente necessitam de elevadas aplicações de fertilizante fosfatado para a obtenção de adequadas produtividades. Em solos com baixos teores de P disponível, como os solos da Amazônia são requeridos aplicações anuais de manutenção da ordem de 20 a 50 kg ha<sup>-1</sup> de P para a maioria das culturas (RAIJ et al. 1991).

Com relação à cultura do curauá, não se podem fazer inferências precisas a respeito de suas exigências nutricionais, dada a escassez de pesquisas e informações consistentes na literatura (SILVA, 2006). No entanto, Silva (2006) estudando o efeito da omissão de macronutrientes em plantas de curauá cultivadas em vasos com solução nutritiva, observou que a maior restrição na produção de matéria seca foi proporcionada pela omissão de nitrogênio (N) e potássio (K), sendo o K o nutriente mais limitante para as variáveis: matéria

seca e crescimento da cultura nas condições do experimento, mas foi verificado também um menor crescimento das plantas quando o P foi omitido na solução.

Embora ainda não seja conhecida a importância do P para a cultura do curauá, alguns estudos mostram resposta positiva à adição deste nutriente, e, levando em consideração que a maioria dos solos da Amazônia onde é cultivada esta espécie apresenta baixa disponibilidade de P, o fornecimento desse nutriente é uma prática que deve sempre ser considerada nos programas de adubação para a região Amazônica.

### **3.5. Formas de fósforo na planta**

As porções de um composto dentro da planta são metabolicamente isoladas umas das outras em compartimentos distintos (BIELESKI, 1973). O fósforo pode ser encontrado em formas inorgânica ou orgânica, sendo que o P-inorgânico (Pi) constitui a fração armazenada no vacúolo, denominado de “pool” não metabólico, correspondendo 85 a 95% do P total da planta. Já a fração orgânica (Po), fica localizada no citoplasma da célula e compreende o “pool” metabólico, forma esta sensível às variações na disponibilidade de P dos solos (NOVAIS e SMITH, 1999).

Os estudos a respeito das formas de P no tecido vegetal tornam-se muito importante para o conhecimento dos aspectos nutricionais da planta, uma vez que as informações obtidas podem explicar o comportamento em crescimento das plantas e a sua eficiência na utilização do nutriente (FERNANDES et al., 2000).

Existem alguns fatores determinantes da alocação do P-inorgânico ou P-orgânico, e entre eles está o fator capacidade tampão de fósforo (FCP) dos solos (LANA et al., 2004), que pode ser definido pela razão de equilíbrio entre a quantidade de P (Q) e o P em solução (I) e representa uma medida da capacidade do solo em manter um nível determinado de P em

solução. As características e o teor dos constituintes minerais da fração argila são responsáveis pela velocidade do processo de passagem do P lábil para o P não-lábil (BROGGI et al., 2011).

Desta forma, a influência do FCP na alocação de P na planta está ligada a maior ou menor disponibilidade do nutriente no solo (FERNANDES et al., 2000). Segundo Martinez et al. (2005), quando há maior disponibilidade de P, a planta acumula o nutriente na forma inorgânica (vacúolo), e em situações em que o fornecimento é limitado, o Pi previamente acumulado, é translocado para o citoplasma (Po) para atender a demanda da planta.

Semelhante à dinâmica do fósforo no solo, a planta também teria um tampão interno ou fator capacidade de P, que seria, neste caso, a fração inorgânica, onde o P estocado nos vacúolos seria liberado para o citossol da célula conforme a demanda da planta (RODRIGUES et al., 2003). Santos et al. (2008) avaliando frações fosfatadas em diferentes espécies florestais observaram que as plantas que possuem um crescimento lento apresentaram uma maior proporção de P no compartimento orgânico (Po), comportamento justificado pelo menor desenvolvimento radicular e conseqüentemente menor absorção de P, sugerindo que o pouco P absorvido era na sua maior parte convertido a Po, ou seja, era rapidamente incorporado em compostos metabólicos.

É importante salientar que além das características do solo, do sistema radicular, outros fatores também influenciam na absorção do P e conseqüentemente sua alocação na planta, como por exemplo, interações com microrganismos do solo (Shen et al., 2011). Martinez et al. (2005), em estudo com diferentes variedades de soja cultivadas em solução nutritiva com e sem P, observaram que sob o suprimento adequado de P, as plantas armazenaram maior quantidade de P em sua forma inorgânica. No entanto, também foi observado por estes mesmos autores, que quando o fornecimento de P foi limitado, houve

uma variação entre as variedades quanto à capacidade de suprir  $P_i$  à fração orgânica, o que pode ser explicado pelas diferenças metabólicas peculiares a cada espécie ou cultivar.

Para Bielecki (1973), algumas plantas apresentam mecanismos fisiológicos mais eficientes para a acumulação de P inorgânico, e entre esses mecanismos estão os relativos à geometria do sistema radicular, assim, raízes mais finas e com uma área de superfície maior são capazes de extrair P de um maior volume de solo e aumentar a sua absorção. Segundo Fernandes et al. (2000), plantas mais exigentes em P, acumulam maior quantidade de P no compartimento inorgânico (vacúolo).

Desta forma, relacionando as diferentes fontes de P quanto à sua solubilidade e frações de P na planta, é provável que as fontes mais solúveis promovam um maior acúmulo de P no compartimento inorgânico ( $P_i$ ) quando comparado com aquelas de média à baixa solubilidade, em função da liberação rápida dessas fontes contribuírem para uma maior absorção, conseqüentemente maior estoque de P no vacúolo celular.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1. Localização do experimento**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), no período de maio a setembro de 2011. Utilizando amostras de um Latossolo Amarelo distrófico textura argilosa coletada na camada subsuperficial (20 - 40 cm). No momento da coleta do solo, a área encontrava-se encoberta por uma floresta secundária, situada a 03°06'11" de latitude sul e 59°58'32" de longitude oeste.

### **4.2. Preparo e caracterização química, física e mineralógica do solo**

Antes da instalação do experimento, o solo foi homogeneizado, destorroado, seco ao ar, passado em peneira de 4 mm de abertura e subamostras do mesmo foram passadas em peneiras de 2 mm e submetidas a análises químicas de rotina: pH em água, KCl e  $\text{CaCl}_2$  na relação 1:2,5, determinação de Ca, Mg e Al extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, P e K pelo extrator Mehlich-1. Os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn foram extraídos com Mehlich-1 e B com água quente. A acidez potencial (H+Al) foi determinada conforme Raij et al. (1987).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), utilizando-se NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> como dispersante químico e agitação rápida (20 minutos), sendo a fração areia (2-0,053 mm) separada através de tamisagem. Foram ainda determinados os teores de óxidos do ataque sulfúrico, conforme Vettori (1969), com modificações da EMBRAPA (1997). Caulinita, gibbsita, hematita e goethita foram estimadas por alocação, a partir de dados do ataque sulfúrico (RESENDE et al., 1987). A caracterização química, física

e mineralógica do solo, previamente à implantação do experimento, é apresentada na Tabela 1. Observa-se a baixa disponibilidade de fósforo pelos extratores Mehlich 1 (ALVAREZ V. et al., 1999) e resina de troca iônica (RAIJ et al., 1996).

**TABELA 1:** Atributos químicos, físicos e mineralógicos do solo (20 - 40 cm de profundidade), antes da aplicação dos tratamentos.

pH (H <sub>2</sub> O)	4,3
P - Mehlich 1 (mg dm <sup>-3</sup> )	1,5
K (mg dm <sup>-3</sup> )	8
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,1
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,1
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,4
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	7,9
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,2
t (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,6
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,1
V (%)	2,7
m (%)	86,4
S – sulfato (mg dm <sup>-3</sup> )	59,4
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,2
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	0,2
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	220,3
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	0,2
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	0,1
P – remanescente (mg L <sup>-1</sup> )	29,8
Matéria orgânica (dag kg <sup>-1</sup> )	1,2
Areia (dag kg <sup>-1</sup> )	30,0
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	30,0
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	40,0
Caulinita ( kg de solo)	60,7
Gibbsita ( kg de solo)	12,2
Goethita (kg de solo)	2,32

Após a caracterização, o solo recebeu carbonato de cálcio e carbonato de magnésio puro para análise (p.a), na relação de quatro partes de cálcio para uma de magnésio. As doses foram calculadas pelo do Método da Saturação por Base, adotando-se o critério de aumentar a

saturação por bases (V) a 55%. Após a aplicação do calcário, o solo foi incubado por 30 dias e nesta fase a umidade foi mantida em 60% do volume total de poros (VTP).

### **4.3. Descrição do experimento**

O experimento avaliou diferentes fontes de P utilizando a espécie curauá como planta teste, por um período de 120 dias, em casa de vegetação. Sendo utilizado como recipientes vasos de polietileno com capacidade para 1,5 dm<sup>3</sup>.

### **4.4. Delineamento experimental e tratamentos**

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e 12 repetições. Cada parcela experimental foi composta por uma planta. Os tratamentos foram as cinco fontes de fósforo na dose de 250 mg dm<sup>-3</sup> de P (ST- superfosfato triplo, 46,1% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; TM-termofosfato magnésiano Yoorin, 18,1% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; FR-fosfato reativo de Arad, 33,1% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; FA-fosfato de Araxá, 22,7% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e Ácido fosfórico e mais um tratamento controle (sem o fornecimento de P). Exceto o tratamento com a fonte ácido fosfórico que foi utilizado mudas de raiz nua, os demais tratamentos foram utilizados mudas embaladas preparadas em tubetes de 120 cm<sup>3</sup>. Apenas o ácido fosfórico que foi fornecido na forma líquida, enquanto as demais fontes foram fornecidas na forma de Pó. No caso da fonte superfosfato triplo, esta foi moída em gral de ágata e, posteriormente, misturada ao solo. A quantidade aplicada de cada fonte foi calculada com base no teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total dos fertilizantes conforme tabela 2.

**TABELA 2.** Caracterização química e física dos fertilizantes fosfatados.

Características	ST	TM	FR	FA	AF
	%				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	46	17	33	22,7	52,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em H <sub>2</sub> O	41	-	-	-	52,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em citrato + água	-	-	-	-	52,6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico	5	13	10	4,3	-
Cálcio	14	20	37	40	-
Enxofre	1	6	1	-	-
Magnésio	-	7	-	-	-
Zinco	-	0,55	-	-	-
Molibdênio	-	0,006	-	-	-
Boro	-	0,1	-	-	-
Cobre	-	0,05	-	-	-
Manganês	-	0,12	-	-	-
Equivalente CaCO <sub>3</sub>	-	50	-	-	-
Granulometria	Granulado	Pó	Farelado	Pó	Líquido

ST – Superfosfato Triplo; TM – Termofosfato Magnésiano; FR – Fosfato Reativo de Arad; FA – Fosfato de Araxá; AF – Ácido fosfórico.

Na mesma época da aplicação dos tratamentos, foi feita uma fertilização básica adaptada de Allen et al. (1976) e Malavolta (1980) para experimento em casa de vegetação, utilizando-se sais p.a e balanceados. A adubação básica com macro e micronutrientes foram constituídas de: 100 mg de N; 100 mg de K; 40 mg de S; 5 mg de Zn; 1,5 mg de Cu; 3,6 mg de Mn; 0,8 mg de B; 0,15 mg de Mo por dm<sup>-3</sup>, utilizando reagentes p.a. As fontes utilizadas foram NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>; K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O; MnSO<sub>4</sub>; H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O. Os nutrientes foram aplicados em forma de solução e misturados aos solos para maior uniformização. Após a aplicação dos tratamentos e da fertilização básica o solo foi novamente incubado por 20 dias mantendo a umidade em torno de 60% do volume total de poros (VTP) (FREIRE et al., 1980). Após o período de incubação, novas amostras do material de solo de cada unidade experimental foram coletas para serem avaliadas quimicamente, conforme tabela 3.

**TABELA 3:** Fósforo disponível (P-resina) no solo após aplicação das fontes superfosfato triplo (ST), termofosfato magnésiano (TM), fosfato reativo Arad (FR), fosfato de Araxá (FA), ácido fosfórico (AF) e controle e incubado por 30 dias.

P-resina (mg dm <sup>-3</sup> )	Fontes de P					Controle
	TM	FR	ST	FA	AF	
	145,59 A	134,60 A	110,58 A	94,40 AB	23,58 BC	6,19 C

Durante o período de condução do experimento foram efetuadas três adubações complementares com 100 mg dm<sup>-3</sup> de N e K, fornecendo um total de 300 mg dm<sup>3</sup> de cada nutriente, a cada 30 dias, utilizando-se as fontes NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

#### 4.5. Condução do experimento

Após o período de incubação dos tratamentos e adubação básica, foi realizado o transplântio das mudas (com substrato e raiz nua) de curauá roxo (*Ananas erectifolius* L. B. Smith).

As mudas utilizadas no experimento foram fornecidas pelo Centro de Biotecnologia da Amazônia (CBA), preparadas em tubetes de 120 cm<sup>3</sup> as quais se apresentavam com um tamanho médio de 10 cm.

Durante a condução do experimento, a umidade foi mantida em 60% VTP (FREIRE et al., 1980) através pesagem dos vasos e adição de água deionizada. Visando eliminar possíveis interferências ambientais durante a condução do estudo, foram feitos rodízios semanais com os vasos.

#### 4.6. Variáveis analisadas

As mudas permaneceram em casa de vegetação por 120 dias após o transplântio. Nessa época, foi avaliado, o número de folhas; altura (cm), medida com régua graduada, a

partir do colo da planta até a extremidade da maior folha; diâmetro do caule (mm), com o auxílio de um paquímetro digital, medida tomada a 2 cm do colo da planta; diâmetro da roseta (cm), determinado utilizando régua graduada, considerando as extremidades de suas folhas opostas que apresentam a maior dimensão; maior largura da folha (cm), com o auxílio de régua graduada, a medida foi obtida utilizando-se a parte mais larga da folha e as leituras foram realizadas em três folhas superiores totalmente expandidas, de cada planta.

Posteriormente, as plantas foram colhidas, separando-as em (folhas + caule) e raízes. As diferentes partes foram lavadas em água deionizada e secas em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura 65 °C, até atingirem massa constante.

Após a secagem, foi determinada a massa da matéria seca da parte aérea (folhas + caule) (MSPA) e raiz (MSR), que em seguida foram moídas em moinho tipo *Willey* para serem analisadas quimicamente. A digestão e determinação analítica dos nutrientes na MSPA foram realizadas conforme Malavolta (1997). Com base nos teores de nutrientes e na produção de MSPA foi calculado o acúmulo dos nutrientes.

No momento da colheita das plantas, foi colhida a folha “D” (Maior folha recém-amadurecida, num ângulo de 45° com bordos da base paralelos). Em seguida, foram pesados cerca de 0,5 g de cada folha colhida, sendo as amostras colocadas em ácido perclórico 0,2 N e armazenadas em freezer para posteriormente serem analisados os teores de fósforo inorgânico solúvel em ácido (Pi), fósforo total solúvel (Pts) e, por diferença o fósforo orgânico (Po), conforme método de Smille & Krotkov (1960) e Hogue et al. (1970), modificado por Martinez (1992).

Foram estimados também os índices de eficiência de absorção de P, conforme a expressão:  $EAP = [\text{Fósforo acumulado na parte aérea} / \text{Quantidade de fósforo aplicada}]$  e índice de eficiência de utilização de P conforme a expressão:  $EUP = [\text{Matéria seca da parte aérea} / \text{P acumulado na parte aérea}]$  (Moll et al., 1982).

#### **4.7. Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância e, quando o F foi significativo ao nível de 5% de probabilidade as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, utilizando-se o programa estatístico SAEG 9.1 (SAEG. 2009).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Absorção de nutrientes

O fator fontes de fósforo influenciou significativamente o acúmulo de P na parte aérea das plantas (Tabela 1A).

O fornecimento da fonte ST proporcionou os maiores valores de P acumulado na parte aérea (Tabela 4). Os maiores valores observados por esta fonte provavelmente seja em função da sua maior solubilidade e confirma os resultados encontrados nas variáveis de crescimento (Tabela 7), indicando que a espécie é potencialmente responsiva ao fornecimento de P. Tal premissa é confirmada pelo fato de que quando foi aplicada uma fonte de menor solubilidade e reatividade no solo (FA) não houve diferença significativa em relação ao acúmulo de P, quando comparado ao tratamento controle (sem adição de P) (Tabela 4).

**TABELA 4:** Conteúdo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea do curauá, em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.

FONTES DE P	N	P	K	Ca	Mg	S
	g planta					
ST	0,304 a	0,013 a	0,082 a	0,094 a	0,051 a	0,052 a
TM	0,256 ab	0,009 ab	0,063 ab	0,097 a	0,041 ab	0,038 abc
FR	0,261 ab	0,009 ab	0,057 ab	0,088 ab	0,041 ab	0,032 bc
FA	0,190 ab	0,008 b	0,065 ab	0,062 ab	0,036 ab	0,031 bc
AF	0,264 ab	0,009 ab	0,052 ab	0,054 ab	0,038 ab	0,046 ab
CONTROLE	0,179 b	0,006 b	0,046 b	0,046 b	0,027 b	0,023 c

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

ns - não significativo ( $P > 0,05$ ) pelo teste F.

\*\*, \*: significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste F.

ST – superfosfato triplo; TM – termofosfato magnésiano; FR – fosfato reativo de Arad; FA – fosfato de Araxá; AF – ácido fosfórico.

Quanto às demais fontes, observa-se uma tendência de nivelamento entre TM, FR, FA e AF, resultados estes que, provavelmente sejam em função da semelhança de reatividade entre os fertilizantes, principalmente entre as primeiras fontes. Além disso, podem está

associados aos atributos químicos do solo, como maior teor de argila e dos minerais caulinita, gibbsita e goethita (Tabela 1), constituindo-se num solo com alto poder de adsorção de P. No caso específico do AF, pode-se inferir que o fato do mesmo ser fornecido na forma líquida prontamente disponível, o que aumenta o contato da fonte com as partículas de solo, potencializou a fixação do P pelo solo, fazendo com que uma fonte de alta solubilidade se comportasse como uma fonte de baixa e média solubilidade de P. Os resultados obtidos concordam, em parte, com aqueles encontrados por Melo et al. (2005), os quais verificaram que, aos 41 meses após o plantio do cafeeiro, em Latossolo Vermelho distroférico, o fosfato de Araxá foi à fonte que proporcionou o maior rendimento para a cultura, sendo o menor rendimento obtido com o superfosfato triplo, evidenciando mais uma vez, a forte tendência de fixação de P em função do aumento do tempo de contato do fertilizante com o solo.

Em relação ao FR e FA, deve-se ressaltar que, apesar de se enquadrarem na classe dos fosfatos naturais, que se caracterizam pela sua lenta solubilidade, são fertilizantes que apresentam qualidades distintas. Sendo essa diferença determinada pela origem e grau de substituição isomórfica do fósforo por carbonatos na rede cristalina, por isso, os fosfatos naturais importados de origem sedimentar (FR) são mais solúveis do que os naturais brasileiros de origem ígnea (FA), por possuírem menor cristalização e maior reatividade no solo (FONTOURA et al., 2010; HOROWITZ e MEURER, 2003), fato que explica os maiores resultados proporcionados pelo fosfato natural reativo Arad em detrimento ao Araxá, o qual apresentou os menores valores, igualando-se ao tratamento controle (TABELA 4). Ono et al. (2009) testaram superfosfato triplo e fosfato reativo de Arad em soja e milho na sucessão a soja, cultivados em Latossolo Vermelho distroférico argiloso, e observaram que para a cultura da soja (avaliada aos 72 dias após o plantio), o ST apresentou o melhor desempenho, e quando se avaliou o milho, a fonte FR, tendeu a equipara-se ao ST. Costa et al. (2008) testaram fontes de P em braquiária cultivada em casa de vegetação num Latossolo Vermelho

distroférico e verificaram equiparação de resposta do FR e ST no acúmulo de P na matéria seca da parte aérea.

Em relação ao acúmulo dos demais nutrientes, observa-se que semelhante ao P, em geral, houve uma tendência de o ST promover os maiores valores tanto de macro quanto micronutrientes na parte aérea do curauá (TABELA 4 e 5).

**TABELA 5:** Conteúdo de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) na parte aérea do curauá em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.

FONTES DE P	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg planta -----				
ST	0,213 ab	0,071 a	0,734 a	1,300 ab	0,281 a
TM	0,273 a	0,061 ab	0,481 ab	0,404 c	0,184 ab
FR	0,214 ab	0,061 ab	0,718 a	0,939 bc	0,200 ab
FA	0,188 ab	0,052 ab	0,546 ab	1,532 a	0,205 ab
AF	0,164 b	0,047 b	0,394 b	1,010 ab	0,255 ab
CONTROLE	0,145 b	0,047 b	0,597 ab	0,836 bc	0,180 b

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

\*\*, \*: significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste F.

ns - não significativo ( $P > 0,05$ ) pelo teste F.

ST – superfosfato triplo; TM – termofosfato magnésiano; FR – fosfato reativo de Arad; FA – fosfato de Araxá; AF – ácido fosfórico.

O fósforo pode afetar a absorção de nutrientes de várias maneiras, podendo ser através de um maior alcance dos nutrientes na solução do solo, em função deste promover um maior desenvolvimento do sistema radicular (YAMADA, 2002), ou por sua interação com outros nutrientes, como no caso do Mg, o qual possui efeito sinérgico na absorção do fósforo. Vale ressaltar que, em relação à absorção de Mg, apesar da fonte TM apresentar este elemento na sua composição, não foi verificado um maior conteúdo do nutriente. Silva et al (2007), ao avaliar o efeito de diferentes fontes de fósforo no desenvolvimento inicial de mogno, observou que na presença e ausência de calagem o TM proporcionou o maior conteúdo de magnésio, o que pode ser justificado pela reação básica e presença do Mg na composição da fonte.

De modo geral, o acúmulo de macronutrientes na matéria seca foliar do curauá, para todas as fontes utilizadas, obedeceu a seguinte ordem: Ca > K > Mg > N > S > P (Tabela 4).

Em relação aos micronutrientes houve uma tendência de acúmulo na seguinte ordem:  $Mn > Fe > Cu > Zn > B$  (Tabela 5). Malavota et al. (1997) se refere como teores de nutrientes na composição mineral da folha do abacaxi (folha inteira ou parte aclorofilada), espécie pertencente a mesma família do curauá, da seguinte maneira:  $K > N > Mg > Ca > S > P > Fe > Mn > B > Zn > Cu$ . Vale ressaltar que, é comum encontrar comportamentos contrastantes entre espécies e entre genótipos, quanto à capacidade de utilização dos nutrientes (SANTOS et al., 2008), além disso, a parte amostrada da folha utilizada para análise também pode representar uma fonte de variação entre os teores dos nutrientes, principalmente para os macronutrientes (SIEBENEICHLER et al., 2002). Nota-se que em relação ao fósforo, para as duas espécies, a quantidade de fósforo absorvida foram bem menores em relação aos outros macronutrientes. No entanto, embora exigido em pequenas quantidades o P exerce funções primordiais no metabolismo da planta (SIMÕES NETO et al., 2012). Desta forma, o seu fornecimento é fundamental para fase inicial do desenvolvimento, sendo que a falta de P no início do desenvolvimento restringe o seu crescimento, condição pela qual a planta não se recupera posteriormente, limitando seriamente os rendimentos das culturas (GRANT et al., 2001).

## **5.2. Frações inorgânicas e orgânicas de fósforo na folha de curauá**

A aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo influenciou a distribuição das frações fosfatadas nas folhas do curauá (Tabela 3A).

Em relação ao P<sub>t</sub>, os maiores valores foram proporcionados pelas fontes de menores solubilidades (Tabela 6). Esse resultado provavelmente está relacionado com o fato destas frações de P serem obtidas na matéria fresca da planta, dessa forma, aqueles tratamentos que promoveram um maior crescimento (ST, TM e AF), contribuíram para uma maior diluição do

nutriente no tecido e conseqüentemente os valores serão menores quando comparados aos tratamentos onde o crescimento foi menor. Nota-se que no presente estudo tal hipótese é em parte confirmada, uma vez que o maior crescimento da espécie foi verificado para a fonte ST (Tabela 7). Segundo Primaves (1979), o menor teor de nutrientes, não significa necessariamente, uma absorção e nutrição deficiente, mas pode indicar também um crescimento mais intenso e conseqüentemente a quantidade de íons absorvidos serão diluídos em uma maior área.

**TABELA 6:** Frações de fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po) e fósforo total (Pts) na folha do curauá em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.

FONTES DE P	FORMAS DE P NA PLANTA		
	Pi	Po	Pts
	mg Kg <sup>-1</sup>		
ST	49,71 ab	90,66 b	140,37 b
TM	44,65 ab	52,24 b	96,88 b
FR	31,46 b	159,37 a	190,82 a
FA	43,23 ab	148,24 a	191,47 a
AF	50,87 a	77,79 b	128,65 b
CONTROLE	45,44 ab	81,21 b	126,65 b

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

ST – superfosfato triplo; TM – termofosfato magnésiano; FR – fosfato reativo de Arad; FA – fosfato de Araxá; AF – ácido fosfórico.

Quanto às formas de Pi, depreende-se que o maior valor foi proporcionado quando a espécie recebeu no seu cultivo a fonte AF, porém, não diferenciando significativamente das fontes ST, TM, FA e tratamento controle (Tabela 6). Conforme os resultados há uma tendência de fontes com maiores solubilidades promoverem uma maior absorção de P e acúmulo deste no vacúolo (Pi). Esses resultados indicam que os maiores valores observados em plantas que receberam AF, sinalizam um consumo de luxo de P pela planta, pois o maior teor de Pi no vacúolo não traduziu em maior crescimento (Tabela 7). Esta forma de P é a que sofre maior variação em função da disponibilidade do nutriente no solo (MARTINEZ et al., 2005).

Segundo Bielecke (1973), quando há um suprimento mais elevado de fósforo no solo, a absorção do nutriente pelas raízes é aumentada de duas maneiras distintas, através do aumento da quantidade disponível e também do fluxo difusivo do nutriente no solo, sendo a velocidade com que o nutriente é absorvido controlado por parâmetros cinéticos ( $I_{max}$ ,  $K_m$  e  $C_{mim}$ ), os quais resultam das interações de diversos fatores, entre eles as características morfológicas e fisiológicas da planta, da rizosfera imediata adjacente ao sistema radicular e de características do solo que determinam o fluxo de nutrientes para interface solo-raiz (MARCOLAN, 2006).

Em relação à fração  $P_o$ , observa-se que os maiores valores foram verificados nos tratamentos com as fontes de menor solubilidade FA e FR, comportamento semelhante ao observado para o  $P_{ts}$  (Tabela 6). No caso da fração orgânica, esta resposta deve estar relacionada à menor disponibilidade do nutriente proporcionada por esses fosfatos, em função de sua lenta solubilização no solo. É plausível relacionar esses resultados à mobilização de íons do vacúolo para o citoplasma a fim de garantir a manutenção de P necessária ao crescimento da planta, o que provavelmente justifica a queda acentuada nos valores de  $P_i$  tanto no FA quanto FR (Tabela 6).

Quanto à dinâmica das frações de P, observa-se que, independente da fonte, o acúmulo de P nas folhas do curauá dá-se preferencialmente no compartimento orgânico. Tal resultado tem sido relatado para espécies de crescimento lento e pouco exigentes em P (SANTOS et al., 2008). Esses resultados indicam uma baixa capacidade de absorção de P pela espécie, os quais podem ser verificados pelos baixos teores foliares desse nutriente na matéria seca foliar, cujos valores, para o ST, TM, FR, FA, AF e controle foram, respectivamente, 0,96; 0,84; 0,78; 0,80; 0,92 e 0,77 (g/kg), os quais se encontram abaixo das faixas citadas como adequadas para plantas da mesma família como o abacaxizeiro, 2,1 - 2,3 g/kg (Malavolta et al., 1997). O que deve estar relacionado ao desenvolvimento do sistema radicular superficial, característica que

pode ser resultante de uma estratégia adaptativa de plantas crescidas naturalmente em solos com baixa disponibilidade de P, como é o caso da maioria dos solos de terra firme da Amazônia, região considerada como centro de origem da espécie.

Segundo Chapin e Bielecki (1982), espécies adaptadas a ambientes de baixa disponibilidade de P, em geral apresentam pequena taxa de crescimento, taxas de absorção de nutrientes moderadas e altas concentrações de nutrientes no tecido, em comparação a espécies de rápido crescimento sob as mesmas condições. Estas características podem auxiliar na adaptação a condições de estresse, pois um crescimento lento induz menor demanda e exaustão dos recursos do ambiente, com isso, ocorreria menor incorporação de fotoassimilados e nutrientes, permitindo a formação de reservas dentro da planta, podendo estas espécies sobreviver durante períodos em que nenhum crescimento é possível (GRIME e HUNT, 1975).

Todos esses fatores podem explicar a maior concentração total de P nos tratamentos submetidos às fontes que proporcionaram a menor disponibilidade de P, isto sugere que além de não necessitar de elevadas doses do nutriente para suportar o crescimento inicial, a utilização de fontes de baixa solubilidade seria uma prática de manejo relativamente segura, pois a liberação mais lenta do P do fertilizante garantiria o crescimento satisfatório da planta por considerável período de tempo (SANTOS et al., 2008). Por outro lado, quando essas plantas são submetidas a condições de baixo suprimento de P, a ausência de uma reserva do nutriente P, poderá causar disfunção no metabolismo, e a planta ter seu crescimento paralisado mais rapidamente em comparação àquelas que apresentam mais P no vacúolo.

### 5.3. Crescimento das plantas

De modo geral, o fator fontes de fósforo afetou de maneira diferenciada a maioria das variáveis de crescimento do curauá (Tabela 4A).

Os maiores valores das características de crescimento foram proporcionados pela fonte ST, embora não diferindo significativamente das fontes TM, FR, FA e AF (Tabela 7). Exceto a variável RPAR, onde os maiores valores foram observados para a fonte TM, porém não diferenciando significativamente do ST (Tabelas 7). Em relação ao comportamento do ST, provavelmente esse resultado está relacionado à alta solubilidade apresentada por esta fonte e suas reações com os componentes do solo, o que conseqüentemente promoveu uma maior disponibilidade do nutriente, favorecendo a absorção pela planta. Esses resultados sugerem a importância do P para o crescimento do curauá e que essa espécie é potencialmente responsiva à sua adição. Tal premissa é reforçada pelos baixos valores no solo apresentados quando a espécie foi cultivada em uma condição com baixo teor de P disponível, “tratamento controle” que apresentava apenas  $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de P (Tabela 1).

Em relação ao comportamento das fontes, esses resultados corroboram com aqueles encontrados por Resende et al. (2006), avaliando a resposta do milho cultivado em um Argissolo Vermelho distrófico, fertilizado com fosfato natural de Araxá, Arad, termofosfato magnésiano e superfosfato triplo, onde verificaram que a maior produção de grãos no primeiro cultivo foi obtida com a aplicação do ST. Maiores rendimentos com o uso do ST também foram observados por Ieiri et al. (2010), testando superfosfato triplo, termofosfato magnésiano e hiperfosfato de Gafsa, em Latossolo Vermelho distrófico textura média, cultivado com *Brachiaria decumbens* Stapf.

**TABELA 7:** Altura (ALT), diâmetro da roseta (DR), maior largura da folha (MLF) e relação parte aérea raiz (RPAR) do curauá em função do fornecimento de fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.

FONTES DE P	ALT	DR	MLF	RPAR
	----- cm -----			
ST	40,44 a	47,27 a	4,27 a	25,20 ab
TM	34,93 ab	41,70 ab	3,89 ab	28,12 a
FR	35,23 ab	42,42 ab	3,87 ab	24,36 ab
FA	31,99 ab	37,52 ab	3,77 ab	20,94 ab
AF	34,84 ab	38,35 ab	3,89 a	17,92 b
CONTROLE	29,06 b	33,29 b	3,53 b	18,24 b

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

\*\*, \*: significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste F.

ST – superfosfato tripla; TM – termofosfato magnésiano; FR – fosfato reativo de Arad; FA – fosfato de Araxá; AF – ácido fosfórico.

Em relação aos resultados obtidos com a fonte TM, que proporcionou um maior valor da RPAR, tal explicação possivelmente está relacionado à composição química da fonte (Tabela 2), a qual acrescenta à solução Ca, Mg, além de micronutrientes, com isso, em situações em que a disponibilidade de nutrientes no solo é favorável ao crescimento das plantas, estas priorizam o desenvolvimento da parte aérea, resultando em maior produção de matéria seca, aumentando com isso a relação parte aérea raiz.

De modo geral, as fontes TM, FR, FA e AF tenderam a se comportarem de maneira bastante semelhante em relação ao crescimento das plantas (Tabela 7). Considerando que as fontes TM e AF são mais solúveis em relação às fontes FR e FA, é provável que as mesmas proporcionassem uma maior disponibilidade de P no solo e conseqüentemente um maior desenvolvimento das plantas, tendência não observada no presente estudo. No entanto, vale ressaltar que o comportamento das diferentes fontes de P, é reflexo da interação de diversos fatores, como a cultura, as características do solo, a própria natureza química do fertilizante, bem como o tempo de cultivo, sendo este, um aspecto muito importante para as reações de solubilização da fonte que influenciará tanto na disponibilidade do nutriente quanto na perda deste para o solo. Desta forma, no que se refere ao termofosfato, a provável explicação para esse resultado pode estar relacionada à sua solubilidade intermediária entre às fontes solúveis e os fosfatos naturais, o qual libera o P de maneira gradual, característica esta bastante

vantajosa, dado ao efeito residual dessa fonte no solo (Resende et al., 2006). No entanto, são necessários, períodos mais longos para completar as reações de solubilização, comparado com os superfosfatos (KAMINSKI et al., 1997).

Deste modo, é provável que a semelhança no comportamento destas fontes seja consequência do uso preferencial da fração solúvel pelas plantas, o que resultaria na absorção imediata do ST (alta solubilidade em água) em detrimento às fontes TM, RA, FA, que são produtos insolúveis em água. No entanto, com o passar do tempo, em função do aumento do contato do fertilizante com o solo, há uma tendência dos fosfatos insolúveis em água contribuírem mais efetivamente para o rendimento das culturas, decorrente do efeito residual desses produtos, como verificado por Resende et al. (2006).

É importante ressaltar que o fornecimento de diferentes fontes de P não influenciou o crescimento da planta quanto às variáveis, número de folha, diâmetro do caule, matéria seca da parte aérea, matéria seca da raiz e matéria seca total (Tabela 8). Segundo Grant et al. (2001); Araújo e Machado (2006), o P atua principalmente no desenvolvimento em altura, emissão de brotações, no desenvolvimento de raízes secundárias, produção de matéria seca, na emissão e número de folhas e, secundariamente na expansão foliar. Resultado observado apenas em parte no presente estudo.

**TABELA 8:** Número de folha (NF), diâmetro do caule (DC), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST) do curauá em função do fornecimento de fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.

FONTES DE P	NF	DC	MSPA	MSR	MST
		--- mm ---	----- g -----		
ST	26	22,99	14,29	0,62	14,91
TM	26	22,75	11,39	0,47	11,85
FR	27	23,35	11,64	0,50	12,14
FA	26	23,35	10,78	0,48	11,36
AF	24	21,37	10,75	0,65	11,40
CONTROLE	25	21,50	9,24	0,52	9,77

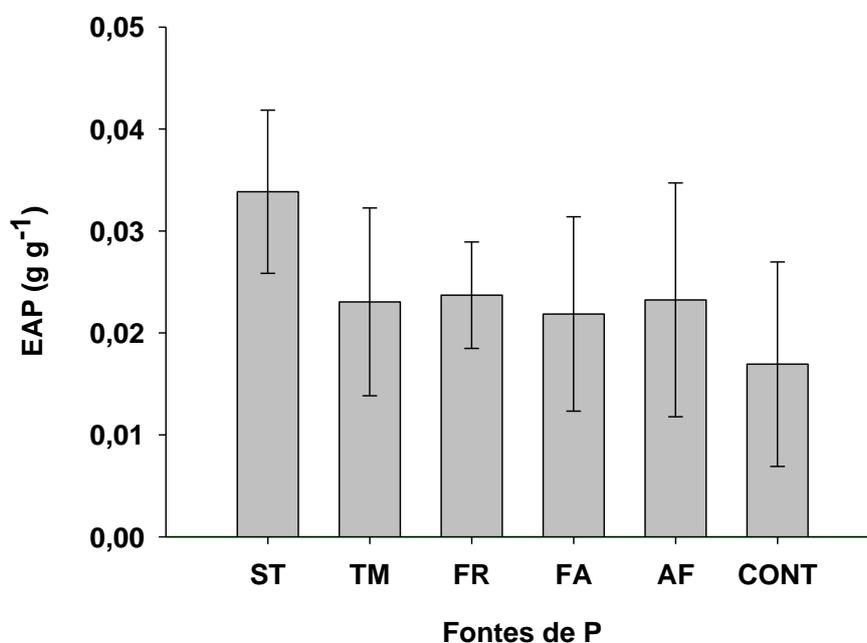
ns - não significativo ( $P > 0,05$ ) pelo teste F.

ST – superfosfato triplo; TM – termofosfato magnésiano; FR – fosfato reativo de Arad; FA – fosfato de Araxá; AF – ácido fosfórico.

#### 5.4. Eficiência de absorção e utilização de fósforo

A eficiência de absorção de P (EAP) pelo curauá, que se refere à percentagem do P aplicado que foi absorvida e acumulada na MSPA (FAGERIA, 1998), foi afetada de forma significativa pela aplicação de fontes distintas de fósforo (Tabela 6A).

Em relação à EAP, observa-se que os maiores valores foram proporcionados pela fonte ST, e as demais fontes não diferiram significativamente entre si e do tratamento controle (Figura 1). A maior EAP obtida pelo ST é atribuída à elevada solubilidade desta fonte, que ao liberar rapidamente o P favorece a absorção pelas plantas, resposta que está estreitamente relacionado com o acúmulo de P na parte aérea da planta (Tabela 4). Maior EAP, também foi obtido com fontes mais solúveis (ST e TM), quando aplicadas a lanço, em estudo realizado por Araújo et al. (2003) na cultura do milho cultivada em um Argissolo Vermelho.

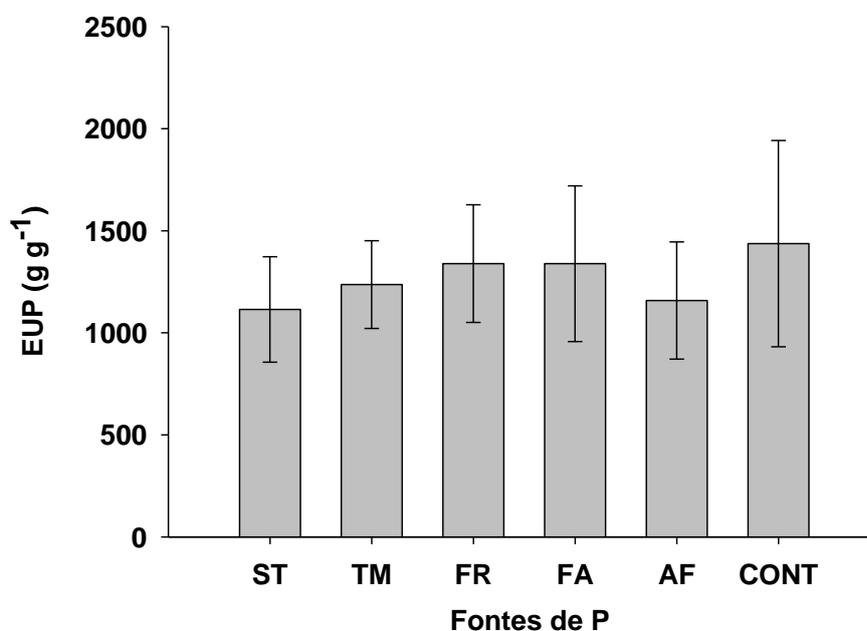


**Figura 1:** Eficiência de absorção de P – EAP, em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzidos por 120 dias em casa de vegetação.

É importante ressaltar que a capacidade dos fertilizantes fosfatados em fornecer o P para as plantas nem sempre se correlaciona com a maior solubilidade da fonte, uma vez que a disponibilidade de P no solo está estreitamente relacionada com os fatores ligados ao solo, principalmente no que se refere à sua textura e mineralogia do solo. Nestes solos, apesar da caulinita estar presente em maiores proporções em relação aos outros minerais responsáveis pela adsorção do P, deve-se considerar que possivelmente a presença dos minerais gibbsita e goethita tenha contribuído para as variações das respostas das plantas às fontes, especialmente aquelas mais solúveis. Segundo Cessa et al. (2009), a caulinita, embora seja de maior representatividade nas frações argila dos Latossolos intemperizados, apresenta menor importância sobre a adsorção de P, enquanto que a goethita representa o componente da fração argila com maior capacidade de adsorção de P (BAHIA FILHO et al., 1983). No caso do AF, apesar de ser uma fonte líquida com alto potencial de disponibilidade de P, não representou maiores ganhos de crescimento para as plantas, como verificado para o ST. Este resultado pode ser explicado em função da rápida adsorção de P quando utilizou o AF, resultados que podem ser verificados na análise de solo realizada após incubação com as fontes de P (Tabela 3).

Em relação à eficiência de utilização de P (EUP), apesar de não haver uma diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 6A), há uma tendência das condições que restringem a disponibilidade de P no solo, aumentarem a EUP (Figura 2). Nota-se que esta tendência, é de modo geral, inversa àquelas encontradas para EAP (Figura 1). Esse resultado possivelmente está relacionado à baixa resposta desta espécie à adubação fosfatada, resposta geralmente observado em bromeliáceas como o abacaxi (SPIRONELLO et al., 2004). Segundo Vance et al. (2003), vários eventos moleculares regulam as respostas das plantas à deficiência de P resultando em mudanças bioquímicas que facilitam a aquisição desse nutriente. Segundo este mesmo autor, entre esses mecanismos, incluem as modificações na

arquitetura do sistema radicular que surgem em resposta às condições do solo, redução na taxa de crescimento, a maior produção de biomassa por unidade de P absorvido e a remobilização do P interno.



**Figura 2:** Eficiência de utilização de P – EUP na matéria seca da parte aérea, em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzidos por 120 dias em casa de vegetação.

A eficiência de utilização de fósforo está relacionada à capacidade da planta em manter boa produção de biomassa mesmo em condições de baixo suprimento de P (LUCA et al., 2002). Moreira et al. (2002) observaram que o maior índice de eficiência de utilização do P em centrosema cultivada em Latossolo, foi obtido nas menores doses de P. Sarmento et al. (2001) observaram maior eficiência de utilização do fosfato de Gafsa em relação ao superfosfato triplo no terceiro plantio de alfafa cultivada em Latossolo.

É importante ressaltar que as variações na eficiência de uso do P também estão relacionadas com as condições que proporcionam maior ou menor aproveitamento desse nutriente pela planta, entre eles o FCP dos solos. Bedin et al. (2003), verificou maior EUP em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura argilosa, que possui alta capacidade de

adsorção de P, em comparação a um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média e um Neossolo Quartzarênico, com menor capacidade de adsorção de P, resultados que possivelmente estão relacionados à capacidade da planta em utilizar o P sob condições restritas para o seu aproveitamento.

## 6. CONCLUSÕES

O crescimento inicial do curauá é afetado pelas diferentes fontes de fósforo, com maior magnitude para o superfosfato triplo.

A espécie acumulou P preferencialmente na fração orgânica, independente da fonte utilizada, porém, o acúmulo nessa fração é mais expressivo com fontes de baixa solubilidade.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos no estudo, são pertinentes as considerações a seguir sobre a influência das fontes de fósforo no crescimento inicial do curauá.

Em geral, as características de solubilidade das fontes foram determinantes para a absorção, acúmulo de nutrientes e crescimento da espécie (Tabelas 4, 5, e 7). Levando em consideração as características do solo e o tempo de reação dos fosfatos (120 dias), é de se esperar uma maior resposta para as fontes que promovam uma disponibilidade imediata do nutriente, caso a espécie seja exigente ao nutriente.

No entanto, apesar da magnitude das respostas serem mais expressivas para as fontes de maior solubilidade, os maiores estoques do P absorvido foram encontrados no compartimento orgânico, principalmente nas condições de baixo suprimento do nutriente (fontes de baixa reatividade) (Tabela 6). Comportamento mais relacionado às espécies pouco exigente à P.

Apesar de essa resposta indicar que esta espécie poderia ser cultivada utilizando práticas de manejo com baixo input de P, o que seria interessante no cultivo de solos tropicais. No caso de uma omissão do nutriente por um período mais prolongado, poderia haver consequências sérias quanto ao desenvolvimento da espécie, pois, ocorreria uma exaustão mais rápida do pool metabólico deste nutriente. Dessa forma, é provável que um fosfato composto em parte por uma fonte solúvel e por outra com solubilidade moderada poderia ser mais vantajosa, pois promoveria um maior equilíbrio entre o compartimento inorgânico e orgânico na planta.

Diante dos resultados encontrados no presente trabalho e da falta de estudos quanto à exigência nutricional da espécie, fica clara a necessidade de mais pesquisas relacionadas aos aspectos nutricionais da espécie. Em se tratando do P, esforços deveriam ser concentrados em

relação a estudos que avaliassem a resposta da espécie quanto ao fornecimento de diferentes níveis deste nutriente, principalmente em condições de campo e por um período mais prolongado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J. C.; VALE, F. Solubilidade de micronutrientes contidos em formulações de fertilizantes, em extratores químicos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 27:363-372, 2003.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. de; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25 - 32.

ANGHINONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: YAMADA, T.; ABDALA, S. R. S. e. **Fósforo na agricultura brasileira**. 1. ed. Piracicaba: Potafos, 2004. Volume 1, Capítulo 20, página 537-558.

ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. X - FÓSFORO. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, 2006, 432 p.

ARAÚJO, I. B.; RESENDE, A. V. de; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. de C.; SANTOS, J. Z. L. Eficiência nutricional do milho em resposta a fontes e modos de aplicação de fósforo. **Revista Ceres**, 50 (287):27-39, 2003.

ARAÚJO, J.R.; MANO, B.; TEIXEIRA, G.M.; SPINACÉ, M.A.S.; PAOLI, M. A. de. Biomicrofibrillar composites of high density polyethylene reinforced with curauá fibers: Mechanical, interfacial and morphological properties. **Composites Science and Technology**, 70 (2010) 1637–1644.

BAHIA FILHO, A. F. C., BRAGA, J. M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A. C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do planalto central. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 7:221-226, 1983.

BARCELOS, E. (Ed.). **IDAM Informa**: Iranduba recebe unidade de observação da fibra do curauá. Ano III – 2 ed. Manaus: Gecon, 2010. 6 p.

BEDIN, I. ; RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; MENDONÇA, L. A.; VILELA, L. C. S. Fontes de fósforo e crescimento do milho em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. Edição Especial, p.1522-1531, dez., 2003.

BEDIN, I.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; FANQUIN, V.; TOKURA, A. M.; SANTOS, J. Z. L. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 27:639-646, 2003.

BENEDITO, D. S.; PROCHNOW, L. I.; SILVEROAL, A. C.; TOLEDO, M. C. M. Eficiência agronômica de compostos organominerais obtidos pelo processohumifert. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.1, p.191-199, 2010.

BHADORIA, P.S.; STEINGROBE, B.; CLAASSEN, N. & LIEBERSBACH, H. Phosphorus efficiency of wheat and sugar beet seedlings grown in soils with mainly calcium, or iron and aluminum phosphate. **Plant Soil**, 246:41-52, 2002.

BIELESKI, R.L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.24, p.225-252, 1973.

BOLLAND, M.D.A. & GLIKES, R.J. **The chemistry and agronomic effectiveness of phosphate fertilizers**. J. Crop Produc., 1:139 163, 1998.

BROGGI, F.; OLIVEIRA, A.C. de; FREIRE, F.J.; FREIRE, M.B.G. dos S.; NASCIMENTO, C.W.A. do. Fator capacidade de fósforo em solos de Pernambuco mineralogicamente diferentes e influência do pH na capacidade máxima de adsorção. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.1, p.77-83, jan./fev., 2011.

CESSA, R. M. A.; CELI, L.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; BARBERIS, E. Área superficial específica, porosidade da fração argila e adsorção de fósforo em dois Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 33:1153-1162, 2009.

CHAPIN, F. S. BIELESKI, R. L. Mild phosphorus stress in barley and a related low phosphorus adapted barleygrass: Phosphorus fractions and phosphate absorption in relation to growth. **Physiologia Plantarum**, 54:309-317, 1982.

CHIG, L. A.; COUTO, E. G.; NOVAIS FILHO, J. P.; RODRIGUES, L. C. M.; JOHNSON, M. S.; WEBER, O. L. dos S. Distribuição espacial da granulometria, cor e carbono orgânico do solo ao longo de um transecto em microbacias na Amazônia meridional. **Acta Amazonica**, vol.38, n.4, pp. 715-722, 2008.

CONTE, E.; ANGHINONI, I; RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 27:893-900, 2003.

CORDEIRO, I. M. C. C.; LAMEIRA, O. A.; BARROS, P. L. C.; MALHEIROS, M. A. da. Comportamento do curauá sob diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa em condições de cultivo. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**, Recife, v.5, n.1, p.49-53, 2010.

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A. do.; SOUZA, S. K. de S.; FREIRE, F. J.; SILVA, G. B. da. Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and P uptake by corn. **Scientia Agricola**, Piracicaba, 2005, vol.62, n.2, pp. 159-164.

CORREIA, D.; ROCHA, M. V. P.; ALVES, G. C. Crescimento de micropropagação Ananas comosus var. As mudas erectifolius em diferentes substratos sob condições de telado. **Acta Horticulturae**, 822, ISHS 2009.

COSTA, M. R.; LAMEIRA, O. A.; YOSBINO, V.C.; Caracterização genética do Curauá (Ananas erectifolius) através de Marcadores RAPD. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, nº 26- maio/junho 2002.

COSTA, S. E. V. G. de A.; FURTINI NETO, A. E. F.; RESENDE, A. V. de; SILVA, T. O. da; SILVA, T. R. da. Crescimento e nutrição da braquiária em função de fontes de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1419-1427, set./out., 2008.

CROSS, A. F. & SCHLESINGER, W.H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Application to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, 64:197-214, 1995.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. de M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. de O.; TROMPOWSKY, P. Q.; SANTOS, G. de A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da amazônia (Terra Preta). **Acta Amazonica**. VOL. 37(1) 2007: 91 – 98.

DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ V., V. H.; KER, J. C.; FONTES, M. P. F. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 32:1785-1791, 2008.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 221p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

ESTEVEES, J. A. de F.; ROSOLEM, C. A. Triticale, milho e adubação fosfatada para formação de palhada em semeadura direta. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 35:981-990, 2011.

FALCÃO, N. P. S., SILVA, J. R. A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, VOL. 34(3) 2004: 337 – 342.

FERNANDES, L. A.; FAQUINI, V.; FURTINI NETO, A. E.; CURTI, N. Frações de fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro cultivadas em solos de várzea. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 24:561-571, 2000.

FILHO, R. S. F. de H.; SOUZA, V. F. de S.; AZEVEDO, B. M. de; ALCANTARA, R. M. C. M. de; RIBEIRO, V. Q.; ELOI, W. M. Efeitos da fertirrigação de N e K<sub>2</sub>O na absorção de macronutrientes pela graviola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.43–49, 2006.

FONTOURA, S. M. V.; VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; ERNENI, P. R.; MORAES, R. P. de. Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 34:1907-1914, 2010.

FRANZINI, V. L. de. MURAOKA, T.; CORASPE-LEON, H. M.; MENDES, F. L. Eficiência de fosfato natural reativo aplicado em misturas com superfosfato triplo em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.9, p.1092-1099, set. 2009.

FREIRE, J.C.; RIBEIRO, M.A.V.; BAHIA, V.G.; LOPES, A.S. & AQUINO, L.E. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras- MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 4:5-8, 1980.

GAVA, J. L. et al. Eficiência relativa de fertilizantes fosfatados no crescimento inicial de eucalipto cultivado em solos do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 497-504, 1997.

GRAFORA, I.; KEMELL, M.; LUNZ, J. N.; MARQUES, M. de F. V.; GRAFOV, A.; LESKELA, M. Curaua´ Fiber Microimaging, Atomic Layer Deposition of Metal Oxide Films, and Obtaining of Nanowalled Microtubes. **Chemical Vapor Deposition**, 2011, 17, 58–64.

GRANT, C.A.; PLATEN, D.N.; TOMAZIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.95, 2001.

GRIME, J. P.; HUNT, R. Relative growth-rate: Its range and adaptive significance in a local flora. **Journal of Ecology**, 63:393-422, 1975.

HOGUE, E.; WILCOX, G. E.; CANTLIFFE, D. J. Effect soil phosphorus levels on phosphate fractions in tomato leaves. **American Society for Horticultural Science Journal**, v.95, n.1, p.174-176, 1970.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Relação entre atributos de solos e oxidação de enxofre elementar em quarenta e duas amostras de solos do Brasil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 31:455-463, 2007.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALA, S. R. S. e. **Fósforo na agricultura brasileira**. 1. ed. Piracicaba: Potafos, 2004. Volume 1, Capítulo 20, página 537-558.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência de dois fosfatos naturais farelados em função do tamanho da partícula. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, jan-fev, 2003.

IEIRI, A. Y.; LANA, R. M. Q.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na recuperação de pastagem com brachiária. **Ciência e Agrotecnologia**, vol.34 no.5 Lavras Sept./Oct. 2010.

KAMINSKI, J.; PESSOA, A. C. dos S.; RHEINHEIMER, D. dos S. Efeito do tempo de incubação de termofosfato magnésiano no solo e inoculação com fungos micorrízicos na recuperação de fósforo pelo capim-pensacola. **Ciência Rural**, vol.27, n.3, p. 407-412, 1997.

KLIEMANN, H. J.; LIMA, D. V. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais e sua influência no fósforo disponível em dois solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 31(2): 111-119, 2001 – 113.

KORNDÖRFER, G. H. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA. Disciplina Adubos e Adubação: **Fósforo**. Uberlândia, 2003. Disponível em: <[www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/.../Texto%20P%20Internet%202003.pdf](http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/.../Texto%20P%20Internet%202003.pdf)> Acesso em: 12 de fev. 2012.

KORNDÖRFER, G. H.; LARA-CABEZAS, W. A.; HOROWITZ, N. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. **Scientia Agricola**, vol.56 n.2 Piracicaba, 1999.

LAMEIRA, O. A.; REIS, I. N. R. de S. R.; CORDEIRO, I. M. C. C. Otimização da propagação in vitro de Curauá (*Ananas erectifolius* L. B. Smith). **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**. Edição nº 30. janeiro/junho 2003.

LANA, R.M.Q.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LUZ, J.M.Q.; SILVA, J.C. Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.3, p. 525-528, jul-set 2004.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de Texto, 2002. pg. 87p, 91-127.

LUCA, E. F. de; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; CHITOLINA, J. C. Eficiência de absorção e utilização de fósforo (32p) por mudas de eucalipto e arroz. **Scientia Agricola**, v.59, n.3, p.543-547, jul./set. 2002.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. Ed. Agronômica Ceres, São Paulo, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba, Potafos, 1997. 308p.

MARCOLAN, A. L. **Suprimento e absorção de fósforo em solos submetidos a diferentes sistemas de preparo**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. 107 f.

MARQUES, J. D. de O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; JUNIOR, O. F. C.; BATISTA, S. M.; AFONSO, M. A. C. B. Atributos químicos, físico-hídricos e mineralogia da fração argila em solos do Baixo Amazonas: Serra de Parintins. **Acta Amazonica**, vol.40, n.1, p. 01-12, 2010.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G. de; SOUZA, R. B. de. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. Aproximação. Viçosa : CFSEMG, 1999.

MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F.; RODRIGUES, L. A.; SACRAMENTO, L. V. S. do. Phosphate forms in plant and their internal buffering in five soybean cultivars. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 29:249-257, 2005.

MELO, B.; MARCUZZO, K. V.; TEODORO, R. E.; CARVALHO, H. de P. Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro, em um solo originalmente sob vegetação de cerrado de patrocínio – MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 315-321, mar./abr., 2005

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 562-564, May/June 1982.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAES, L. A. C. Eficiência de fontes e doses de fósforo na alfafa e centrosema cultivadas em Latossolo Amarelo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1459-1466, out. 2002.

MOTHÉ, C. G.; ARAÚJO, C. R. de. Caracterização Térmica e Mecânica de Compósitos de Poliuretano com Fibras de Curauá. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 14, nº 4, p. 274-278, 2004.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; **Fósforo em solo e planta em regiões tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

NOVAIS, R.F. & MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.134-177.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J.; GARRIDO, W.E.; ARAUJO, J.D. & LOURENÇO, S. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, EMBRAPA-SEA, 1991. p.189-254.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. Fósforo In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.

NUNES, F. N.; CANTARUTTI, R. B.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R. da; TÓTOLA, M. R.; RIBEIRO, B. N. Atividade de fosfatases em gramíneas forrageiras em resposta à disponibilidade de fósforo no solo e à altura de corte das plantas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 32:1899-1909, 2008.

OLIVEIRA, E. C. P. de; LAMEIRA, O. A.; SOUZA, F. I. B. de. Estrutura foliar de curauá em diferentes intensidades de radiação fotossinteticamente ativa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.2, p.163-169, fev. 2008.

OLIVEIRA, P. P. A.; OLIVEIRA, W. S. de; CORSI, M. Efeito residual de fertilizantes fosfatados solúveis na recuperação de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Neossolo Quartzarênico. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.6, p.1715-1728, 2007.

ONO, F. B.; MONTAGNA, J.; NOVELINO, J. O.; SERAFIM, M. E.; DALLASTAS, D. C.; GARBIATE, M. V. Eficiência agronômica de superfosfato triplo e fosfato natural de arad em cultivos sucessivos de soja e milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 727-734, maio/jun., 2009.

PEREIRA, F. D.; PINTO, J. E. B. P.; SILVA, L. D. R.; CASTRO, D. M. RODRIGUES, H. C. de A.; BEIJO, L. A. LAMEIRA, O. A. Caracteres anatômicos de fibras foliares de brotações de curauá propagadas in vitro. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 23-28, 2007.

PRIMAVES, A. **Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**. Editora....São Paulo, 1979, 552 p.

PROCHNOW; L. I; ALCARDE, J. C. CHIEN, S. H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALA, S. R. S. e. **Fósforo na agricultura brasileira**. 1. ed. Piracicaba: Potafos, 2004. Volume 1, Capítulo 20, página 537-558.

RAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 665-693, 1999.

RAIJ, B. V. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALA, S. R. S. e. **Fósforo na agricultura brasileira**. 1. ed. Piracicaba: Potafos, 2004. Volume 1, Capítulo 20, página 537-558.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres/Potafos, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. & ABREU, C.A. Interpretação de resultados de análise de solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agronômico, 1996. p.8-13.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAMALHO, E. **A folha amazônica que virou arte**. [S.l.: s.n.], 2005. Disponível em: <[http://www.rfi.fr/actubr/articles/068/article\\_124.asp](http://www.rfi.fr/actubr/articles/068/article_124.asp)> Acesso em: abril de 2005.

RAMOS, L. A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 30:849-857, 2006.

RAMOS, S. J.; FANQUIN, V.; RODRIGUES, C. R.; SILVA, C. A.; ÁVILA, F. W. de. SAMPAIO, R. A. Utilização de fósforo e produção do feijoeiro: influência de gramíneas forrageiras e fontes de fósforo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 34:89-96, 2010.

RESENDE, A. V. de.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; LAGO, F. J. do. Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solo da região do cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 458-466, maio/jun., 2006.

RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A.F.C. & BRAGA, J.M. Mineralogia da argila de Latossolos estimada por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 11:17-23, 1987.

RICHART, A.; LANA, M. do C.; SCHULZ, L. R.; BERTONI, J. C.; BRACCINI, A. de L. e . Disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 30:695-705, 2006.

ROCHA, E.C.; GHELER JÚNIOR, J. Aproveitamento de resíduos gerados na aglomeração de fibras de coco com Látex natural. *Matéria Técnica*. [S.l.: s.n.], 2003. Disponível em: <<http://www.biologo.com.br>>. Acesso em: jun. 2011.

RODRIGUES, L. A.; MARTINS, M. A.; SALOMÃO, M. S. M. B. Uso de micorrizas e rizóbio em cultivo consorciado de eucalipto e sesbânia. II - Absorção e eficiência de utilização de fósforo e frações fosfatadas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 27:593-599, 2003.

SAEG. **Guia prático para a utilização do SAEG**. Versão 9.1. Viçosa: UFV, 2009.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.38, n.2, mar-abr, 2008.

SANTOS, I. P. A. dos; PINTO, J. C.; FURTINI NETO, A. E.; MORAIS, A. R.; MESQUITA, E. E.; FARIA, D. J. G.; ROCHA, G. P. Frações de fósforo em gramíneas forrageiras sob fontes e doses de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 961-970, set./out., 2006.

SANTOS, J. R.; BICUDO, S. J.; NAKAGAWA, J.; ALBUQUERQUE, A. W. de; CARDOSO, C. L. Atributos químicos do solo e produtividade do milho afetados por corretivos e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.10, n.2, p. 323-330, 2006.

SANTOS, J. Z. L.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V. de. CURI, N. CARNEIRO, L. F.; COSTA, S. E. V. G. de A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 32:705-714, 2008.

SANTOS, J. Z. L.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V. de; CARNEIRO, L. F.; CURI, NILTON. MORETTI, B. da S. Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em solos de cerrado com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. 2011, vol.35, n.1, pp. 193-202.

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-MG, v.32, n.5, p.799-807, 2008.

SARMENTO, P.; CORSI, MOACYR.; CAMPOS, F. P. de. Resposta da alfafa a fontes de fósforo associadas ao gesso e à calagem. **Scientia Agricola**, v.58, n.2, p.381-390, abr./jun. 2001.

SIEBENEICHLER, S. C.; MONNERAT, P. H.; CARVALHO, A. J. C.; SILVA, J. A. da. Composição mineral da folha em abacaxizeiro: efeito da parte da folha analisada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 2002, vol.24, n.1, pp. 194-198.

SILVA, A. R. M. da; TUCCI, C. A. F.; LIMA, H. N.; FIGUEIREDO, A. F. de.; Doses crescentes de corretivo na formação de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazonica**, VOL. 37(2) 2007: 195 – 200.

SILVA, F. N.; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F. MAGALHÃES, C. A. de S.; CARNEIROS, D. N. M. Crescimento e produção de grãos da soja sob diferentes doses e fontes de fósforo em solos distintos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1220-1227, set./out., 2009.

SILVA, L. de C. R.; CORRÊA, R. S. Sobrevivência e crescimento de seis espécies arbóreas submetidas a quatro tratamentos em área minerada no cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.4, p.731-740, 2008.

SILVA, R. de N. P. **Crescimento e sintomas de deficiência de macronutrientes em plantas de curauá (*Ananas erectilolius* L. B. Smith)**. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006. 57 f.:Il.

SILVA, R. G., GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; OLIVEIRA, E. de. Controle genético da resistência aos enfezamentos do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 921-928, ago. 2003.

SILVA, T. A. F da; TUCCI, C. A. F.; SANTOS, J. Z. L.; BATISTA, I. M. P.; MIRANDA, J. F. de; SOUZA, M. M. de. Calagem e adubação fosfatada para a produção de mudas de *Swietenia macrophylla*. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, n. 3, p. 459-470, jul./set. 2011.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C. de; ROCHA, A. T. da; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. dos; NASCIMENTO, C. W. A. do. Características agroindustriais de cana-de-acúcar em função da adubação fosfatada, em solos de Pernanbuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.347–354, 2012.

SHEN, J.; YUAN, L.; ZHANG, J.; LI, H.; BAI, Z.; CHEN, X.; ZHANG, W.; ZHANG, F. Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant. **Plant Physiology**, July 2011, Vol. 156, pp. 997–1005.

SMILLE, R. M.; KROTKOV, G. The estimation of nucleic acids in some algae and higher plants. **Canadian Journal of Botany**, v.38, n.1, p.31-49, 1960.

SOARES, W.V.; LOBATO, E.; SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A. Avaliação do fosfato natural de Gafsa para recuperação de pastagem degradada em latossolo vermelho-escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2000, vol.35, n.4, pp. 819-825.

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, A. T. **Adubação fosfatada**. In: SOUZA, D. M. G de; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. Ed. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2004.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 30:975-983, 2006.

SPIRONELLO, A. QUAGGIO, J. A.; TEIXEIRA, L. A. J.; FURLANI, P. R.; SIGRIST, J. M. M. Pineapple yield and fruit quality effected by NPK fertilization in a tropical soil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 1, p. 155-159, Abril 2004.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Artmed. Porto Alegre – RS, 2009. 848 p.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; CURI, N.; SANTOS, J. Z. L.; ALOVISI, A. A. Dinâmica das formas de fósforo em solos de textura e mineralogia contrastantes cultivados com arroz. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 171-179, 2011.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.111-118, 2003.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist.**, 157:423-447, 2003.

VETTORI, L. **Métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).

VITTI, G. C.; WIT, A. de; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. In: YAMADA, T.; ABDALA, S. R. S. e. **Fósforo na agricultura brasileira**. 1. ed. Piracicaba: Potafos, 2004. Volume 1, Capítulo 20, página 537-558.

YAMADA, T. **Melhoria na eficiência da adubação aproveitando as interações entre nutrientes**. Piracicaba: Patafos, 2002. 5 p. Informações Agronômicas, n. 100.

ZAH, R.; HISCHIER, R.; LEÃO, A. L. BRAUN, I. Curaua´ fibers in the automobile industry e a sustainability assessment. **Journal of Cleaner Production** 15 (2007) 1032e1040.

## APÊNDICE

TABELA 1A	Resumo da análise de variância da absorção de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.....	67
TABELA 2A	Resumo da análise de variância da absorção de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.....	67
TABELA 3A	Resumo das análises de variância para as frações fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po) e fósforo total (Pts), em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.....	67
TABELA 4A	Resumo da análise de variância das variáveis altura (ALT), diâmetro da roseta (DR), maior largura da folha (MLF) e relação parte aérea raiz (RPAR), em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.....	67
TABELA 5A	Resumo da análise de variância das variáveis número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST), em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.....	68
TABELA 6A	Resumo da análise de variância para a eficiência de absorção de fósforo (EAP) e eficiência de utilização de fósforo (EUP), em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.....	68

**TABELA 1A:** Resumo da análise de variância da absorção de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.

F.V	G.L	Q.M					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamentos	5	0,28 E-01	0,52 E-04	0,19 E-02	0,59 E-02	0,75 E-03	0,13 E-02
Resíduo	66	0,68E-02	0,12 E-04	0,64 E-03	0,98 E-03	0,30 E-03	0,17 E-03
<b>Total</b>	<b>71</b>						
<b>CV (%)</b>		33,94 **	38,37 *	41,57 *	42,71 **	44,53 *	35,39 **

\*\*; \*: significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste F.

**TABELA 2A:** Resumo da análise de variância da absorção de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.

F.V	G.L	Q.M				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamentos	5	0,24 E-01	0,11 E-02	0,21	1,81	0,20 E-01
Resíduo	66	0,55 E-02	0,38 E-03	0,66 E-01	0,15	0,67 E-02
<b>Total</b>	<b>71</b>					
<b>CV (%)</b>		37,31 **	34,46 *	44,46 **	38,23 **	37,64 *

\*\*; \*: significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste F.

**TABELA 3A:** Resumo das análises de variância para as frações fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po) e fósforo total (Pts), em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.

F.V	G.L.	Q.M		
		Pi	Po	Pts
Tratamentos	5	575,90	21724,32	17269,55
Resíduo	66	171,00	932,68	1162,46
<b>Total</b>	<b>71</b>			
<b>CV (%)</b>		29,57*	30,06*	23,38*

\*: significativo a 5% pelo teste F.

**TABELA 4A:** Resumo da análise de variância das variáveis altura (ALT), diâmetro da roseta (DR), maior largura da folha (MLF) e relação parte aérea raiz (RPAR), em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.

F.V	G.L	Q.M			
		ALT	DR	MLF	RPAR
Tratamentos	5	172,80	277,14	0,69	201,49
Resíduo	66	53,68	79,96	0,24	38,67
<b>Total</b>	<b>71</b>				
<b>CV (%)</b>		21,29 *	22,30 **	12,68 *	27,69 **

\*\*; \*: significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste F.

**TABELA 5A:** Resumo da análise de variância das variáveis, número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), matéria seca da parte área (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST), em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo no solo, conduzido por 120 dias em casa de vegetação.

F.V	G.L	Q.M				
		NF	DC	MSPA	MSR	MST
Tratamentos	5	13,29	8,50	33,28	0,68 E-01	34,06
Resíduo	66	17,47	12,32	26,16	0,98 E-01	29,41
Total	71					
CV (%)		16,46 <sup>ns</sup>	15,74 <sup>ns</sup>	45,07 <sup>ns</sup>	58,18 <sup>ns</sup>	45,55 <sup>ns</sup>

ns : não significativo pelo teste F.

**TABELA 6A:** Resumo da análise de variância para a eficiência de absorção de fósforo (EAP) e eficiência de utilização de fósforo (EUP), em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo.

F.V	G.L	Q.M	
		EAP	EUP
Tratamentos	5	0,366 E-03	180530,3
Resíduo	66	0,831 E-04	113252,8
Total	71		
CV (%)		38,37 <sup>**</sup>	26,49 <sup>ns</sup>

\*\* : significativo a 5% pelo teste F; ns: não significativo pelo teste F.