



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA**  
**MESTRADO EM AGROECOLOGIA**

**MARLON GOMES DA COSTA**

**AValiação da Resposta de Três Classes de Solo ao Uso de Fontes  
Alternativas de Corretivo da Acidez e de Fósforo**

**SÃO LUÍS**

**2011**

**MARLON GOMES DA COSTA**

**Engenheiro Agrônomo**

**AVALIAÇÃO DA RESPOSTA DE TRÊS CLASSES DE SOLO AO USO DE FONTES  
ALTERNATIVAS DE CORRETIVO DA ACIDEZ E DE FÓSFORO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Alana das Chagas Ferreira Aguiar

SÃO LUÍS

2011

**MARLON GOMES DA COSTA**

**AVALIAÇÃO DA RESPOSTA DE TRÊS CLASSES DE SOLO AO USO DE FONTES  
ALTERNATIVAS DE CORRETIVO DA ACIDEZ E DE FÓSFORO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Profª. Drª. Alana das Chagas Ferreira Aguiar** (orientadora)  
Doutora em Agronomia  
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

---

**Prof. Dr. Christoph Gehring** (1º examinador)  
Doutor em Agronomia  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

---

**Dr. João Batista Zonta** (2º examinador)  
Doutor em Fitotecnia  
Embrapa Cocais e Planícies Inundáveis (CPACP)

*“Confie no SENHOR de todo o coração e não se apoie na sua própria inteligência. Lembre de Deus em tudo o que fizer, e ele lhe mostrará o caminho certo.*

*(Pv., 3:5-6)*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus Todo Poderoso, pois sem Ele nada disso seria possível. Por ter me guiado e iluminado minha vida, abrindo todos os caminhos que permitiram chegar até aqui.

Aos meus pais, Elvira Gomes da Costa e Marcelino Carreiro da Costa, que propiciaram valores inestimáveis à minha formação e se esforçaram ao máximo para proporcionar uma educação de qualidade a meu irmão e eu.

A meu irmão Marcio Costa, que sempre me apoiou todas as horas e me incentivou bastante para que alcançasse meus objetivos.

Ao meu primo Acléssio Carreiro, pela convivência e apoio para superar todas as dificuldades, pois contribuiu bastante para que chegasse até este momento.

À minha namorada Michele Bezerra que me acompanhou em todos os momentos de alegria e felicidade com apoio, carinho, incentivo e companheirismo.

Aos meus primos Edson e Joelson e minha prima Maria Do Carmo, pelos anos de convivência harmoniosa sob mesmo teto e suas contribuições em minha via.

A minha tia Raimunda Martinha da Costa e meu tio José Maria Alves Costa que sempre deram apoio e me incentivaram a nunca desistir de meus sonhos.

A minhas madrinhas Rita Carreiro e Nicolina Carreiro, e ao meu padrinho João Do Carmo, que me apoiaram e contribuíram para esta vitória.

À prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Alana das Chagas Ferreira Aguiar pelo estímulo, paciência, amizade e orientação.

Ao prof. Dr. Christoph Gehring pelas sugestões, contribuições e ajuda nos momentos em que precisei, e por ter participado da banca de defesa da dissertação.

Ao prof. Dr. João Batista Zonta pelas sugestões e contribuições, principalmente nas análises estatísticas para o artigo da dissertação, e por ter participado da banca de defesa da dissertação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da UEMA pelos ensinamentos.

Às amigas que tenho admiração e orgulho, Gerbeli Salgado, Kátia Pereira e Michela Costa, pela amizade e companheirismo durante esta jornada.

Aos meus amigos de sempre que me acompanharam em todos os momentos de alegria, Adriano Rêgo, Carlos Lima e Paulo Monroe.

A todos os meus parentes que não foram citados, mas tiveram suas contribuições para minha formação e minha vida.

Aos amigos que estiveram presentes em alguma etapa desta jornada e torceram para meu sucesso.

À Universidade Estadual do Maranhão pelas oportunidades oferecidas e pela realização do Mestrado em Agroecologia.

À Fundação de Amparo a Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, pela concessão da bolsa de estudo.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização e conclusão de mais esta jornada em minha vida.

## SUMÁRIO

	<b>Pág.</b>
<b>CAPÍTULO I – ACIDEZ E FÓSFORO EM AGROECOSSISTEMAS: COMPONENTES, DINÂMICA E INTERAÇÕES EM SOLOS TROPICAIS</b>	
1.INTRODUÇÃO GERAL .....	10
2.REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 Acidez do solo em agroecossistemas nos trópicos .....	11
2.2 Tipos alternativos de corretivos .....	12
2.3 Componentes da acidez e calagem no perfil do solo .....	13
2.4 Formas e dinâmica do fósforo no solo .....	14
2.5 Disponibilidade do fósforo às plantas .....	15
2.6 Fosfatos naturais como fonte alternativa de fósforo .....	17
2.7 Mecanismos que afetam a dinâmica do fósforo no solo .....	18
2.8 O fósforo no milho .....	19
2.9 Interações entre acidez e fósforo no solo .....	19
REFERÊNCIAS .....	21
<b>CAPÍTULO II – AVALIAÇÃO DA RESPOSTA DE TRÊS CLASSES DE SOLO AO USO DE FONTES ALTERNATIVAS DE CORRETIVO DA ACIDEZ E DE FÓSFORO</b>	
RESUMO.....	30
ABSTRACT .....	31
1. INTRODUÇÃO.....	32
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	33
2.1 Caracterização e instalação experimental .....	33

2.2 Coleta de dados e determinações analíticas .....	35
2.3 Determinações de estoque, eficiência de uso e recuperação de fósforo .....	35
2.4 Análises estatísticas .....	35
3. RESULTADOS .....	36
3.1 Acidez do solo .....	36
3.2 Massa de matéria seca .....	37
3.3 Concentração de fósforo .....	39
3.4 Estoque de fósforo .....	40
3.5 Eficiência de recuperação de fósforo .....	41
4. DISCUSSÃO.....	42
4.1 Acidez do solo .....	42
4.2 Massa de matéria seca .....	43
4.3 Concentração de fósforo .....	44
4.4 Estoque de fósforo .....	45
4.5 Eficiência de recuperação de fósforo .....	46
5. CONCLUSÕES.....	48
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	49
AGRADECIMENTOS .....	50
REFERÊNCIAS .....	51
ANEXOS.....	56



**ACIDEZ E FÓSFORO EM AGROECOSSISTEMAS: COMPONENTES,  
DINÂMICA E INTERAÇÕES NOS SOLOS TROPICAIS**

---

**CAPÍTULO I**

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

As regiões tropicais são caracterizadas por solos de baixa fertilidade natural, elevada acidez, alta toxicidade por alumínio ( $Al^{3+}$ ) e baixa disponibilidade de fósforo (P) que limitam fortemente a produtividade agrícola destas regiões. Nestas condições, a calagem faz-se necessária, para elevar o pH e diminuir a toxidez de alumínio nos solos, pois a liberação de hidroxilas dos corretivos aumenta a disponibilidade dos cátions nutrientes e diminui a solubilidade dos cátions tóxicos às plantas, como o  $Al^{3+}$  que tem um agravante a mais, pois atua na adsorção de P no solo.

O problema da baixa disponibilidade de fósforo e fitotoxicidade de alumínio podem ser mitigados por uso de fertilizantes fosfatados e calcário, mas entre os pequenos produtores esta não é uma estratégia recomendável, principalmente por causa dos custos elevados (Opala et al., 2010). Isto faz com que se busque alternativas que sejam mais baratas e acessíveis aos pequenos produtores para substituição das formas convencionais da correção da acidez e do fósforo no solo.

O uso de pó de marga pode ser uma alternativa para correção da acidez destes solos tropicais. Composto de misturas de argilas e calcários (Lopes & Guilherme, 2007), com granulação fina e altos teores de Ca (Santana & Gehring, 2007), as margas estão presentes no estado do Maranhão e podem ser encontradas na formação Codó, centro-leste do estado.

Como fontes alternativas de P em substituição aos fosfatos acidulados, o destaque tem sido para os fosfatos naturais aluminosos (Câmara et al., 1984). Estes fosfatos da série da crandallita ocorrem comumente em perfis de intemperismo sobre materiais originais com disponibilidade em P, principalmente rochas sedimentares tipo fosforitos marinhos e também outros depósitos sob influência de guano, sobre rochas ígneas, sobretudo alcalinas, carbonatíticas e pegmatíticas, e rochas metamórficas (Toledo, 1999). Guardani et al. (1989), mostraram que, no Brasil, estes minerais estão presentes em depósitos nas regiões norte/nordeste, onde o depósito de Trauíra, localizado no estado do Maranhão, é um dos maiores. O uso de rochas fosfáticas da série da crandallita poderão ser agronomicamente eficientes, pois, após calcinadas (tratamento térmico que aumenta sua solubilidade) pode proporcionar maior disponibilidade de P (Francisco et al., 2007).

O uso dos fertilizantes minerais de alta solubilidade é um fator que gera impactos ambientais e elevados custos de produção, o que inviabiliza o alcance de boas produtividades para pequenos produtores pela dificuldade de aquisição. Em função disso tem-se buscado

fontes alternativas de corretivos e fertilizantes, com foco para soluções que utilizem recursos locais (Opala et al., 2010).

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Acidez do solo em agroecossistemas nos trópicos**

A limitação da produção em agroecossistemas tropicais tem como um dos mais importantes fatores a acidez do solo (Natale et al., 2007), com a presença de alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) (Abreu Jr et al., 2003; Silva et al., 2008), e no Brasil, está presente em extensas áreas (Soratto & Crusciol, 2008a), como integrante de uma característica generalizada dos solos brasileiros, responsável pela baixa concentração de cátions nutrientes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ) e alta concentração de cátions tóxicos ( $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ) (Franchini et al., 2001).

A acidificação do solo é resultante do efeito do intemperismo sobre a rocha matriz, e pode ser acelerada por fatores como o processo de absorção de cátions pelas plantas (Bohnen, 2000) e o uso de fertilizantes de reação ácida (Ciotta et al., 2002).

Regiões com altas precipitações pluviométricas apresentam tendência a uma maior acidificação do solo pela remoção de cátions de caráter básico, como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , e consequente acúmulo de cátions de natureza ácida como  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$  (Sousa et al., 2007), o que explica o fato dos solos das regiões tropicais e subtropicais serem normalmente ácidos e apresentarem altos teores de Al trocável (Ciotta et al., 2004).

No Estado do Maranhão, grande parte dos solos que derivam de rochas sedimentares apresenta acidez elevada, estruturas frágeis, baixos teores de nutrientes e CTC, com predomínio de Argissolos, Plintossolos e Latossolos (oriundos da formação Itapecurú), onde a aplicação de calcário em sistemas de manejo deve ser considerada para atingir sua sustentabilidade de uso (Moura et al., 2006).

A correção do solo é fundamental para a manutenção dos sistemas produtivos (Natale et al., 2007), necessária para melhoraria da nutrição das plantas, crescimento radicular e promoção de mudanças químicas no solo (Silva et al., 2008). A calagem, além de influenciar o crescimento das culturas, interfere diretamente na toxidez de Al, que restringe o crescimento radicular e promove condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Leite et al., 2008), e pode aumentar a rentabilidade agrícola nesses solos (Nicolodi et al., 2008a).

A definição do critério de calagem requer a existência de uma ampla rede experimental regional com culturas relevantes para a produção de grãos e solos com ampla

faixa de acidez (Nicolodi et al., 2008a). A recomendação é feita com base nos indicadores de acidez do solo, que estão associados a valores de referência para grupo de culturas e na resposta das culturas à elevação de pH (Nicolodi et al., 2008b).

Um dos métodos mais utilizados para determinar a necessidade de calagem no Brasil é o da saturação por bases (V), que prevê a elevação do pH a um nível compatível com as culturas que compõem o sistema de produção (Silva et al., 2008).

Para Cochran et al. (2007) deve-se fazer uma análise econômica para definir o uso ou não da calagem, onde o aumento adicional na receita total da colheita, com aplicação de calcário, seja superior aos custos do calcário e sua aplicação.

## **2.2 Tipos alternativos de corretivos**

Além do calcário, outros materiais podem ser utilizados na correção de solos ácidos, e em algumas situações podem ser eficientes e até melhores que o calcário, principalmente os que apresentam produtos de dissolução com ânions compostos de silicatos, óxidos e hidróxidos (Corrêa et al., 2008). A combinação de efluente de fábrica de celulose com fosfogesso apresentou potencial para corrigir a acidez do solo e aumentar o teor de Ca (Kinjo et al., 1992).

Com a aplicação superficial de doses crescentes de escória de aciaria, lama de cal e lama de esgoto centrifugado, os valores de pH aumentaram, além do aumento da saturação por bases e disponibilidade de cálcio, magnésio e nitrato até a profundidade de 0,40 m no solo (Corrêa et al., 2007). O poder corretivo das escórias pode ser superior ao do calcário, quanto maior for a superfície específica de suas partículas (Ramos et al., 2006), pois o fator granulométrico exerce uma forte influência no aumento do poder de neutralização (PN). Isto porque, com a diminuição do tamanho das partículas do material, a área superficial em contato com o solo aumenta, faz com que aumente a velocidade de reação do material e a capacidade de neutralização da acidez do solo, devido à maior liberação de espécies neutralizantes ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ , etc.) presentes (Mello Filho et al., 2010). A qualidade de um corretivo depende principalmente do teor e do tipo de compostos neutralizadores da acidez presentes, e da velocidade com que o corretivo reage e neutraliza a acidez do solo (Tedesco & Gianello, 2000).

Como observado, muitos materiais alcalinos podem ser utilizados como corretivos da acidez do solo (Tedesco & Gianello, 2000). O uso das margas pode ser uma opção

interessante para correção da acidez do solo e já foi pesquisada por outros autores (Lopes & Guilherme, 2007; Santana & Gehring, 2007).

### **2.3 Componentes da acidez e calagem no perfil do solo**

A acidez do solo, segundo Eberling et al. (2008), é dividida em três componentes: a) acidez ativa que corresponde à atividade dos íons hidrogênio em solução, determinada por potenciômetro ou medidor de pH; b) acidez trocável que corresponde à quantidade de  $Al^{3+}$  adsorvido aos colóides do solo, determinada em KCl 0,1N; e c) acidez potencial que corresponde à soma da acidez trocável com os íons hidrogênio adsorvidos na superfície dos colóides, determinada utilizando uma solução tampão.

A toxicidade da acidez do solo manifesta-se por meio de um complexo de fatores contribuintes, incluindo a sensibilidade das espécies vegetais, mineralogia das argilas, características e quantidades da matéria orgânica do solo (MOS), salinidade, e solubilidade de metais (ex.  $Al^{3+}$  e  $Mn^{2+}$ ) na solução do solo (Schlossberg et al., 2008).

O pH, parâmetro importante de classificação dos resíduos sólidos (Mello Filho et al., 2010), definido como logaritmo negativo da concentração de hidrogênio, apresenta correlação positiva com valores de P, Ca, Mg, K, SB, CTC e V%, e negativa com a saturação por Al, em solos brasileiros (Abreu Jr et al., 2003) e do mundo em geral.

A aplicação de calcário sem incorporação, como no caso do plantio direto, geralmente tem sua ação limitada às camadas superficiais do solo e, em caso de níveis tóxicos de alumínio e deficiência de cálcio nas camadas subsuperficiais, compromete a penetração das raízes e nutrição das plantas (Caires et al., 2006). Após correção da acidez em áreas sob sistema de plantio direto, Rosato et al. (2009) verificaram alta saturação por alumínio e baixa saturação por bases na camada 0,10-0,20 m, condição que pode reduzir a produtividade de grãos.

Em camadas mais profundas do solo há pouca alteração nos valores de pH e  $Al^{3+}$  devido à baixa solubilidade dos corretivos de acidez e à alta reatividade de seus ânions com os ácidos presentes na camada de incorporação, e desta forma,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  apresentam baixa mobilidade em função destes ânions na solução do solo e às cargas negativas criadas pelo aumento de pH, além de se ligarem também às cargas ocupadas anteriormente pelo  $Al^{3+}$  (Ernani et al., 2001). A variação de pH, saturação por bases e mobilidade de cátions básicos no perfil, só ocorrerão com ausência de cátions ácidos nas camadas mais superficiais (Corrêa

et al., 2007), pois os ânions  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{OH}^-$  originados da dissolução do calcário reagem com os cátions ácidos da solução do solo ( $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$ ) (Caires et al., 2005).

Segundo Caires et al. (2006), estudos tem mostrado altas produtividades de grãos em solos ácidos sob plantio direto, mesmo com pouca resposta à calagem superficial, e a explicação pode estar inerente aos fatores do sistema como: (i) aumento do pH e redução do conteúdo de  $\text{Al}^{3+}$  por compostos orgânicos hidrossolúveis de materiais vegetais utilizados como cobertura morta; (ii) redução da atividade de  $\text{Al}^{3+}$  na solução devido ao alto conteúdo de matéria orgânica e a alta concentração de nutrientes na superfície do solo; (iii) concentrações suficientes de cátions trocáveis, mesmo em solos de elevada acidez, devido ao aumento na capacidade de troca catiônica por causa do alto conteúdo de matéria orgânica, e (iv) boa adaptação das plantas.

## **2.4 Formas e dinâmica do fósforo no solo**

O fósforo do solo, de interesse agrônômico ou ambiental, é constituído por compostos derivados do ácido ortofosfórico e, menos comumente, dos pirofosfatos, sendo as apatitas os minerais primários fosfatados, que são liberados das rochas durante a intemperização dos solos, e resultam em minerais secundários mais estáveis termodinamicamente, ou incorporados a compostos orgânicos biologicamente (Santos et al., 2008a).

A compreensão dos fenômenos básicos da dinâmica do fósforo no solo é importante para a tomada de decisão sobre a necessidade de adição e para a definição das doses e dos modos de aplicação de fertilizantes fosfatados (Santos et al., 2008a).

O fósforo encontra-se nos solos sob as formas orgânicas (Po) e inorgânicas (Pi), que se diferenciam entre si pelo grau de estabilidade ou solubilidade, com diferentes disponibilidades à absorção vegetal (Souza et al., 2007b).

O Po é formado pelos íons fosfatos, ligados aos compostos orgânicos e, sua labilidade está diretamente relacionada à suscetibilidade de decomposição do radical orgânico ao qual o fosfato está ligado (Gatiboni et al., 2008). O fósforo orgânico é abundante no solo e sua ciclagem pode suprir uma considerável fração do fósforo retomado pela vegetação natural (Turner, 2008).

Já o Pi pode ser encontrado em solução (P-solução), precipitado com Al, Fe e Ca ou adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila, ambos em equilíbrio com a solução e compondo a fração lábil de P do solo (P lábil) (Souza et al., 2007b). Quando se considera a

disponibilidade desta forma de fósforo às plantas, é mais vantajoso ter mais P-Ca nos solos com alta capacidade de adsorção de P que P-Fe e P-Al, que são teoricamente formas mais estáveis que a primeira (P-Ca), geradas da dissolução de P-Ca aplicados (rochas fosfatadas) (Viégas et al., 2010).

Em solos jovens, os fosfatos de cálcio (P-Ca) são os principais fornecedores de fósforo aos organismos vivos, enquanto que em solos altamente intemperizados, a biociclagem dos fosfatos orgânicos assume grande importância na manutenção da biodiversidade, embora não seja suficiente para obter a máxima produtividade econômica das culturas comerciais (Santos et al., 2008a).

O fósforo inorgânico é o menos móvel dos principais nutrientes na maioria dos solos e frequentemente o principal fator limitante para crescimento de plantas nos ecossistemas terrestres (Devau et al., 2009). Quando liberado de resíduos, pode vir do  $P_i$  solúvel nos resíduos e da mineralização do P de compostos orgânicos que ocorre nas fases mais avançadas de decomposição, liberado mais lentamente (Ha et al., 2007).

A capacidade das reservas de P do solo em reabastecer a solução do solo com P envolve interações entre concentração, capacidade de sorção e solubilidade de P no solo (McDowell et al., 2003). Solos com alta proporção das frações de P lábeis indicam disponibilidade para plantas, mas também aumento do potencial de escoamento dos campos pela erosão laminar do solo (Castillo & Wrigth, 2008).

Moreira et al. (2006) ao estudarem quatro solos (Argissolo, Cambissolo, Latossolo e Neossolo), comprovaram que a adsorção de fósforo ocorre principalmente na fração argila com importante participação da fração areia nos fenômenos relacionados com a adsorção de fósforo e, segundo este mesmo autor, a adsorção é afetada diretamente pelo grau de cristalinidade dos colóides, em que é atribuído aos óxidos amorfos o papel de principais componentes de adsorção de fosfato em solos intemperizados, em consequência de uma maior quantidade de sítios de adsorção proporcionada pela maior superfície específica.

## **2.5 Disponibilidade do fósforo às plantas**

O fósforo é um dos nutrientes mais importantes, apesar de ser requerido pelas plantas em pequenas quantidades comparado a outros macronutrientes (Souza et al., 2007a). É um elemento crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e fotossíntese, também como componente estrutural dos ácidos nucléicos, formando coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos (Grant et

al., 2001). Utilizando diferentes fontes e doses de fósforo no crescimento do milho, Harger et al. (2007) verificou-se que a produção de matéria seca e os teores de fósforo na parte aérea aumentaram com aumento das doses de fósforo, independente da fonte considerada (Arad ou Superfosfato Triplo).

As plantas retiram P dos solos principalmente como íons fosfatos ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ ), que dependem da solubilização dos fosfatos naturais e da mineralização de P orgânico pelas fosfatases, enzimas chaves que atuam na hidrólise de P orgânico em íons ortofosfato, sendo esta uma estratégia adaptativa de plantas para ativar e utilizar o P orgânico em condições de deficiência (Zhang et al., 2010).

A disponibilidade de fósforo às plantas pode ser afetada devido ao favorecimento da adsorção desse nutriente aos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, presentes em solos ácidos como é o caso da maioria dos solos brasileiros (Amarante et al., 2007). Em sistemas naturais, em que não há adição de fósforo, sua disponibilidade está diretamente relacionada à ciclagem das formas orgânicas (Santos et al., 2008a).

Os solos tropicais, devido às condições de intenso intemperismo, apresentam reduzida fração de P biodisponível, muitas vezes abaixo das exigências mínimas das culturas, característica associada à alta capacidade que esses solos têm em reter P na fase sólida, na forma de compostos de baixa reatividade (Santos et al., 2008b). Nesses solos, predominam os minerais de argilas 1:1 como a caulinita e os óxidos de Fe (hematita e goethita) e Al (gibsitita) com alta capacidade de adsorção de P (Souza et al., 2006), que limitam a disponibilidade mesmo aplicado via fertilizante às plantas (Bastos et al., 2008). Adsorção e dissolução são alguns dos fatores abióticos que podem controlar a transferência de nutrientes entre os pools inorgânicos e as formas solúveis de fósforo, enquanto processos mediados por microrganismos são os fatores bióticos que mudam o fósforo orgânico disponíveis às plantas (Azeez & Van Averbeke, 2010).

A concentração de fósforo (P potencialmente disponível às plantas) é raramente correlacionado com a concentração de P no solo ou sedimentos; e resulta de interações complexas entre processos físicos, químicos e biológicos, influenciado também pelas variáveis da solução, como força iônica, concentrações de cátions e ânions, pH, etc (Devau et al., 2009).



## 2.6 Fosfatos naturais como fonte alternativa de fósforo

Os fosfatos de alta reatividade correspondem a mais de 90% do  $P_2O_5$  utilizado na agricultura brasileira, apresentam alta eficiência agrônômica em curto prazo, mas elevado custo de aquisição, o que gerou busca e indicação de uso dos fosfatos de menor reatividade (fosfatos naturais reativos), como alternativa a estas fontes solúveis de P (Santos et al., 2008b).

Fertilizantes fosfatados prontamente disponíveis têm um potencial de suprir P às plantas imediatamente após aplicação, mas o P disponível às plantas geralmente diminui com o tempo, devido à conversão de P solúvel em formas menos solúveis como resultado de reações com constituintes do solo, enquanto que a disponibilidade de fontes menos solúveis em P como os fosfatos naturais é geralmente baixa no início e pode aumentar com o tempo devido ao aumento da solubilidade (Rivaie et al., 2008).

Nos solos tropicais, onde o P apresenta grande poder de adsorção aos coloides, há necessidade de fontes alternativas de P, como os fosfatos naturais que são pouco solúveis em água, se dissolvem lentamente na solução do solo e tendem a aumentar sua disponibilidade às plantas ao longo do tempo, além de apresentar custos menores que os fosfatos convencionais e maior efeito residual (Souza et al., 2007a).

Os adubos fosfatados acidulados apresentam solubilidade relativamente elevadas em água (como os superfosfatos simples e triplo), e assim apresentam alta eficiência agrônômica quando comparados aos fosfatos naturais (Foloni et al., 2008). No entanto, ao estudar adsorção e eficiência de fertilizantes quanto à solubilidade, Prochnow et al. (2006), sugeriram fontes alternativas de P de baixa solubilidade em água como agronomicamente mais eficientes em solos com elevada capacidade de adsorção de P.

É bem documentado o uso de fosfatos naturais na África oriental como alternativas ao fósforo solúvel, mas nem sempre efetivos no aumento na produtividade dos cultivos por causa de sua baixa solubilidade (Opala et al., 2010). Entretanto, Forloni et al. (2008) verificaram que a aplicação de fosfato natural em doses crescentes, elevaram de forma expressiva o P disponível no solo.

O uso de fosfato de rocha para aplicação direta é um atrativo alternativo de custo-benefício em substituição aos fertilizantes fosfatados caros, especialmente em ambientes pobres, onde existem depósitos nativos de fosfatos naturais e os fertilizantes fosfatados solúveis em água utilizados são importados (Akhtar et al., 2009).

## 2.7 Mecanismos que afetam a dinâmica do fósforo no solo

A aplicação repetida de P mineral no solo, prática comum dos cultivos, pode direta ou indiretamente, induzir mudanças nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo com aumento nos níveis de saturação e fertilidade geral de P (Beauregard et al., 2010).

O uso excessivo de fertilizantes pode levar a concentrações de fósforo na superfície do solo que excede aqueles requeridos para um ótimo crescimento de plantas e este excesso de P na solução do solo implica em perdas de fósforo para águas de superfície com potencial para comprometer a qualidade da água via eutrofização (McDowell et al., 2003). Para Withers et al. (2009), os fatores que contribuem para que isto aconteça, são a acumulação do excesso de P no solo e o resultante aumento do transporte de P no escoamento da terra, que ocorre durante eventos hidrológicos em associação com coloides do solo, partículas e agregados.

O aumento das perdas de P agrícola para águas de superfícies é considerado um grande excesso anual de P nas operações de produção, e como resultado, seus solos tem-se tornado enriquecidos com P; este enriquecimento superficial não resulta apenas de acumulação de P de fertilizantes e adubos ao longo do tempo, retorno em resíduos de decomposição de plantas e estoques de matéria orgânica, mas também porque o P é relativamente imóvel (Watson & Matthews, 2008).

Práticas de manejo que podem alterar condições ambientais (causa de perturbação ou perturbar condições hidrológicas) podem iniciar transformações entre os vários pools e, a distribuição dentro destes pools são uma indicação do potencial de ciclagem no solo, que pode ser diferente para várias práticas de manejo da terra ao longo do tempo (Castillo & Wrigth, 2008).

Xavier et al. (2009) constataram que o manejo orgânico do solo promoveu um aumento nas formas disponíveis de P por evitar e/ou diminuir as taxas de transformação de  $P_i$  em formas mais estáveis de P, reforçando a ciclagem de P. Ainda observaram que o uso de adubação verde promoveu aumento no pool mais lábil de P.

Ao estudar monocultura de alfafa por longo período de fertilização de P, Beauregard et al. (2010) demonstraram que o manejo da fertilidade de P no solo pode modificar a composição da comunidade microbiológica do solo, com influencia nas comunidades de bactérias e fungos, porém sem efeitos sob os fungos micorrízicos arbusculares. Gatiboni et al. (2008), constataram que a diminuição da disponibilidade de fósforo no solo levou à diminuição do fósforo armazenado na biomassa microbiana do solo e ao aumento da atividade das fosfatases ácidas.

## 2.8 O fósforo no milho

O milho tem sido cultivado no Brasil nas mais variadas condições de clima e solo e sua produtividade depende, dentre outros fatores, do adequado suprimento de nutrientes e o fornecimento de P via adubação é uma prática essencial para estes solos (Harger et al., 2007).

A maioria dos solos, onde o milho tem sido cultivado, é considerada pobre quimicamente, com alta capacidade de sorção de P, baixos teores de nutrientes e elevada acidez, que resulta em baixa disponibilidade de P (Brasil et al., 2007).

A alta eficiência de fósforo nas plantas de milho tem sido alcançada por melhoria nos componentes: eficiência de aquisição e utilização interna de P; e os principais mecanismos relatados para aumentar a eficiência de aquisição de P são: morfologia e arquitetura radicular, capacidade dos genótipos em associar-se com microrganismos da rizosfera do solo (micorrizas, fungos bactérias) e a capacidade dos genótipos em secretar compostos na rizosfera (como fosfatases e ácidos orgânicos) (Parentoni & Souza Júnior, 2008).

Ao avaliar a capacidade de absorver P via fosforita Alvorada (fosfato natural), Foloni et al. (2008), verificaram que o milho respondeu positivamente ao aumento da dose de  $P_2O_5$  dessa fonte de P. Em região de cerrado, os fosfatos naturais (fosfato de Araxá e fosfato reativo de Arad) apresentaram melhor desempenho com o tempo, com resultados semelhantes às fontes mais solúveis no terceiro cultivo (Resende et al., 2006).

## 2.9 Interações entre acidez e fósforo no solo

A acidificação dos solos ocorre de modo especial, em regiões tropicais úmidas e deve-se à substituição de cátions trocáveis por íons  $H^+$  e  $Al^{3+}$  no complexo de troca, absorção de cátions básicos pelas plantas e, também, pelo uso de fertilizantes de caráter ácido. A concentração elevada de  $Al^{3+}$ , além de ser tóxico às plantas, pode interferir na disponibilidade de outros nutrientes, principalmente na solubilidade do fosfato no solo, que tende a reagir com o Al solúvel, formando fosfatos de Al de baixa solubilidade (Viviane et al., 2010). Mas a presença de  $Al^{3+}$  no solo, não indica necessariamente fitotoxidez, visto que ânions orgânicos e inorgânicos alteram a dinâmica do  $Al^{3+}$  livre em solução, com redução de sua atividade, como acontece no sistema de plantio direto devido ao acúmulo de resíduos de culturas e nutrientes, especialmente P e Ca, que contribuem para inativação do  $Al^{3+}$  em solução (Nolla & Anghinoni, 2006).

Em solos ácidos, a solubilidade das formas dominantes de fosfato (ligadas ao Al e Fe) aumentam com aumento do pH (Li et al., 2010) devido à calagem, que aumenta as cargas

negativas e diminui as positivas no complexo de troca e diminui a solubilidade de compostos de Al e Fe, aumentando a concentração de P na solução do solo (Ernani et al., 2000). Já em solos alcalinos, a solubilidade de P é controlada por fosfatos de cálcio (McDowell et al., 2003).

A interferência dos corretivos na ação dos adubos fosfatados, já é bastante conhecida na literatura. Gargantini et al. (1972), observaram que os fosfatos solúveis tiveram seus resultados melhorados, quando o solo recebeu calagem para correção de acidez, com excelentes resultados para produção de biomassa de parte aérea e grãos de plantas de trigo.

Viégas et al. (2010) ao estudarem os efeitos da calagem na disponibilidade de P em diferentes níveis de acidez, verificaram, no geral, que os níveis de acidez não influenciaram na disponibilidade de P medidos pelo crescimento e absorção de P por plantas de sorgo, para a dose estudada de 200 mg kg<sup>-1</sup> P. Já Saarela & Vuorinem (2010), observaram que a disponibilidade de P incorporado ao solo, declinou rapidamente, em parte, pelo aumento da acidez.

Ao estudar o controle do pH na disponibilidade de P no ambiente, em um Cambissolo, Devau et al. (2009), verificaram que os óxidos de ferro e gibsitita foram os principais constituintes do solo na adsorção de P em pH ácido e alcalino, e que o P foi adsorvido principalmente por minerais de argila em valores intermediários de pH.

## REFERÊNCIAS

- ABREU JR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F. Relationship between acidity and chemical properties of brazilian soils. **Scientia Agricola**, v.60, n.2, p.337-343, 2003.
- AKHTAR, M. S.; OKI, Y.; ADACHI, T. Mobilization and Acquisition of sparingly soluble P-sources by *Brassica* cultivars under P-starved environment I. Differential growth response, P-efficiency characteristics and P-remobilization. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.51, n.11, p.1008-1023, 2009.
- AMARANTE, C. V. T.; ERNANI, P. R.; SOUZA, A. G. Influência da calagem e da adubação fosfatada no acúmulo de nutrientes e crescimento da erva-de-São-João. **Horticultura Brasileira**, v.25, n.4, p.533-537, 2007.
- AZEEZ, J. O. & Van AVERBEKE, W. Fate of manure phosphorus in a weathered sandy clay loam soil amendment with three animal manures. **Bioresource Technology**, v.101, p.6584-6588, 2010.
- BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V.; SILVA, I. F.; RAPOSO, R. W.; SOUTO, J. S. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.136-142, 2008.
- BEAUREGARD, M. S.; HAMEL, C.; ATUL-NAYYAR.; ST-ARNAUD, M. Long-term phosphorus fertilization impacts soil fungal and bacterial diversity but not AM fungal community in Alfalfa. **Microbial Ecology**, v.59, p.379-389, 2010.
- BOHNEN, H. **Acidez do solo: origem e correção**. In: KAMINSKI, J. Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto. 1. ed., (SBSC- Núcleo Regional Sul. Boletim Técnico, 4), SBSC- Núcleo Regional Sul, p.9-20, 2000.
- BRASIL, E. C.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; PITTA, G. V. E.; CARVALHO, J. G. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contrastantes quanto a aquisição de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.3, p.704-712, 2007.
- CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; BARTH, G. Surface Application of Lime for Crop Grain Production Under a No-Till System. **Agronomy Journal**, v.97, p.791-798, 2005.
- CAIRES, E. F.; CORRÊA, J. C. L.; CHURKA, S.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. **Scientia Agricola**, v.63, n.5, p.502-509, 2006.
- CÂMARA, L.M.J.R.; RIBEIRO, J.F.; FERNANDES, M.S. Efeito da calcinação na eficiência de fosfatos de alumínio como fertilizante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, p.345-347, 1984.
- CASTILLO, M. S. & WRIGHT, A. L. Soil phosphorus pools for Histosols under sugarcane and pasture in the Everglades, USA. **Geoderma**, v.145, p.130-135, 2008.

CHAGAS JUNIOR, A. F.; OLIVEIRA, L. A.; OLIVEIRA, A. N. Tolerância à acidez e alumínio tóxico por isolados de rizóbios de solos no Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**, v.39, n.2, p.467 – 470, 2009.

CHAGNON, M.; PARÉ, D.; HÉBERT, C.; CAMIRÉ, C. Effects of experimental liming on collembolan communities and soil microbial biomass in a southern Quebec sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) stand. **Applied Soil Ecology**, v.17, p.81–90, 2001.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A. & WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.1055-1064, 2002.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. & ALBUQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de um Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.317-326, 2004.

COCHRAN, R. L.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A.; TYLER, D. D. Cotton Profitability with Alternative Lime Application Rates, Cover Crops, Nitrogen Rates, and Tillage Methods. **Agronomy Journal**, v.99, p.1085-1092, 2007.

CORRÊA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MARCELINO, R.; MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.9, p.1307-1317, 2007.

CORRÊA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, D. M.; PERES, M. G. M. Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade da aveia preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1583-1590, 2008.

DEVAU, N.; CADRE, E. L.; HINSINGER, P.; JAILLARD, B.; GÉRARD, F. Soil pH controls the environmental availability of phosphorus: Experimental and mechanistic modelling approaches. **Applied Geochemistry**, v.24, p.2163-2174, 2009.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, v.67, n.2, p.429-439, 2008.

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

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agricola**, v.58, n.4, p.825-831, 2001.

FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S.; CALONEGO, J. C.; ALVES JUNIOR, J. Aplicação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milheto, braquiária, milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1147-1155, 2008.

- FONSECA, A. F.; CAIRES, E. F.; BARTH, G. Extraction methods and availability of micronutrients for wheat under a no-till system with a surface application of lime. **Scientia Agricola**, v.67, n.1, p.60-70, 2010.
- FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agricola**, v.58, n.2, p.357-360, 2001.
- FRANCISCO, E. A. B.; PROCHNOW, L. I.; TOLEDO, M.C. M.; FERRARI, V. C.; JESUS, S. L. The treatment of aluminous phosphates of the crandallite group and its effect on phosphorus solubility. **Scientia Agricola**, v.64, n.3, p.269-274, 2007.
- GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; BRUNETTO, G. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.8, p.1085-1091, 2008.
- GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASCIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Potafos, n.95, 5p., 2001.
- GUARDANI, R.; DRAHOS, J.; GIULIETTI, M.; SCHÜGERL, K. Studies on calcination of aluminium phosphate rock in fluidized bed reactors. **Fertilizer Research**, v.20, p.181-191, 1989.
- HA, K. V.; MARSCHNER, P.; BÜNEMANN, E. K.; SMERNIK, R. J. **Soil Biology & Biochemistry**, v.39, p.2696-2699, 2007.
- HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, R.; ORTIZ, F. R.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v.28. n.1, p.39-44, 2007.
- HELYAR, K. R. Nitrogen cycling and soil acidification. **Journal of the Australian Institute of Agricultural Science**, v.42, p.217-221, 1976.
- HIRTH, J. R.; LI, G. D.; CHAN, K.Y.; CULLIS, B. R. Long-term effects of lime on earthworm abundance and biomass in an acidic soil on the south-western slopes of New South Wales, Australia. **Applied Soil Ecology**, v.43, p.106-114, 2009.
- LI, H.; SHEN, J.; ZHANG, F.; MARSCHNER, P.; CAWTHRAY, G.; RENGEL, Z. Phosphorus uptake and rhizosphere properties of intercropped and monocropped maize, faba bean, and white lupin in acidic soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.46, p.79-91, 2010.
- LOPES, A. S. & GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. 1 ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-64, 2007.
- LEITE, G. H. M. N.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; COGO, N. P. Atributos químicos e perfil de enraizamento de milho influenciados pela calagem em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.685-693, 2006.

KINJO, T.; SILVEIRA, R. J.; MARCOS, Z.Z.; ABRAHÃO, I.O. Efeito da aplicação de efluente da fábrica de celulose junto com fosfogesso na correção da acidez do solo. **Scientia Agricola**, v.49, n.1, p.129-135, 1992.

McDOWELL, R. W.; MAHIEU, N.; BROOKES, P.C.; POULTON, P. R. Mechanisms of phosphorus solubilisation in a limed soil as a function of pH. **Chemosphere**, v.51, p.685-692, 2003.

MELLO FILHO, C. H. R.; OLIVEIRA, J. R.; ESPINOSA, D. C. R.; TENÓRIO, J. A. S. Caracterização e aplicação dos resíduos sólidos gerados na fabricação de precipitado de carbonato de cálcio como corretivo da acidez do solo. **Revista da Escola de Minas**, v.63, n.2, p.271-277, 2010.

MOREIRA, L. M.; FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A.; NÓBREGA, E. B. Adubação fosfatada e níveis críticos de fósforo no solo para manutenção da produtividade do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* cv. Napier). **Revista Brasileira Zootecnia**, v.35, n.3, p.943-952, 2006.

MOURA, E. G. M. Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar. In: MOURA, E. G. de M. org. **Agroambientes de transição. Entre o trópico úmido e o semi-árido. Atributos, alterações; uso na produção familiar**. 2. ed., UEMA, p. 15-51, 2006.

NATALE, W.; PRADO, R. de M.; ROZANE, D. E. & ROMUALDO, L. M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1475-1485, 2007.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Indicadores da acidez do solo para recomendação de calagem no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.237-247, 2008a.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Relações entre os tipos e indicadores de acidez do solo em lavouras no sistema plantio direto na região do planalto do rio grande do sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1217-1226, 2008b.

NOLLA, A. & ANGHINONI, I. Atividade e especiação química na solução afetadas pela adição de fósforo em latossolos sob plantio direto em diferentes condições de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.955-963, 2006.

OPALA, P. A.; OKALEBO, J. R.; OTHIENO, C. O.; KISINYO, P. Effect of organic and inorganic phosphorus sources on maize yields in an acid soil in western Kenya. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v.86, p.317-329, 2010.

PARENTONI, S. N. & SOUZA JÚNIOR, C. L. Phosphorus acquisition and internal utilization efficiency in tropical maize genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.7, p.893-901, 2008.

PROCHNOW, L. I.; QUISPE, J. F. S.; FRANCISCO, E. A. B.; BRAGA, G. Effectiveness of phosphate fertilizers of different water solubilities in relation to soil phosphorus adsorption. **Scientia Agricola**, v.63, n.4, p.333-340, 2006.



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 de Ciência do Solo**, v.30, p.849-857, 2006.

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

RITCHEY, K. D.; BELESKY, D. P.; HALVORSON, J. J. Soil Properties and Clover Establishment Six Years after Surface Application of Calcium-Rich By-Products. **Agronomy Journal**, v.96, p.1531-1539, 2004.

RIVAIE, A. A.; LOGANATHAN, P.; GRAHAM, J. D.; TILLMAN, R. W.; PAYN, T. W. Effect of phosphate rock and triple superphosphate on soil phosphorus fractions and their plant-availability and downward movement in two volcanic ash soils under *Pinus radiata* plantations in New Zealand. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v.82, p.75-88, 2008.

ROSSATO, O. B.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; BRUNETTO, G.; ADORNA, J. C.; GIROTTO, E.; LORENZI, C. R. Correction of soil acidity in the subsurface of an oxisol with sandy loam texture under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.659-667, 2009.

SAARELA, I. & VUORINEN, M. Stratification of soil phosphorus, pH, and macro-cations under intensively cropped grass ley. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v.86, p.367-381, 2010.

SANTANA L. C. & GEHRING, C. Fertilidade do solo e crescimento do milho em solos do centro norte do Maranhão corrigidos com pó de marga e fosfato natural. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15. MOSTRA DE PRÁTICAS INVESTIGATIVAS DE PEDAGOGIA, 2. 2007. **Livro de resumos do XIX Seminário de Iniciação Científica da UEMA**, II Mostra de Práticas Investigativas de Pedagogia. São Luís: PPG/CP, CD-ROM, 2007.

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, p.576-586, 2008a.

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

SCHLOSSBERG, M. J.; WALTZ, JR., F. C.; LANDSCHOOT, P. J.; PARK, B. S. Recent Mechanical Cultivation of Lawns Enhances Lime Application Efficacy. **Agronomy Journal**, v.100, n.3, p.855-861, 2008.

SILVA, V.; MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F.; LIMA, V. C. Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.551-559, 2008.

SORATTO, R. P. & CRUSCIOL, C. A. C. Dolomite and Phosphogypsum Surface Application Effects on Annual Crops Nutrition and Yield. **Agronomy Journal**, v.100, n.2, p.261-270, 2008a.

SORATTO, R. P. & CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.675-688, 2008b.

SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. de. & OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. 1 ed., Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 205-274, 2007.

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 de Ciência do Solo**, v.30, p.975-983, 2006.

SOUZA, C. E. S.; SILVA, M. O.; DUDA, G. P.; MENDES, A. M. S. Solubilização de fósforo de fertilizantes fosfatados após tratamento com diferentes resíduos orgânicos. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v.7, n.1, p.120-126, 2007a.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; ANDRADE, A. T.; TORRES, P. R. F. Formas de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1535-1544, 2007b.

TEDESCO, M. J & GIANELLO, C. Escolha do corretivo da acidez do solo. In: KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. 1. ed., SBCS- Núcleo Regional Sul, (SBSC- Núcleo Regional Sul. Boletim Técnico, 4), p. 9-20, 2000.

TOLEDO, K. C. M. Os fosfatos aluminosos da série da crandallita – uma revisão. **Revista do Instituto Geológico**, IG, v.20, n.1, p.49-63, 1999.

TURNER, B. L. Resource partitioning for soil phosphorus: a hypothesis. **Journal of Ecology**, v.96, n.3, p.698-702, 2008.

VIÉGAS, R. A.; NOVAIS, R. F.; SCHULTHAIS, F. Availability of a soluble phosphorus source applied to soil samples with different acidity levels. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1125-1136, 2010.

VIVIANI, C. A.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; GONÇALVES, M. C. Phosphorus availability in two clayey oxisols and its accumulation in soybean as a function of the increase in Ph. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.1, p.61-67, 2010.

XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S. Phosphorus fractionation in a sandy soil under organic agriculture in Northeastern Brazil. **Geoderma**, v.151, p.417-423, 2009.

ZHANG, H. W.; HUANG, Y.; YE, X. S.; XU, F. S. Analysis of the contribution of acid phosphatase to P efficiency in *Brassica napus* under low phosphorus conditions. **Science China Life Sciences**, v.53, n.6, p.709-717, 2010.

WATSON, C. J. & MATTHEWS, D. I. A 10-year study of phosphorus balances and the impact of grazed grassland on total P redistribution within the soil profile. **European Journal of Soil Science**, v.59, p.1171-1176, 2008.

WITHERS, P. J. A.; HARTIKAINEN, H.; BARBERIS, E.; FLYNN, N. J.; WARREN, G. P. The effect of soil on particulate phosphorus in land runoff. **European Journal of Soil Science**, v.60, p.994-1004, 2009.

**AVALIAÇÃO DA RESPOSTA DE TRÊS CLASSES DE SOLO AO USO DE FONTES  
ALTERNATIVAS DE CORRETIVO DA ACIDEZ E DE FÓSFORO**

---

**CAPÍTULO II**

## **AValiação da Resposta de Três Classes de Solo ao uso de Fontes Alternativas de Corretivo da Acidez e de Fósforo**

Marlon Gomes da Costa<sup>(1)</sup>, Kátia Pereira Coelho<sup>(2)</sup>, Alana das Chagas Ferreira Aguiar<sup>(3)</sup>,  
Anna Carolinna Moraes<sup>(4)</sup> & Emanuel Gomes de Moura<sup>(5)</sup>

---

<sup>(1)</sup> Bolsista Fapema, Mestrado em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Cx. Postal 09, CEP: 65054-970, São Luís (MA). E-mail: [marlongc25@yahoo.com.br](mailto:marlongc25@yahoo.com.br)

<sup>(2)</sup> Estudante de Mestrado em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Cx. Postal 09, CEP: 65054-970, São Luís (MA). E-mail: [katiapc2004@yahoo.com.br](mailto:katiapc2004@yahoo.com.br)

<sup>(3)</sup> Professor Adjunto I, CCAA/Universidade Federal do Maranhão – UFMA, PPG-Agroecologia, UEMA. E-mail: [alanaaguiar@elo.com.br](mailto:alanaaguiar@elo.com.br)

<sup>(4)</sup> Eng<sup>a</sup>. Agrônoma, Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Cx. Postal 09, CEP: 65054-970, São Luís (MA). E-mail: [carol.agro@hotmail.com](mailto:carol.agro@hotmail.com)

<sup>(5)</sup> Professor adjunto III, PPG-Agroecologia, UEMA. E-mail: [egmoura@elo.com.br](mailto:egmoura@elo.com.br)

## RESUMO

A acidez do solo, alta toxicidade por alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) e a baixa disponibilidade de fósforo (P) são os principais fatores limitantes na produção agrícola nos trópicos. Estes problemas são mitigados com aplicação de corretivos da acidez e fertilizantes fosfatados. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência do uso de pó de margá (PM) como corretivo de acidez e fosfato natural de Trauíra (FNT) como fonte de fósforo para três diferentes classes de solo, ARGISSOLO ACIZENTADO, VERTISSOLO HIDROMÓRFICO e PLINTOSSOLO ARGILÚVICO. O experimento foi instalado em duas etapas: inicialmente, foi usado esquema fatorial  $3 \times 3 \times 5$  (dois corretivos: carbonato de cálcio – CC, pó de margá – PM e solo sem correção – SC; três classes de solos e cinco períodos de incubação: 30, 45, 60, 75 e 90 dias, com quinze repetições); na fase seguinte, foram aplicadas doses de fósforo nos vasos e plantado milho, em esquema fatorial  $3 \times 3 \times 5$  (os três corretivos citados; os três solos e cinco doses de fósforo:  $15 \text{ mg dm}^{-3}$  de fosfato natural de Trauíra (FNT),  $30 \text{ mg dm}^{-3}$  de FNT,  $45 \text{ mg dm}^{-3}$  de FNT,  $45 \text{ mg dm}^{-3}$  de superfosfato triplo (SFT) e testemunha, sem fósforo. O PM foi eficiente na elevação do pH e redução da acidez potencial para as três classes de solos avaliadas, superando o CC e o tratamento sem corretivo, com potencialidade de uso como corretivo do solo. As maiores respostas no cultivo do milho ocorreram no Vertissolo na produção de massa de matéria seca, concentração, estoque e eficiências de uso e recuperação de P, que pode estar relacionado à constituição química deste solo que apresenta altos teores de nutrientes, principalmente  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Apesar de não ter superado o SFT, o FNT apresentou resultados satisfatórios para as variáveis avaliadas, principalmente para o Vertissolo, até equiparando-se em alguns casos ao SFT. Nas três classes de solos, as doses de FNT superaram o tratamento sem fósforo, para a maioria das variáveis avaliadas. As interações de PM combinado com FNT apresentaram resultados inferiores às demais combinações para a maioria das variáveis avaliadas. O uso do FNT mostrou-se como alternativa às fontes solúveis, com respostas positivas no desenvolvimento do milho, sem muita diferença entre as doses, o que pode ser um fator importante na escolha desta fonte.

Palavras chave: Acidez do solo, pó de margá, fosfato natural de Trauíra, solos tropicais

## ABSTRACT

### EVALUATION OF THE RESPONSE OF THREE SOIL CLASSES TO THE USE OF ALTERNATIVE SOURCES OF PHOSPHORUS AND OF ACIDITY CORRECTIVES

Soil acidity, high aluminum ( $\text{Al}^{3+}$ ) toxicity and the low availability of phosphorus (P) are the main factors limiting crop production in the tropics. These problems are mitigated with application of correctives of acidity and phosphate fertilizers. The aim of this study was to evaluate the efficiency of the use of pó de marga (PM) as a corrective for acidity and natural phosphate from Trauíra (NPT) as a source of phosphorus for three different classes of soils, ULTISOL GRAY, VERTISOL HIDROMORPHY and PLINTHOSOLS ARGILUVIC. The experiment was performed in two phases: first, we used a factorial scheme of 3 x 3 x 5 (two correctives: calcium carbonate - CC, pó de marga - PM and soil without correction - WC, three classes of soil and five incubation periods : 30, 45, 60, 75 and 90 days, with fifteen repetitions); in the next phase, were fertilized with phosphorus in pots and planted corn in a factorial 3 x 3 x 5 (the three correctives cited, the three soils and five levels of phosphorus: 15  $\text{mg dm}^{-3}$  natural phosphate from 'Trauíra' (NPT), 30  $\text{mg dm}^{-3}$  NPT, 45  $\text{mg dm}^{-3}$  NPT, 45  $\text{mg dm}^{-3}$  triple superphosphate (TSP) and a control without phosphorus. The PM was efficient in raising pH and decreasing the potential acidity for the three soil classes assessed, surpassing the CC and treatment without correction, with potential use as a soil corrective. The best responses in maize cultivation occurred in Vertissolo in dry matter production, concentration, storage and efficiency of use and recovery of P, which might be related to the chemical constitution of this soil that has high levels of nutrients, especially  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ . Despite not having overcome the TSP, NPT had good results on these parameters, especially for the Vertissolo, even equating in some cases to the TSP. In the three classes of soil, the doses of NPT overcame the treatment without phosphorus for most parameters. The interactions of PM in combination with NPT have not showed good results. The use of NPT showed up as an alternative to soluble fertilizers, with positive effects on the development of corn, without much difference between the doses, which may be an important factor in choosing this source.

Key-words: Soil acidity, pó de marga, natural phosphate from Trauíra, tropical soils

## 1. INTRODUÇÃO

A acidez do solo é um dos principais fatores limitantes na produção agrícola (Ramos et al., 2006) com expressiva representatividade a nível mundial, principalmente nos trópicos (Silva et al., 2008). Esta acidez caracteriza-se por pH e saturação por bases muito baixos e teor e saturação por  $\text{Al}^{3+}$  muito altos (Nolla & Anghinoni, 2006), que aliadas à baixa disponibilidade de fósforo da maioria dos solos brasileiros, representam as maiores restrições ao desenvolvimento das plantas cultivadas (Amarante et al., 2007), com limitação para a produção agrícola em condições úmidas, tropicais e subtropicais (Bastos et al., 2008; Francisco et al., 2007).

A calagem, forma de correção mais comumente usada, supre as necessidades de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  do solo, e o componente carbonato eleva o pH e reduz os níveis de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{H}^+$  (Ritchey et al., 2004; Soratto & Crusciol, 2008). A elevação do pH, nestas condições, aumenta a concentração e atividade dos íons  $\text{OH}^-$  em solução, promove a precipitação de  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  e reduz a precipitação de fosfatos ligados ao ferro e alumínio (P-Fe e P-Al) de baixa solubilidade no solo (Souza et al., 2006). Este efeito possibilita a proliferação das raízes, com reflexos positivos no crescimento da parte aérea das plantas (Natale et al., 2007).

O pó de marga, composto de misturas de argilas e calcários (Lopes & Guilherme, 2007), com granulação fina e altos teores de Ca (Santana & Gehring, 2007), encontrado no Maranhão e pode ser uma alternativa para correção da acidez do solo nos trópicos.

A deficiência de fósforo em solos tropicais decorre das fortes interações desse nutriente com os colóides do solo que produz alta capacidade de fixação e conseqüentemente baixa disponibilidade do nutriente às plantas (Novais et al., 2007; Amorim et al., 2008). A mobilidade de fósforo nestes solos é controlada por interações com a matriz do solo, nutrientes e correções (Shaheen et al., 2009).

Devido ao problema dos custos dos fosfatos solúveis obtidos pelos processos convencionais de solubilização, o foco da pesquisa está voltado para o uso de fontes alternativas de fósforo como os fosfatos naturais (Kliemann & Lima, 2001; Harger et al., 2007). O uso de rocha fosfatada pode ser uma alternativa, especialmente em ambientes de baixa disponibilidade de nutrientes, onde existem depósitos nativos de fosfatos naturais (Akhtar et al., 2009). Os fosfatos naturais já foram estudados por vários autores (Câmara et al., 1984; Foloni et al., 2008; Kliemann & Lima, 2001; Rivaie et al., 2008), e o Maranhão apresenta um dos maiores depósitos do Brasil, conhecido como depósito de Trauíra, com cerca de 19 milhões de toneladas de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Braun, 1983).



Devido aos altos custos dos fertilizantes fosfatados importados e do calcário, o foco agora está voltado para soluções que utilizem recursos locais (Opala et al., 2010). O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do uso de pó de marga e fosfato natural de Trauíra, como corretivo da acidez e fonte de fósforo, respectivamente, para três diferentes classes de solo, Argissolo, Plintossolo e Vertissolo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização e instalação experimental

O experimento foi instalado no Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural da Universidade Estadual do Maranhão, em casa de vegetação. Foram utilizados três diferentes solos maranhenses, um ARGISSOLO ACINZENTADO Distrocoeso plântico, proveniente do município de São Mateus, um VERTISSOLO HIDROMÓRFICO Órtico típico, oriundo do município de Arari e um PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico típico, proveniente do município de Miranda do Norte. Foram realizadas a caracterização química e física destes solos, segundo metodologia de Raij et al. (2001) (Quadro 1).

Quadro 1. Análise física e química dos solos utilizados no experimento.

SOLO	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA				pH		CARBONO		
	Areia	silte	argila	Silte/argila	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	%		
	.....%.....								
ARGISSOLO	73	19	8	2,38	5,7	5,1	1,07		
PLINTOSSOLO	23	68	9	7,55	5,4	4,8	1,94		
VERTISSOLO	29	13	58	0,22	5,0	4,4	1,6		

SOLO	COMPLEXO SORTIVO*									
	P	Ca	Mg	K	Na	SB	Al	H	T	V
	mg/dm <sup>3</sup>		.....mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> .....						%	
ARGISSOLO	4	27,0	11,0	5,10	2,70	45,80	1,0	23,0	69,80	65,6
PLINTOSSOLO	4	18,0	10,0	7,80	0,60	36,40	4,0	30,0	70,40	51,7
VERTISSOLO	14	34,0	55,0	7,20	6,00	102,20	15,00	83,00	200,20	51,0

\*Ca, Mg, K e P foram determinados em resina; Na foi determinado em Melich 1e Al em KCl 0,1N

O experimento foi conduzido em duas etapas. A primeira fase constou de tratamentos com aplicação dos corretivos carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e pó de marga nas três classes de solos, que foram avaliadas sob diferentes períodos de incubação até os 90 dias. O

delineamento experimental, nesta fase, foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 3 x 5, com três formas de correção da acidez (carbonato de cálcio – CC, pó de marga – PM e solo sem correção – SC), três classes de solos (Argissolo, Plintossolo e Vertissolo) e cinco períodos de incubação (30, 45, 60, 75 e 90 dias) com quinze repetições. Cada parcela experimental foi constituída por um vaso contendo 3 litros de solo previamente seco e passado em peneira de malha grossa de 2 mm e corrigido de acordo com os tratamentos.

Na fase seguinte, que ocorreu três meses após o último período de incubação, foram aplicadas doses de fósforo nos vasos e plantado semente de milho, cultivar AG 5020. O delineamento experimental foi em esquema fatorial 3 x 3 x 5, com três formas de correção da acidez (carbonato de cálcio – CC, pó de marga – PM e solo sem correção – SC), três classes de solos (Argissolo, Plintossolo e Vertissolo) e cinco tratamentos com fósforo utilizando fosfato natural de Trauíra (FNT) e superfosfato triplo (SFT) nas seguintes doses e fontes: 15 mg dm<sup>-3</sup> de FNT, 30 mg dm<sup>-3</sup> de FNT, 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT, 45 mg dm<sup>-3</sup> de SFT e testemunha, sem fósforo).

Todos os vasos foram fertilizados semanalmente com solução de Hoagland modificada sem fósforo, constituída de 240 g L<sup>-1</sup> de Ca(NO<sub>3</sub>); 101 g L<sup>-1</sup> de KNO<sub>3</sub>; 246,5 g L<sup>-1</sup> de MgSO<sub>4</sub>; 2,86 g L<sup>-1</sup> de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; 0,22 g L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O; 1,81 g L<sup>-1</sup> de MnCl<sub>2</sub> 4H<sub>2</sub>O; 0,08 g L<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>O; 0,02 g L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> H<sub>2</sub>O e 7,54 g L<sup>-1</sup> de EDTA férrico. A aplicação da solução iniciou-se após a emergência das plântulas. O pH da solução foi mantido próximo a 6,0.

O PM utilizado foi adquirido no município de Brejo e é proveniente da formação Codó do centro-leste do estado do Maranhão. Este material foi analisado e apresentou poder relativo de neutralização total - PRNT = 36%, CaO=37,4, MgO=4,4 e PN=52% e antes da utilização foi seco, moído e peneirado em peneira com abertura de 0,25 mm. O FNT foi coletado na ilha de Trauíra, localizada na região do litoral noroeste maranhense, próximo ao município de Cândido Mendes. Antes da aplicação no solo, o FNT foi calcinado à temperatura de 500°C por 2 horas. A rocha foi moída manualmente, passada em peneira de 2 mm e caracterizada quimicamente: Ca=0,37%, Mg=0,05%, Fe=1,41%, Cu=0,0007%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=0,11% em H<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=6,5% em ácido cítrico 2% e Ptotal=37%.

O Plintossolo e o Vertissolo foram corrigidos para elevar a saturação por bases (V%) a 70% enquanto o Argissolo foi corrigido para elevar o V% a 80%, em função do seu V% inicial encontrar-se próxima a 70%. A necessidade de calagem foi calculada utilizando o método da saturação por bases obtendo-se as quantidades de CC e PM a serem aplicadas em

Quadro 2. Quantidades dos corretivos Pó de Marga e CaCO<sub>3</sub> aplicadas.

SOLO	V% (desejada)	PÓ DE MARGA (t ha <sup>-1</sup> )	CaCO <sub>3</sub> (t ha <sup>-1</sup> )
ARGISSOLO	80	2,78	1,00
PLINTOSSOLO	70	3,57	1,28
VERTISSOLO	70	10,53	3,80

t/ha, convertidas em seguida para g/vaso. Os corretivos foram aplicados e misturados ao solo manualmente nas quantidades apresentadas no Quadro 2.

## 2.2 Coleta de dados e determinações analíticas

As amostras de solo foram coletadas dos vasos nos cinco períodos de incubação. Foram secas, passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura e determinados, o pH em CaCl<sub>2</sub> e os teores de H + Al de forma indireta pelo método do pH<sub>SMP</sub> de acordo com a equação obtida por Quaggio (1983):  $\ln Y = 7,76 - 1,053X$ , onde Y = (H+Al) em meq/100 ml de TFSA e X = pH<sub>SMP</sub>.

As plantas de milho foram retiradas 50 dias após a semeadura, colocadas em estufa de circulação de ar forçada a aproximadamente 65°C e pesadas após atingirem peso constante para cálculo da produção de massa de matéria seca. O material foi moído e analisado quanto aos teores de P de acordo com Tedesco et al. (1995).

## 2.3 Determinações de estoque e eficiência de recuperação de fósforo

O estoque de P foi adaptado de Oyon (2006):

$$\text{Estoque de P (mg.vaso}^{-1}\text{)} = \text{Massa de matéria seca aérea (g)} \times \text{Concentração de P (g kg}^{-1}\text{)}$$

A eficiência de recuperação foi adaptado de Tittonell et al. (2008), de acordo com a fórmula:

$$\text{Eficiência de recuperação de P (\%)} = \frac{\text{P no tratamento} - \text{P na testemunha}}{\text{P aplicado}} \times 100$$

Na fórmula de eficiência de recuperação, considera-se o estoque de fósforo no tratamento e testemunha em g.vaso<sup>-1</sup>.

## 2.4 Análises estatísticas

Os valores obtidos para as variáveis foram submetidos ao teste contra normalidade, onde se pode verificar distribuição normal para a maioria dos parâmetros com exceção da

eficiência de recuperação, que foi transformado pela expressão:  $\sqrt{(x+1)}$ . As análises de variância (ANOVA) foram aplicadas com uso do software STATISTICA 8.0 (StatSoft inc., 2007). Os valores de pH e H+Al foram analisados em esquema fatorial (solos x períodos de incubação). Os valores obtidos das variáveis das plantas de milho para análises estatísticas foram dispostos de duas formas: i) tri-fatorial e bi-fatorial apenas para as doses de 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT com 45 mg dm<sup>-3</sup> de SFT; e ii) tri-fatorial e bi-fatorial para as doses de 0 a 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT. Foi usado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias. Os gráficos foram gerados com o software SIGMAPLOT 11.0 (Systat Software inc., 2008).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Acidez do solo

A aplicação dos corretivos CaCO<sub>3</sub> (CC) e Pó de Marga (PM) influenciou positivamente na elevação da acidez ativa e diminuição da acidez potencial para as três classes de solos avaliadas ao longo dos 90 dias de incubação (Argissolo, Plintossolo e Vertissolo) frente ao tratamento sem corretivo(SC) (Figura 1).

O PM obteve resposta superior ao CC na elevação do pH, e estes superiores ao SC para o Argissolo (Fig. 1A). A resposta foi semelhante na diminuição do H+Al para o Argissolo (Fig. 1B), com exceção dos 30 e 45 dias de incubação, em que PM e CC não diferiram, mas continuaram inferiores ao SC. As variações de pH ocorreram de forma equidistantes no período de incubação, para o PM, CC e SC. O mesmo não ocorreu para o H+Al em que o SC mostrou um pico aos 75 dias no Argissolo, enquanto o PM e CC mantiveram os níveis (Fig. 1B). O Argissolo apresentou os menores níveis de H+Al das três classes de solos avaliadas.

No Plintossolo, o PM alcançou maiores níveis no aumento do pH, seguido do CC e diminuição do H+Al (Fig. 1C e 1D). O PM obteve sua maior resposta para este solo, com diferença de pH=1,37 entre pH inicial e final do período de incubação (Fig. 1C). O pH variou nos períodos de incubação, mas os valores médios se mantiveram equidistantes dos 45 aos 90 dias. Foi encontrada resposta semelhante para H+Al para os tratamentos com e sem corretivos.

No Vertissolo, o PM manteve sua resposta superior ao CC e SC na elevação do pH e diminuição do H+Al (Fig. 1E e 1F). As variações do pH nos períodos de incubação foram baixas e os valores se mantiveram equidistantes para os três tratamentos. Os maiores níveis de H+Al foram observados no Vertissolo que manteve valores médios equidistantes para os

períodos de incubação com PM e CC, enquanto o SC apresentou aumento aos 75 e 90 dias (Fig. 1F).

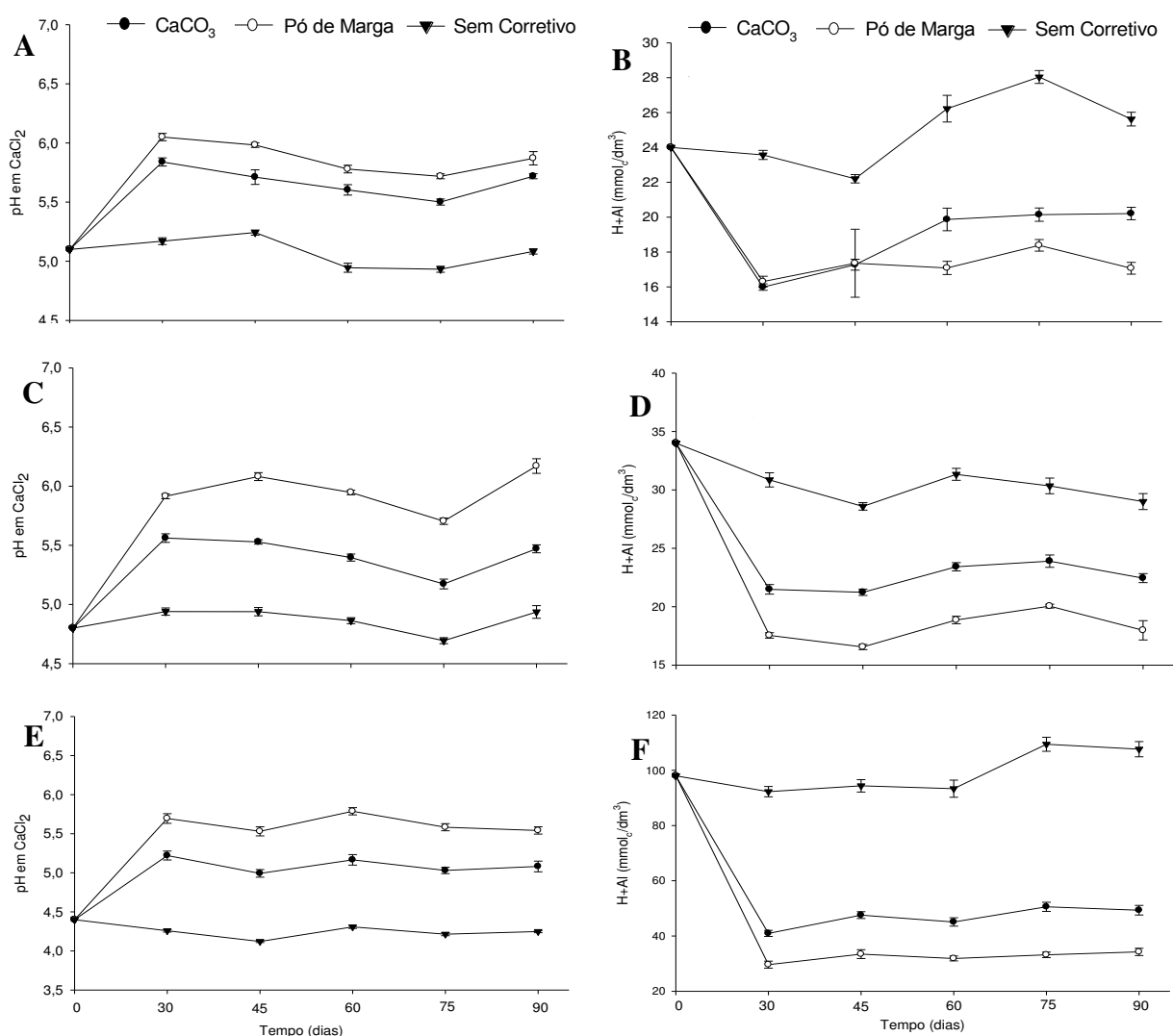


Figura 1. Acidez ativa (pH em CaCl<sub>2</sub>) e acidez potencial (H+Al pelo método SMP) avaliados em cinco períodos de incubação (médias seguidas de erro padrão) em três diferentes classes de solos: Argissolo (A e B), Plintossolo (C e D) e Vertissolo (E e F) em função dos corretivos aplicados (CaCO<sub>3</sub> e Pó de Marga).

### 3.2 Massa de matéria seca

A produção de massa de matéria seca sofreu influencia das classes de solo, corretivos aplicados e fontes de fósforo (FNT e SFT), com interações para efeito dos corretivos nos diferentes solos e das fontes de fósforo combinadas aos corretivos nos diferentes solos (Anexo, Tabela 1).

O efeito dos corretivos na produção de massa de matéria seca ocorreu apenas no Vertissolo, enquanto as fontes de fósforo influenciaram a massa de matéria seca do milho para

as três classes de solo (Anexo, Tabela 2). As interações entre corretivos e fontes de fósforo na produção de massa de matéria seca ocorreram no Plintossolo e Vertissolo (Anexo, Tabela 2).

O SFT foi superior ao FNT para as três classes de solo avaliadas (Fig. 2), com menor diferença entre as fontes no Vertissolo com cerca de 22%. Os tratamentos CC e PM obtiveram médias inferiores ao tratamento sem corretivo para as plantas no Vertissolo (Fig. 2C) e não diferiram no Argissolo e Plintossolo (Fig. 2A e 2B). O FNT não diferiu do SFT para o tratamento sem corretivo no Plintossolo (Fig. 2B).

O FNT afetou a produção de massa de matéria seca para todos os fatores, com interações entre os fatores avaliados, com exceção para corretivos e fontes de fósforo (Anexo, Tabela 3).

O efeito dos corretivos na massa de matéria seca de milho foi observado no Plintossolo e Vertissolo, enquanto o FNT influenciou a massa de matéria seca das plantas para as três classes de solos, com interações entre corretivos e doses de FNT apenas no Plintossolo (Anexo, Tabela 4).

A produção de massa de matéria seca do milho para os tratamentos CC e PM foram inferiores ao tratamento sem corretivo no Vertissolo (Fig. 2C). As doses de FNT superaram a testemunha na produção de massa de matéria seca de milho no Plintossolo e Vertissolo (Fig. 2B e 2C). No Argissolo, apenas a dose de 30 mg dm<sup>-3</sup> foi superior à testemunha (Fig. 2A). As doses de FNT não superaram a testemunha quando combinadas com o tratamento PM no Plintossolo (Fig. 2B).

As maiores médias de produção de massa de matéria seca pelas plantas de milho foram alcançadas no Vertissolo (Fig. 2C). A produção de massa de matéria seca no Plintossolo ocorreu de forma crescente em função do aumento das doses de fósforo para o tratamento CC e o tratamento sem corretivo.

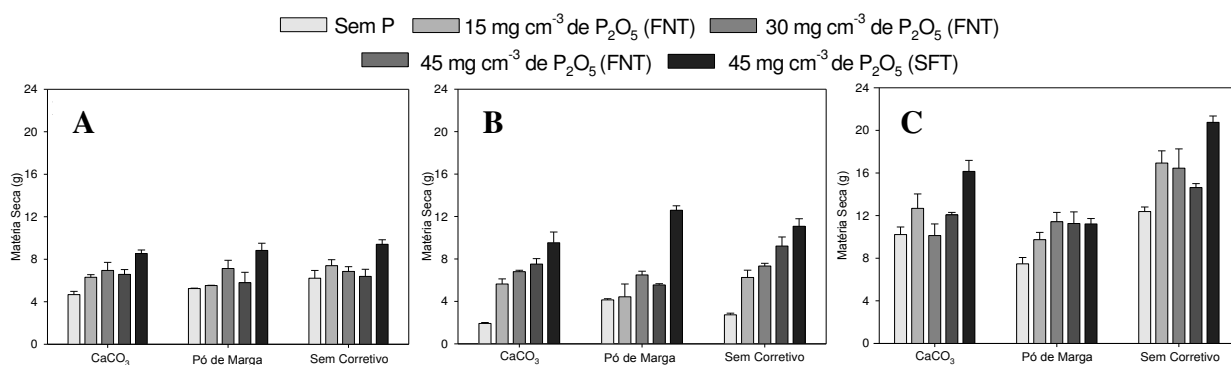


Figura 2. Massa de matéria seca acumulada em plantas de milho até final do estágio vegetativo (médias seguidas de erro padrão) em Argissolo (A), Plintossolo (B) e Vertissolo (C) em função dos corretivos e fontes de fósforo, aplicados.

### 3.3 Concentração de fósforo

A concentração de fósforo mostrou respostas diferentes apenas para as classes de solos e não sofreu interações entre corretivos e fontes de fósforo nas três classes de solo, para as plantas cultivadas (Anexo, Tabela 5).

As plantas de milho sofreram efeito apenas dos corretivos, para o Argissolo (Anexo, Tabela 6). As três classes de solos não apresentaram efeitos entre as fontes de fósforo na concentração de fósforo nas plantas, sem interações entre os corretivos e fontes de fósforo (Anexo, Tabela 6).

O tratamento PM foi superior aos tratamentos CC e sem corretivo na concentração de fósforo na parte aérea do milho no Argissolo (Fig. 3A).

A concentração de fósforo no milho sofreu influência do FNT para as classes de solo e doses de fósforo, com interações dos corretivos e doses de fósforo nos solos, e entre corretivos e doses de fósforo (Anexo, Tabela 7).

O milho sofreu efeito das doses de FNT na concentração de fósforo da parte aérea, no Argissolo e Vertissolo, com interações entre corretivos e doses de fósforo no Vertissolo (Anexo, Tabela 8).

O tratamento com PM mostrou-se inferior ao tratamento sem corretivo, mas não diferiu do tratamento CC na concentração de fósforo nas plantas cultivadas no Vertissolo (Fig. 3C). O FNT foi superior à testemunha na concentração de fósforo na parte aérea do milho, para as maiores doses de fósforo no Argissolo (Fig. 3A) e menor dose no Vertissolo (Fig. 3C).

As doses de FNT não superaram a testemunha em nenhuma das três combinações com os tratamentos CC, PM e sem corretivo no Vertissolo (Fig. 3C).

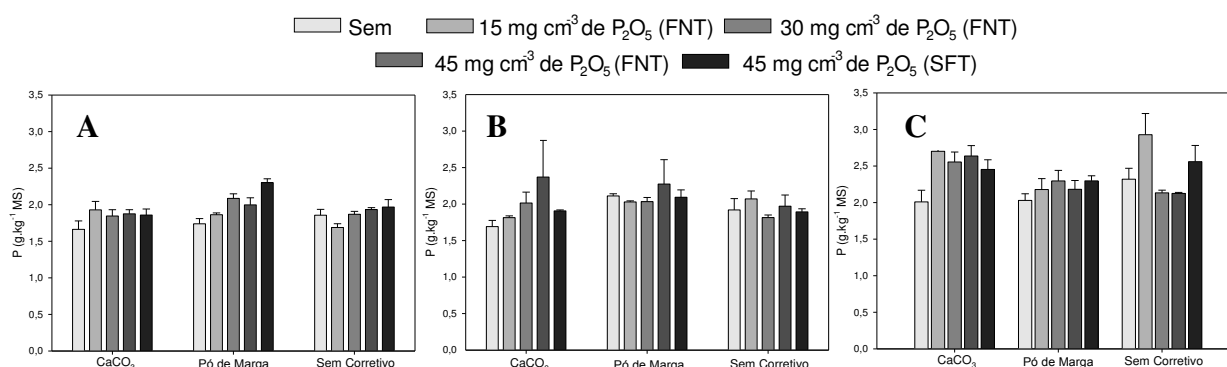


Figura 3. Concentração de fósforo por plantas de milho até final do estágio vegetativo (médias seguidas de erro padrão) em Argissolo (A), Plintossolo (B) e Vertissolo (C) em função dos corretivos e fontes de fósforo, aplicados.

### 3.4 Estoque de fósforo

O estoque de fósforo em plantas de milho variou em função das classes de solo, corretivos e fontes de fósforo, com interações dos corretivos nos solos e entre os três fatores avaliados (Anexo, Tabela 9).

O efeito dos corretivos no estoque de fósforo para as plantas de milho ocorreu no Vertissolo (Anexo, Tabela 10). As fontes de fósforo (FNT e SFT) mostraram influenciar o estoque do fósforo nas plantas de milho, com interações entre corretivos e fontes de fósforo no Plintossolo e Vertissolo (Anexo, Tabela 10).

As plantas apresentaram maior estoque de fósforo para os tratamentos CC e sem corretivo, que foram superiores ao tratamento PM no Vertissolo (Fig. 4C). O SFT superou o FNT no estoque de fósforo nas plantas de milho para as três classes de solo avaliadas (Fig. 4). As doses de  $45 \text{ mg dm}^{-3}$  de FNT e SFT não diferiram para os tratamentos CC, PM e sem corretivo no Argissolo (Fig. 4A), para o tratamento CC no Plintossolo (Fig. 4B) e para os tratamentos CC e PM no Vertissolo (Fig. 4C).

O FNT provocou efeitos no estoque de fósforo nas plantas de milho para os três fatores avaliados com interações entre todos os fatores (Anexo, Tabela 11). Os corretivos alteraram o estoque de fósforo nas plantas no Vertissolo (Anexo, Tabela 12). As plantas de milho tiveram seus estoques de fósforo afetados pelas doses de FNT nas três classes de solos, com interações entre corretivos e doses de FNT no Plintossolo e Vertissolo (Anexo, Tabela 12).

O estoque de fósforo nas plantas de milho foi menor nos tratamentos CC e PM no Vertissolo (Fig. 4C). Os tratamentos CC e sem corretivo mostraram um aumento crescente do estoque de fósforo nas plantas de milho com o aumento das doses de FNT no Plintossolo (Fig. 4B). O FNT superou a testemunha para as três classes de solos (Fig. 4). As melhores respostas do FNT no estoque de fósforo nas plantas ocorreram para a dose de  $45 \text{ mg.cm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  combinado com os tratamentos CC e sem corretivo no Plintossolo (Fig. 4B) e para a dose de  $15 \text{ mg.cm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  combinada com o tratamento sem corretivo no Vertissolo (Fig. 4C).



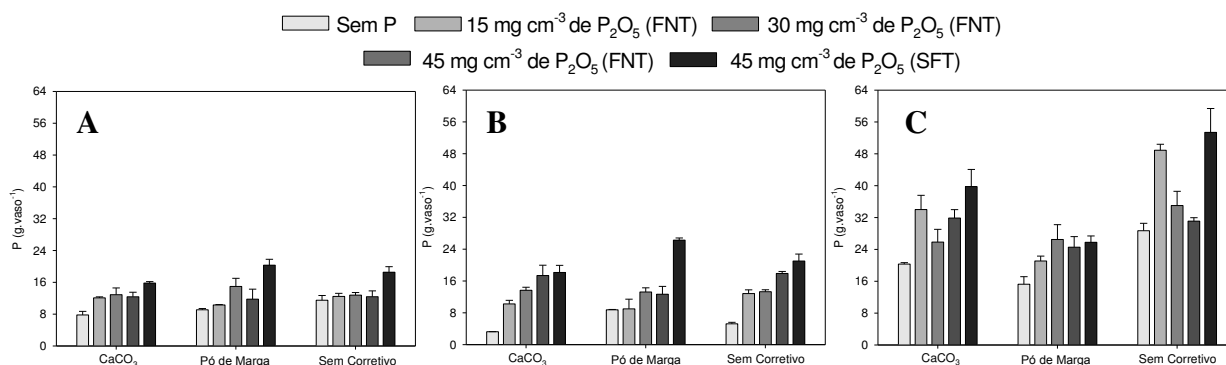


Figura 4. Estoque de fósforo em plantas de milho até final do estágio vegetativo (médias seguidas de erro padrão) em Argissolo (A), Plintossolo (B) e Vertissolo (C) em função dos corretivos e fontes de fósforo, aplicados.

### 3.5 Eficiência de recuperação de fósforo

A eficiência de recuperação de fósforo (ERP) nas plantas de milho foi influenciada pelas classes de solo, corretivos e fontes de fósforo (FNT e SFT), com interações entre corretivos e fontes de fósforo e entre os três fatores avaliados (Anexo, Tabela 13).

O efeito dos corretivos na ERP nas plantas ocorreu no Plintossolo e, das fontes de fósforo nas três classes de solo, com interações entre corretivos e fontes no Plintossolo e Vertissolo (Anexo, Tabela 14).

O tratamento com CC obteve a melhor resposta na ERP para as plantas de milho, entre os corretivos, no Plintossolo (Fig. 5B). O SFT foi superior ao FNT na ERP para as plantas nas três classes de solo (Fig. 5), com maior diferença entre a resposta das fontes para o Argissolo (Fig. 5A) com cerca de 27%. As duas fontes não diferiram na ERP nas plantas quando combinadas com os tratamentos CC e sem corretivo no Plintossolo (Fig. 5B) e combinadas com os corretivos CC e PM no Vertissolo (Fig. 5C).

As plantas sofreram influência de todos os fatores avaliados na ERP, com múltiplas interações (Anexo, Tabela 15).

O efeito dos corretivos na ERP para as plantas de milho ocorreu no Plintossolo e Vertissolo (Anexo, Tabela 16). As doses de FNT influenciaram na ERP para as plantas nas três classes de solo, com interações entre corretivos e doses de FNT no Vertissolo (Anexo, Tabela 16).

O tratamento CC mostrou resposta superior, na ERP para as plantas de milho, ao tratamento sem corretivo no Argissolo (Fig. 5A) e ao tratamento PM no Plintossolo (Fig. 5B). O aumento das doses de FNT provocou a diminuição na ERP para as plantas de milho

cultivadas nas três classes de solo (Fig. 5). As maiores respostas na ERP para as plantas ocorreram para a dose de 15 mg dm<sup>-3</sup> de FNT combinada com os tratamentos CC e sem corretivo no Vertissolo (Fig. 5C), enquanto o Argissolo obteve os menores valores médios de eficiência de recuperação de fósforo (Fig. 5A).

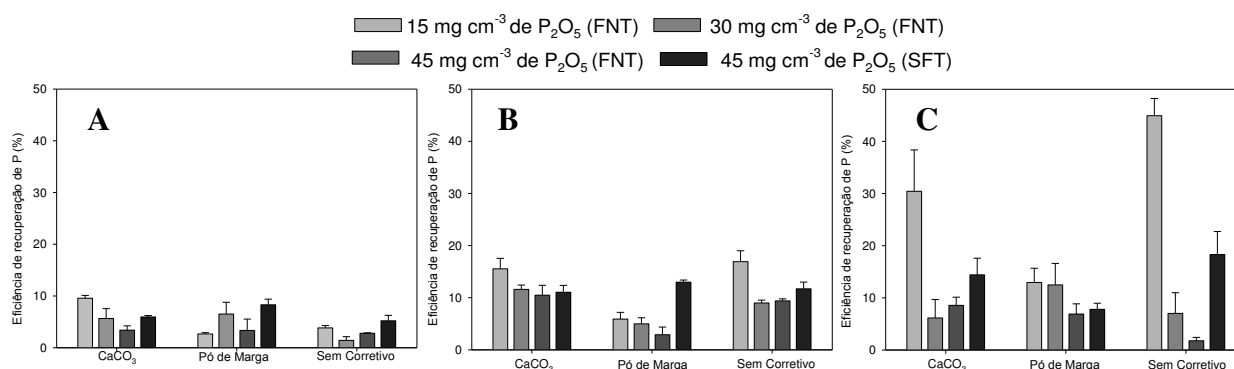


Figura 5. Eficiência de recuperação de fósforo em plantas de milho até final do estágio vegetativo (médias seguidas de erro padrão) em Argissolo (A), Plintossolo (B) e Vertissolo (C) em função dos corretivos e fontes de fósforo, aplicados.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Acidez do solo

Os resultados observados para pH com uso dos diferentes corretivos no Argissolo, Plintossolo e Vertissolo, permitiram verificar a eficiência do PM na correção da acidez do solo, que atingiu no Argissolo e Plintossolo (Fig. 1A e 1C) a faixa de pH ideal para a maioria das culturas, que segundo Sousa et al. (2007), encontra-se entre 5,7 e 6,6. Santana & Gehring (2007) alcançaram resultados semelhantes com uso de doses de PM combinado com apatita em Argissolo e Plintossolo, com valores de pH superiores ao tratamento sem corretivo. O melhor desempenho do PM em relação ao CC para os três solos pode estar relacionado à subestimação do PRNT para o PM e consequentemente aplicação de quantidade superior ao necessário.

Segundo Natale et al. (2007), quanto menor a partícula (para um mesmo calcário), maior o contato e a ação é mais rápida no solo, com correção da acidez. A rápida reação do PM no solo está relacionada com sua granulometria que era inferior a 0,30 mm, com 100% de reatividade das partículas (Alcarde, 2005).

O Plintossolo obteve uma forte variação entre o pH inicial e final, em relação ao Vertissolo (Fig. 1E). Este resultado estar relacionado ao Poder Tampão Hidrogeniônico (PTH) destes solos, que é definido como a resistência dos solos às mudanças de pH em função da

adição ou subtração de ácido ou base ao solo (Sousa et al., 2007). O PTH é fortemente influenciado pela atividade das argilas, acidez potencial e teor de matéria orgânica do solo (Camargos, 2005). Isto pode explicar com base na acidez potencial, CTC e teor de argila (Quadro 1) a menor diferença entre pH inicial e final no Vertissolo, que apresenta maior PTH que o Plintossolo. O Argissolo foi desconsiderado por ter sua V% calculada para 80%.

A diminuição da acidez potencial para tratamentos com corretivos abaixo do tratamento SC para os três solos (Fig. 1B, 1D e 1F) já era esperada, pois a acidez potencial constituída pelos íons  $H^+$  +  $Al^{3+}$  presentes nos coloides do solo (Chaves et al., 2007) tendem a diminuir com aplicação de corretivos que promovem elevação de pH e este possui relação inversa com teor de  $Al^{3+}$  (Natale et al., 2007). Os resultados foram inversos para  $H^+$  +  $Al^{3+}$  e o PM obteve os menores teores, confirmando a melhor resposta entre os corretivos avaliados.

## 4.2 Massa de matéria seca

A superioridade da fonte de fósforo SFT na produção de massa de matéria seca para as três classes de solo estar relacionada à maior solubilidade desta fonte em relação ao FNT e foram semelhantes a outros resultados comparando fosfatos naturais e fontes solúveis, que mostram a superioridade das fontes solúveis sobre os fosfatos naturais na produção de massa de matéria seca em milho (Harger et al., 2007; Resende et al., 2006).

A maior produção de massa de matéria seca alcançada pelas plantas de milho no Vertissolo, mesmo com elevada acidez ativa e potencial, pode ser explicada por dois fatores: i) pelos elevados teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (Quadro 1) que faz com que mesmo com teores de  $Al^{3+}$  superiores aos níveis considerados de elevada toxidez ( $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  a valores de pH igual a 5,0) (Raij, 1991), as culturas não apresentam sintomas de toxidez (Silva & Moura, 2004); ii) a acidez aumenta a solubilidade do FNT, o que levou ao melhor desenvolvimento das plantas de milho com reflexos na elevada produção de massa de matéria seca.

Quando se considera o efeito dos corretivos, a maior produção de massa de matéria seca para o tratamento sem corretivo para as plantas no Vertissolo, pode ser atribuído a adição de  $Ca^{2+}$  pelos tratamentos CC e PM, que combinado ao fósforo, poderia reagir e formar precipitados de fosfatos de Ca (Novais & Smyth, 1999) o que pode ter diminuído a disponibilidade de fósforo e conseqüente queda de produção de massa de matéria seca para os tratamentos com corretivos. Moreira et al. (2006) atribuíram maior adsorção de fósforo em Cambissolo Háptico sob influência do maior teor de  $Ca^{2+}$ . Para Bastos et al. (2010), a eficiência dos fosfatos no suprimento de fósforo às plantas é afetada pela elevação do pH.

A superioridade do FNT sob a testemunha na produção de massa de matéria seca para as plantas de milho no Plintossolo e Vertissolo revelam uma boa resposta desta fonte no suprimento de fósforo às plantas, embora não tenha uma resposta equivalente ao SFT e disponibilidade imediata de fósforo para o desenvolvimento da planta. Isto está relacionado à baixa solubilidade dos fosfatos naturais que disponibilizam o fósforo de forma lenta. Moreira et al. (2002) verificaram que os fosfatos naturais (termofosfato de Yoorin, fosfatos naturais da Carolina do Norte e de Arad) tenderam a equiparar-se às fontes solúveis na produção de matéria seca de centrocema e alfafa, com o tempo. Resende et al. (2006) observaram que os fosfatos naturais (fosfato de Araxá e fosfato reativo de Arad) aumentaram sua eficiência com o tempo equiparando-se às fontes mais solúveis no terceiro cultivo do milho.

As interações entre os fatores avaliados mostram um comportamento para determinado parâmetro que foge a determinados padrões, que foi o caso da produção de massa de matéria seca nas plantas de milho, em que o fator “corretivos” (tratamentos com CC e PM e tratamento sem corretivo) mostrou interagir com o fator “solos” (três classes de solo) (Tabela 1), quando se analisou as duas fontes na mesma dose ( $45 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de FNT e de SFT). Esta interação foi uma resposta do efeito diferenciado dos tratamentos com e sem corretivos no Vertissolo. A interação entre os três fatores é bem clara diante dos diferentes resultados alcançados pela combinação destes fatores, que está exposto item 3.2 deste trabalho.

As interações observadas para os corretivos nas três classes de solo, quando se analisou as doses de FNT, foram atribuídas principalmente ao comportamento dos tratamentos com e sem corretivos no Vertissolo. Já as interações das doses de FNT nos solos ocorreram pelas respostas superiores do FNT no Vertissolo e pela resposta diferenciada da maior dose de FNT no Argissolo e Plintossolo. A maioria das interações ocorridas foi proporcionada principalmente por comportamentos diferenciados no Vertissolo, por ser este um solo com características bem distintas como elevada acidez ativa e potencial e ao mesmo tempo elevados teores de nutrientes como P,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (Quadro 1).

### **4.3 Concentração de fósforo**

A superioridade do PM na concentração de fósforo nas plantas de milho no Argissolo como corretivo pode estar relacionada à sua mobilidade no solo que, segundo Heckrath et al. (1995), aumenta a saturação da superfície de adsorção, com diminuição da energia de ligação e, conseqüentemente, maior dessorção de fósforo. Quanto mais fósforo disponível, maior

gradiente de concentração e aumento de seu teor na parte aérea das plantas (Novais & Smyth, 1999). Isto parece não ter influenciado a matéria seca da parte aérea do milho, concordando com Bastos et al. (2010) que avaliou doses de fósforo em milho em quatro classes de solos, incluindo Argissolo.

A equiparação das duas fontes (FNT e SFT) na dose de  $45 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  para as três classes de solo mostra que a planta não sofreu um desequilíbrio nutricional no solo e absorveu fósforo ao longo de seu período de crescimento e desenvolvimento sem estocar este nutriente, o que pode ter compensado a baixa solubilidade do FNT que foi disponibilizando fósforo aos poucos. Outra possibilidade que pode explicar este fato é a liberação de fósforo de forma mais lenta pelos fosfatos naturais, o que minimiza o processo de fixação, enquanto que a indisponibilização desse nutriente liberado no solo ocorre de forma mais intensa para as fontes de alta solubilidade (Novais & Smyth, 1999) e isso pode ter conduzido a um equilíbrio na concentração de fósforo no tecido das plantas até o final do estágio vegetativo.

A superioridade do FNT sob a testemunha verificada para Argissolo e Vertissolo mostrou uma resposta desta fonte na disponibilização de fósforo às plantas nestes solos. Já a melhor resposta na concentração de fósforo nas plantas pelo FNT na menor dose no Vertissolo, mostra que as características deste solo podem ter afetado a disponibilidade de fósforo às plantas combinada a baixa dose que fez com a planta absorvesse mais o nutriente para garantir suprimento futuro.

Não ocorreram interações para a concentração de fósforo nas plantas de milho quando se considerou as fontes (FNT e SFT). Já as interações quando se analisou as doses de FNT verificadas em nível de corretivos e doses de fósforo e entre ambos, foram atribuídas ao comportamento diferenciado dos corretivos e doses de FNT no Vertissolo.

#### **4.4 Estoque de fósforo**

A superioridade do SFT no estoque de fósforo nas plantas para as três classes de solo é um reflexo da maior disponibilidade desta fonte proporcionada pela sua maior solubilidade, enquanto o FNT apresenta baixa solubilidade e conseqüente baixa disponibilidade às plantas fazendo com que estoquem menos este nutriente.

O maior estoque de fósforo, para as duas fontes de fósforo (FNT e SFT), nas plantas de milho no Vertissolo pode estar relacionado ao fato do solo apresentar altos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  que diminuem a atividade da acidez elevada deste solo, e também elevados teores de

fósforo em relação às outras duas classes (Quadro 1), além da acidez ter aumentado a solubilização do FNT, o que pode ter favorecido maior estoque na parte aérea do milho.

A superioridade do FNT sob a testemunha para as três classes de solos mostra uma consistência na resposta da planta ao fornecimento desta fonte de fósforo que embora seja inferior ao SFT, pode ter seu resultado melhorado com o tempo.

A melhor resposta no estoque de fósforo para as plantas de milho na dose de 15 mg cm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de FNT no Vertissolo, pode estar ligado a fatores que segundo Prochnow et al. (2006), ao analisarem a eficiência de fosfatos com diferentes solubilidades em água, sugeriram que fontes de fosforo de baixa solubilidade aplicadas em taxas relativamente baixas, podem apresentar alta eficiência agrônômica quando aplicados para solos de alta capacidade de adsorção de fósforo. A capacidade de adsorção de fósforo do solo pode ser aumentada em função acidez elevada (Sato & Comerford, 2005), aumento no teor de argila (Costa et al., 2006) e elevado teor de Al<sup>3+</sup>, características do Vertissolo (Quadro 1).

As interações ocorridas no estoque de fósforo para os corretivos nas três classes de solos, assim como as interações observadas entre os três fatores, foram ocasionadas por comportamento diferenciado dos corretivos no Vertissolo, quando analisadas as fontes de fósforo (FNT e SFT). Já as interações ocorridas no estoque de fósforo nas plantas quando se analisou as doses de FNT, foram devidas ao comportamento dos corretivos no Vertissolo, para o fator “corretivos” com fator “solos”. Para o fator “fosfatos” (doses de FNT) com fator “solos” as interações foram influenciadas pelo comportamento diferenciado da maior dose de FNT no Argissolo e Plintossolo, e das doses de FNT no Vertissolo. As interações entre os fatores “corretivos” e “fosfatos” para o estoque de fósforo nas plantas, ocorrido para as doses de FNT, mostraram-se influenciadas pelos diferentes comportamentos das doses em função da aplicação ou não dos corretivos e dos tipos de corretivos (CC ou PM).

#### **4.5 Eficiência de recuperação de fósforo**

A ERP, definida como o aumento na absorção do nutriente aplicado e acumulado na parte aérea das plantas na resposta a aplicação do nutriente, diz quanto do nutriente aplicado, a planta absorveu (Snyder & Bruusema, 2007). A maior ERP nas plantas de milho obtida para o SFT é explicada pela maior disponibilidade de fósforo desta fonte solúvel, que fez com que as plantas recuperassem uma proporção do fósforo aplicado superior ao recuperado pelo FNT, que possui baixa solubilidade no solo e baixa disponibilidade às plantas.

A diminuição da ERP pelo aumento das doses de FNT mostrou efeito inverso ao observado na produção de matéria seca, e mostra comportamento semelhante à eficiência de uso de nutriente que segundo Roberts (2008) é alta a um baixo nível de produtividade, porque qualquer pequena quantidade de nutriente aplicada daria uma grande resposta na produtividade.

As maiores ERP para a dose  $15 \text{ mg cm}^3$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de FNT para as plantas no Plintossolo e Vertissolo, é explicada por uma curva de resposta da produtividade, em que a parte inferior da curva é caracterizada por baixíssima produtividade por causa dos poucos nutrientes disponíveis ou aplicados, mas alta eficiência de recuperação (Didd, 2000).

As interações entre os fatores “corretivos” e “fosfatos” para ERP nas plantas, quando se analisou as fontes (FNT e SFT) ocorreram em função do comportamento diferenciado das fontes de fósforo, que apresentaram as maiores diferenças entre as duas fontes no Plintossolo e Vertissolo, diferente do Argissolo que apresentou menor diferença entre as fontes de fósforo. Já as interações do fator “solos” com o fator “corretivos” ocorridas na ERP nas plantas, quando se considerou as doses de FNT, foram ocasionadas pelas respostas diferenciadas dos corretivos nas três classes de solo. A interação do fator “solos” com o fator “fosfatos” foi devido ao comportamento diferenciado das doses de FNT no Vertissolo.

As doses de FNT mostraram interações diferenciadas em função dos corretivos. As demais interações foram resultado das combinações de fatores, com difícil explicação.

## **5 CONCLUSÕES**

A eficiência do pó de marga na elevação do pH e redução da acidez potencial dos solos estudados, mostra sua potencialidade de uso como corretivo do solo.

O uso do FNT pode ser indicado como fonte alternativa de fósforo, em substituição ao SFT, para a cultura do milho nos solos avaliados. As menores doses de FNT alcançaram melhores respostas e superiores à testemunha para a maioria das variáveis avaliadas.

O Vertissolo apresentou respostas superiores às outras duas classes de solo para as variáveis avaliadas na cultura do milho.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As quantidades de pó de marga utilizadas, em média 3 vezes superiores as de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), para a correção do solo sugerem que a utilização desse corretivo deve levar em consideração critérios econômicos, principalmente no que diz respeito ao transporte, condicionando sua maior aplicabilidade a regiões próximas da fonte.

As poucas diferenças entre as respostas das doses de FNT, com boas respostas para a dose intermediária, pode ser um fator importante na escolha desta fonte. A lenta solubilidade e alto custo de transporte podem ser compensados por uma resposta alcançada em menores doses, na produção de biomassa da parte aérea do milho e outras variáveis. A baixa solubilidade do FNT pode ser também uma vantagem, pois possibilita uma disponibilização de forma gradativa às plantas ao longo de seu desenvolvimento.

Considerando que as fontes usuais, como calcário e superfosfato triplo, além do custo de aquisição, soma-se o transporte, enquanto que PM e FNT não são comercializados, o fator econômico determinante para a escolha destas duas fontes alternativas de corretivo da acidez e de fósforo, é o custo com transporte, o que aumenta a viabilidade de uso por pequenos produtores próximos ao local de extração.

## **AGRADECIMENTOS**

À Fundação de Amparo a Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, pela concessão da bolsa de estudo.

## REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas por J.C. Alcarde**. ANDA, (Boletim Técnico, 6), 24p., 2005.
- AKHTAR, M. S.; OKI, Y.; ADACHI, T. Mobilization and acquisition of sparingly soluble P-sources by Brassica cultivars under P-starved environment I. Differential growth response, P-efficiency characteristics and P-remobilization. **Jornal of Integrative Plant Biology**, v.51, n.11, p.1008-1023, 2009.
- AMARANTE, C. V. T.; ERNANI, P. R.; SOUZA, A. G. Influência da calagem e da adubação fosfatada no acúmulo de nutrientes e crescimento da erva-de-São-João. **Horticultura Brasileira**, v.25, n.4, p.533-537, 2007.
- AMORIM, L. B.; MARTINS, C. M.; ALVES, W. P. L. B. C.; FREIRE, M. B. G. S.; SOUZA, E. R. Disponibilidade de fósforo em Neossolo Quartzarênico cultivado com melão. **Revista Caatinga**, v.21, n.3, p.141-146, 2008.
- BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V.; SILVA, I. F.; RAPOSO, R. W.; OLIVEIRA, F. A.; ALBUQUERQUE, A. W. Resposta do milho a doses de fósforo. **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.485-491, 2010.
- BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V.; SILVA, I. F.; RAPOSO, R. W.; SOUTO, J. S. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.136-142, 2008.
- BRAUN, W. A. G. Os fosfatos de alumínio do Brasil, sua tecnologia e uso agrícola. **Fertilizantes**, v.5, n.1, p.3-11, 1983.
- CAMARGOS, S.L. Acidez do solo e calagem (reação do solo). **Material didático**. Universidade Federal do Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 26p., 2005.
- CHAVES, L. H. G.; CHAVES, L. B. & VASCONCELOS, A. C. F. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos da Microrregião Homogênea Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.398-403, 2007.
- COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; ALBUQUERQUE, A. W.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J. R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.4, p.828-835, 2006.
- CÂMARA, L.M.J.R.; RIBEIRO, J.F.; FERNANDES, M.S. Efeito da calcinação na eficiência de fosfatos de alumínio como fertilizante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.8, p.345-347, 1984.
- DIBB, D. W. The mysteries (myths) of nutrient use efficiency. **Better Crops**, v.84, n.3, 2000.
- FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S.; CALONEGO, J. C.; ALVES JUNIOR, J. Aplicação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milheto, braquiária, milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1147-1155, 2008.

FRANCISCO, E. A. B.; PROCHNOW, L. I.; TOLEDO, M.C. M.; FERRARI, V. C.; JESUS, S. L. The treatment of aluminous phosphates of the crandallite group and its effect on phosphorus solubility. **Scientia Agricola**, v.64, n.3, p.269-274, 2007.

GARCIA BLANCO, H.; VENTURINI, W. R.; GARGANTINI, H. Comportamento de fertilizantes fosfatados em diferentes condições de acidez do solo para o trigo, com estudo do efeito residual para a soja. **Bragantia**, v.24, n.22, p.261-279, 1965.

GUARDANI, R.; DRAHOS, J.; GIULIETTI, M.; SCHÜGERL, K. Studies on calcination of aluminium phosphate rock in fluidized bed reactors. **Fertilizer Research**, v.20, p.181-191, 1989.

HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, R.; ORTIZ, F. R.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v.28, n.1, p.39-44, 2007.

HECKRATH, G.; BROOKES, P. C.; POULTON, P. R.; GOUDING, K. W. T. Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment. **Journal Environment Quality**, v.24, p.904-910, 1995.

RAIJ, B. Van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, 285p., 2001.

LOPES, A. S. & GUILHERME, L. R. G. **Fertilidade do solo e produtividade agrícola**. In: NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do solo. 1 ed., Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-64, 2007.

KLIEMANN, H. J. & LIMA, D. V. Eficiência agronômica de fosfatos naturais sua influência no fósforo disponível em dois solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.31, n.2, p.111-119, 2001.

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

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

MOREIRA, L. M.; FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A.; NÓBREGA, E. B. Adubação fosfatada e níveis críticos de fósforo no solo para manutenção da produtividade do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* cv. Napier). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.943-952, 2006.

NATALE, W.; PRADO, R. de M.; ROZANE, D. E. & ROMUALDO, L. M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1475-1485, 2007.

NOLLA, A. & ANGHINONI, I. Atividade e especiação química na solução afetadas pela adição de fósforo em latossolos sob plantio direto em diferentes condições de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.955-963, 2006.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1017p., 2007.

NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Universidade Federal de Viçosa, 399p., 1999.

OYUN, M. B. Nitrogen storage and N-use efficiency of maize as influenced by litter quality and placement methods. **Journal of Biological Sciences**, v.6, n.6, p.1113-1117, 2006.

OPALA, P. A.; OKALEBO, J. R.; OTHIENO, C. O.; KISINYO, P. Effect of organic and inorganic phosphorus sources on maize yields in an acid soil in western Kenya. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v.86, p.317-329, 2010.

PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: SIMPOSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba, 2003, **Anais...Potafos/Anda**, CD-ROM, 2003.

PROCHNOW, L. I.; QUISPE, J. F. S.; FRANCISCO, E. A. B.; BRAGA, G. Effectiveness of phosphate fertilizers of different water solubilities in relation to soil phosphorus adsorption. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 4, p.333-340, 2006.

QUAGGIO, J. A. **Crítérios para calagem em solos no estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. ESALQ/USP, 76p. 1983.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e adubação**. Ed. Ceres, São Paulo, 343p., 1991.

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 de Ciência do Solo**, v.30, p.849-857, 2006.

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

RITCHEY, K. D.; BELESKY, D. P.; HALVORSON, J. J. Soil Properties and Clover Establishment Six Years after Surface Application of Calcium-Rich By-Products. **Agronomy Journal**, v.96, p.1531-1539, 2004.

RIVAIE, A. A.; LOGANATHAN, P.; GRAHAM, J. D.; TILLMAN, R. W.; PAYN, T. W. Effect of phosphate rock and triple superphosphate on soil phosphorus fractions and their plant-availability and downward movement in two volcanic ash soils under *Pinus radiata* plantations in New Zealand. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v.82, p.75-88, 2008.

ROBERTS, T. L. Improving nutrient use efficiency. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.32, p.177-182, 2008.

SANTANA L. C. & GEHRING, C. Fertilidade do solo e crescimento do milho em solos do centro norte do Maranhão corrigidos com pó de marga e fosfato natural. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15. MOSTRA DE PRÁTICAS INVESTIGATIVAS DE PEDAGOGIA, 2. 2007. **Livro de resumos do XIX Seminário de Iniciação Científica da UEMA**, II Mostra de Práticas Investigativas de Pedagogia. São Luís: PPG/CP, CD-ROM, 2007.

SATO, S. & COMERFORT, N. B. Influence of soil pH on inorganic phosphorus sorption and desorption in a humid Brazilian Ultisol. Seção II, Química e Mineralogia do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.685-694, 2005.

SILVA, A. C. & MOURA, E. G. M. Atributos e especificidades de solos de baixada no trópico úmido. In: MOURA, E. G. de M. org. **Agroambientes de transição. Entre o trópico úmido e o semi-árido. Atributos, alterações; uso na produção familiar**. UEMA, p.133-160, 2004.

SILVA, V.; MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F.; LIMA, V. C. Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.551-559, 2008.

SHAHEEN, S. M.; TSADILAS, C. D.; ESKRIDGE, K. M. Effect of common ions on phosphorus sorption and lability in Greek Alfisols with different pH. **Soil Science**, v.174, n.1, p.21-26, 2009.

SNYDER, C. S. & BRUULSEMA, T. W. Nutrient use efficiency and effectiveness in North America: indices of agronomic and environmental benefit. A publication of the International **Plant Nutrition Institute**, 4p. 2007.

SORATTO, R. P. & CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.675-688, 2008.

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 de Ciência do Solo**, v.30, p.975-983, 2006.

SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. de. & OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. 1 ed., Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.205-274, 2007.

StatSoft, Inc.. **STATISTICA** (data analysis software system), version 8.0, 2007.

Systat software inc. **Sigmaplot for windows** (development and testing procedure) Version 11.0, 2008.

TEDESCO, M. J., GIANELLO, C., BISSANI, C. A., BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (Boletim técnico, 5), 174p., 1995.

TITTONELL, P.; VANLAUWE, B.; CORBEELS, M. Yield gaps, nutrient use efficiencies and response to fertilizers by maize across heterogeneous smallholder farms of Western Kenya. **Plant Soil**, v.313, p.19-37, 2008.

## ANEXOS



Tabela 1. Análise de variância tri-fatorial Solos x Corretivos x Fosfatos (doses de 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT e 45 mg dm<sup>-3</sup> de SFT) da matéria seca de plantas de milho.

Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Intercept	5832,739	1	5832,739	4302,787	0,000000
Solos	446,284	2	223,142	164,611	0,000000
Corretivos	68,763	2	34,381	25,363	0,000000
Fosfatos	141,006	1	141,006	104,019	0,000000
Solos*Corretivos	65,896	4	16,474	12,153	0,000002
Solos*Fosfatos	2,245	2	1,122	0,828	0,445045
Corretivos*Fosfatos	2,273	2	1,136	0,838	0,440731
Solos*Corretivos*Fosfatos	54,425	4	13,606	10,037	0,000015
Error	48,801	36	1,356		

Tabela 2. Análise de variância bi-fatorial Corretivos x Fosfatos (doses de 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT e 45 mg dm<sup>-3</sup> de SFT) da matéria seca de plantas de milho.

Solo	Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Argissolo	Intercept	1036,642	1	1036,642	880,795	0,000000
	Corretivos	1,030	2	0,515	0,438	0,655455
	Fosfatos	32,160	1	32,160	27,325	0,000212
	Corretivos*Fosfatos	1,124	2	0,562	0,477	0,631691
	Error	14,123	12	1,177		
Plintossolo	Intercept	1538,645	1	1538,645	1132,828	0,000000
	Corretivos	8,183	2	4,092	3,012	0,087071
	Fosfatos	59,478	1	59,478	43,790	0,000025
	Corretivos*Fosfatos	25,992	2	12,996	9,568	0,003277
	Error	16,299	12	1,358		
Vertissolo	Intercept	3703,736	1	3703,736	2418,301	0,000000
	Corretivos	125,445	2	62,723	40,954	0,000004
	Fosfatos	51,613	1	51,613	33,700	0,000084
	Corretivos*Fosfatos	29,582	2	14,791	9,657	0,003166
	Error	18,379	12	1,532		

Tabela 3. Análise de variância tri-fatorial Solos x Corretivos x Fosfatos (doses de 0 mg dm<sup>-3</sup> a 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT) da matéria seca de plantas de milho.

Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Intercept	6932,736	1	6932,736	4462,773	0,000000
Solos	914,685	2	457,343	294,403	0,000000
Corretivos	110,198	2	55,099	35,469	0,000000
Fosfatos	134,512	3	44,837	28,863	0,000000
Solos*Corretivos	73,871	4	18,468	11,888	0,000000
Solos*Fosfatos	39,808	6	6,635	4,271	0,000978
Corretivos*Fosfatos	17,821	6	2,970	1,912	0,090437
Solos*Corretivos*Fosfatos	42,442	12	3,537	2,277	0,016296
Error	111,849	72	1,553		

Tabela 4. Análise de variância bi-fatorial Corretivos x Fosfatos (doses de 0 mg dm<sup>-3</sup> a 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT) da matéria seca de plantas de milho.

Solo	Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Argissolo	Intercept	1407,250	1	1407,250	1411,544	0,000000
	Corretivos	4,055	2	2,028	2,034	0,152770
	Fosfatos	11,847	3	3,949	3,961	0,019941
	Corretivos*Fosfatos	6,020	6	1,003	1,006	0,444190
	Error	23,927	24	0,997		
Plintossolo	Intercept	1157,304	1	1157,304	1358,786	0,000000
	Corretivos	9,729	2	4,864	5,711	0,009358
	Fosfatos	108,782	3	36,261	42,574	0,000000
	Corretivos*Fosfatos	24,199	6	4,033	4,735	0,002586
	Error	20,441	24	0,852		
Vertissolo	Intercept	5282,867	1	5282,867	1878,887	0,000000
	Corretivos	170,285	2	85,143	30,282	0,000000
	Fosfatos	53,691	3	17,897	6,365	0,002498
	Corretivos*Fosfatos	30,044	6	5,007	1,781	0,145733
	Error	67,481	24	2,812		

Tabela 5. Análise de variância tri-fatorial Solos x Corretivos x Fosfatos (doses de 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT e 45 mg dm<sup>-3</sup> de SFT) da concentração de fósforo nas plantas de milho.

Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Intercept	249,637	1	249,637	2781,558	0,000000
Solos	1,458	2	0,729	8,121	0,001228
Corretivos	0,151	2	0,076	0,842	0,439167
Fosfatos	0,000	1	0,000	0,002	0,962222
Solos*Corretivos	0,609	4	0,152	1,696	0,172280
Solos*Fosfatos	0,379	2	0,190	2,114	0,135472
Corretivos*Fosfatos	0,325	2	0,163	1,811	0,178009
Solos*Corretivos*Fosfatos	0,170	4	0,042	0,474	0,754827
Error	3,231	36	0,090		

Tabela 6. Análise de variância bi-fatorial Corretivos x Fosfatos (doses de 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT e 45 mg dm<sup>-3</sup> de SFT) da concentração de fósforo nas plantas de milho.

Solo	Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Argissolo	Intercept	71,252	1	71,252	4312,673	0,000000
	Corretivos	0,254	2	0,127	7,689	0,007091
	Fosfatos	0,051	1	0,051	3,115	0,102978
	Corretivos*Fosfatos	0,090	2	0,045	2,709	0,106917
	Error	0,198	12	0,017		
Plintossolo	Intercept	78,240	1	78,240	392,000	0,000000
	Corretivos	0,216	2	0,108	0,542	0,595154
	Fosfatos	0,261	1	0,261	1,308	0,275114
	Corretivos*Fosfatos	0,120	2	0,060	0,299	0,746621
	Error	2,395	12	0,200		
Vertissolo	Intercept	101,603	1	101,603	1912,393	0,000000
	Corretivos	0,290	2	0,145	2,725	0,105731
	Fosfatos	0,067	1	0,067	1,265	0,282651
	Corretivos*Fosfatos	0,286	2	0,143	2,692	0,108171
	Error	0,638	12	0,053		

Tabela 7. Análise de variância tri-fatorial Solos x Corretivos x Fosfatos (doses de 0 mg dm<sup>-3</sup> a 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT) da concentração de fósforo nas plantas de milho.

Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Intercept	463,323	1	463,323	6888,959	0,000000
Solos	4,330	2	2,165	32,192	0,000000
Corretivos	0,029	2	0,014	0,213	0,809053
Fosfatos	0,846	3	0,282	4,191	0,008619
Solos*Corretivos	0,806	4	0,202	2,996	0,024031
Solos*Fosfatos	0,912	6	0,152	2,259	0,047057
Corretivos*Fosfatos	1,048	6	0,175	2,598	0,024585
Solos*Corretivos*Fosfatos	0,931	12	0,078	1,154	0,332788
Error	4,842	72	0,067		

Tabela 8. Análise de variância bi-fatorial Corretivos x Fosfatos (doses de 0 mg dm<sup>-3</sup> a 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT) da concentração de fósforo nas plantas de milho.

Solo	Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Argissolo	Intercept	124,899	1	124,899	7437,092	0,000000
	Corretivos	0,064	2	0,032	1,893	0,172364
	Fosfatos	0,213	3	0,071	4,237	0,015443
	Corretivos*Fosfatos	0,214	6	0,036	2,129	0,087101
	Error	0,403	24	0,017		
Plintossolo	Intercept	145,398	1	145,398	1267,685	0,000000
	Corretivos	0,194	2	0,097	0,846	0,441647
	Fosfatos	0,479	3	0,160	1,391	0,269603
	Corretivos*Fosfatos	0,533	6	0,089	0,775	0,597176
	Error	2,753	24	0,115		
Vertissolo	Intercept	197,356	1	197,356	2808,230	0,000000
	Corretivos	0,577	2	0,289	4,105	0,029280
	Fosfatos	1,065	3	0,355	5,052	0,007458
	Corretivos*Fosfatos	1,231	6	0,205	2,921	0,027739
	Error	1,687	24	0,070		

Tabela 9. Análise de variância tri-fatorial Solos x Corretivos x Fosfatos (doses de 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT e 45 mg dm<sup>-3</sup> de SFT) do estoque de fósforo nas plantas de milho.

Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Intercept	28156,585	1	28156,585	1672,563	0,000000
Solos	3741,602	2	1870,801	111,130	0,000000
Corretivos	273,671	2	136,836	8,128	0,001222
Fosfatos	749,242	1	749,242	44,507	0,000000
Solos*Corretivos	641,122	4	160,281	9,521	0,000023
Solos*Fosfatos	61,809	2	30,905	1,836	0,174104
Corretivos*Fosfatos	95,175	2	47,587	2,827	0,072394
Solos*Corretivos*Fosfatos	411,735	4	102,934	6,114	0,000734
Error	606,038	36	16,834		

Tabela 10. Análise de variância bi-fatorial Corretivos x Fosfatos (doses de 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT e 45 mg dm<sup>-3</sup> de SFT) do estoque de fósforo nas plantas de milho.

Solo	Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Argissolo	Intercept	4157,226	1	4157,226	589,622	0,000000
	Corretivos	11,904	2	5,952	0,844	0,453916
	Fosfatos	164,656	1	164,656	23,353	0,000410
	Corretivos*Fosfatos	19,470	2	9,735	1,381	0,288616
	Error	84,608	12	7,051		
Plintossolo	Intercept	6426,526	1	6426,526	736,121	0,000000
	Corretivos	11,640	2	5,820	0,667	0,531447
	Fosfatos	152,807	1	152,807	17,503	0,001268
	Corretivos*Fosfatos	140,092	2	70,046	8,023	0,006135
	Error	104,763	12	8,730		
Vertissolo	Intercept	21314,435	1	21314,435	613,855	0,000000
	Corretivos	891,249	2	445,625	12,834	0,001045
	Fosfatos	493,589	1	493,589	14,215	0,002670
	Corretivos*Fosfatos	347,348	2	173,674	5,002	0,026310
	Error	416,667	12	34,722		

Tabela 11. Análise de variância tri-fatorial Solos x Corretivos x Fosfatos (doses de 0 mg dm<sup>-3</sup> a 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT) do estoque de fósforo nas plantas de milho.

Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Intercept	32135,131	1	32135,131	3397,500	0,000000
Solos	6954,578	2	3477,289	367,638	0,000000
Corretivos	537,239	2	268,620	28,400	0,000000
Fosfatos	917,476	3	305,825	32,333	0,000000
Solos*Corretivos	678,325	4	169,581	17,929	0,000000
Solos*Fosfatos	478,935	6	79,823	8,439	0,000001
Corretivos*Fosfatos	297,738	6	49,623	5,246	0,000157
Solos*Corretivos*Fosfatos	338,952	12	28,246	2,986	0,001966
Error	681,009	72	9,458		

Tabela 12. Análise de variância bi-fatorial Corretivos x Fosfatos (doses de 0 mg dm<sup>-3</sup> a 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT) do estoque de fósforo nas plantas de milho.

Solo	Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Argissolo	Intercept	4927,977	1	4927,977	969,822	0,000000
	Corretivos	6,409	2	3,205	0,631	0,540840
	Fosfatos	77,627	3	25,876	5,092	0,007200
	Corretivos*Fosfatos	32,698	6	5,450	1,072	0,406116
	Error	121,952	24	5,081		
Plintossolo	Intercept	4721,018	1	4721,018	920,740	0,000000
	Corretivos	13,671	2	6,836	1,333	0,282478
	Fosfatos	518,357	3	172,786	33,698	0,000000
	Corretivos*Fosfatos	106,171	6	17,695	3,451	0,013344
	Error	123,058	24	5,127		
Vertissolo	Intercept	29440,714	1	29440,714	1620,591	0,000000
	Corretivos	1195,484	2	597,742	32,903	0,000000
	Fosfatos	800,426	3	266,809	14,687	0,000012
	Corretivos*Fosfatos	497,821	6	82,970	4,567	0,003173
	Error	436,000	24	18,167		

Tabela 13. Análise de variância tri-fatorial Solos x Corretivos x Fosfatos (doses de 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT e 45 mg dm<sup>-3</sup> de SFT) da eficiência de recuperação de plantas de milho.

Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Intercept	438,976	1	438,976	1945,541	0,000000
Solos	10,210	2	5,105	22,626	0,000000
Corretivos	1,479	2	0,739	3,277	0,049258
Fosfatos	12,937	1	12,937	57,338	0,000000
Solos*Corretivos	1,876	4	0,469	2,079	0,103939
Solos*Fosfatos	0,521	2	0,261	1,155	0,326536
Corretivos*Fosfatos	1,756	2	0,878	3,892	0,029493
Solos*Corretivos*Fosfatos	6,318	4	1,579	7,000	0,000282
Error	8,123	36	0,226		

Tabela 14. Análise de variância bi-fatorial Corretivos x Fosfatos (doses de 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT e 45 mg dm<sup>-3</sup> de SFT) da eficiência de recuperação de plantas de milho.

Solo	Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Argissolo	Intercept	90,239	1	90,239	508,592	0,000000
	Corretivos	0,741	2	0,371	2,089	0,166498
	Fosfatos	4,091	1	4,091	23,057	0,000432
	Corretivos*Fosfatos	0,380	2	0,190	1,072	0,372882
	Error	2,129	12	0,177		
Plintossolo	Intercept	185,251	1	185,251	1318,236	0,000000
	Corretivos	1,332	2	0,666	4,738	0,030430
	Fosfatos	2,545	1	2,545	18,112	0,001116
	Corretivos*Fosfatos	2,653	2	1,327	9,440	0,003444
	Error	1,686	12	0,141		
Vertissolo	Intercept	173,697	1	173,697	483,919	0,000000
	Corretivos	1,282	2	0,641	1,785	0,209504
	Fosfatos	6,822	1	6,822	19,007	0,000929
	Corretivos*Fosfatos	5,040	2	2,520	7,021	0,009573
	Error	4,307	12	0,359		

Tabela 15. Análise de variância tri-fatorial Solos x Corretivos x Fosfatos (doses de 0 mg dm<sup>-3</sup> a 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT) da eficiência de recuperação de plantas de milho.

Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Intercept	697,757	1	697,757	1664,011	0,000000
Solos	29,511	2	14,756	35,189	0,000000
Corretivos	8,290	2	4,145	9,885	0,000220
Fosfatos	26,701	2	13,350	31,838	0,000000
Solos*Corretivos	9,301	4	2,325	5,545	0,000817
Solos*Fosfatos	19,390	4	4,848	11,560	0,000001
Corretivos*Fosfatos	13,851	4	3,463	8,258	0,000028
Solos*Corretivos*Fosfatos	8,937	8	1,117	2,664	0,015291
Error	22,643	54	0,419		

Tabela 16. Análise de variância bi-fatorial Corretivos x Fosfatos (doses de 0 mg dm<sup>-3</sup> a 45 mg dm<sup>-3</sup> de FNT) da eficiência de recuperação de plantas de milho.

Solo	Effect	Sum Square	Degree of Freedom	Mean Square	F	p
Argissolo	Intercept	121,813	1	121,813	483,690	0,000000
	Corretivos	4,250	2	2,125	8,437	0,002599
	Fosfatos	1,853	2	0,927	3,679	0,045737
	Corretivos*Fosfatos	2,131	4	0,533	2,116	0,120902
	Error	4,533	18	0,252		
Plintossolo	Intercept	261,097	1	261,097	1108,305	0,000000
	Corretivos	12,669	2	6,335	26,889	0,000004
	Fosfatos	1,815	2	0,908	3,853	0,040480
	Corretivos*Fosfatos	1,470	4	0,368	1,560	0,227614
	Error	4,240	18	0,236		
Vertissolo	Intercept	344,358	1	344,358	446,903	0,000000
	Corretivos	0,672	2	0,336	0,436	0,653371
	Fosfatos	42,422	2	21,211	27,528	0,000003
	Corretivos*Fosfatos	19,187	4	4,797	6,225	0,002508
	Error	13,870	18	0,771		