

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**CORRETIVOS DE ACIDEZ E FONTES DE FÓSFORO  
NA DISPONIBILIDADE DE P NO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO  
DO AMENDOIM E DO CAPIM MARANDU**

**ÉERICA PONTES LÉLES**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,  
para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia (Agricultura).

**BOTUCATU-SP**

**Novembro – 2012**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**CORRETIVOS DE ACIDEZ E FONTES DE FÓSFORO  
NA DISPONIBILIDADE DE P NO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO  
DO AMENDOIM E DO CAPIM MARANDU**

**ÉERICA PONTES LÉLES**

**Orientador: Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura).

**BOTUCATU-SP**

**Novembro – 2012**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

L539c Léles, Érica Pontes, 198-  
Corretivos de acidez e fontes de fósforo na disponibilidade de P no solo, nutrição e produção do amendoim e do capim marandu / Érica Pontes Léles. - Botucatu : [s.n.], 2012  
vii, 133 f.: il., grafs., tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012  
Orientador: Dirceu Maximino Fernandes  
Inclui bibliografia

1. *Brachiaria brizantha*. 2. Amendoim. 3. Solos - Acidez  
4. Fósforo. I. Fernandes, Dirceu Maximino. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

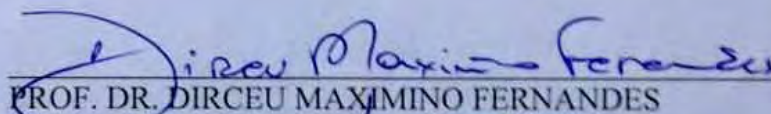
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CORRETIVOS DE ACIDEZ E FONTES DE FÓSFORO NA  
DISPONIBILIDADE DE P NO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DO  
AMENDOIM E DO CAPIM MARANDU"

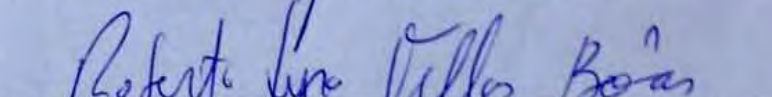
ALUNA: ÉRICA PONTES LÉLES

ORIENTADOR: PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

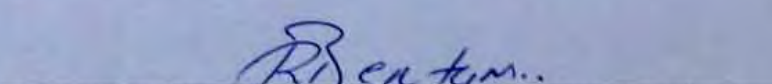
Aprovado pela Comissão Examinadora

  
PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

  
PROF. DR. LEONARDO THEODORO BÜLL

  
PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS

  
PROF<sup>ª</sup> DR<sup>ª</sup> MARINA MOURA MORALES

  
PROF<sup>ª</sup> DR<sup>ª</sup> ROSEMARY MARQUES DE A. BERTANI

Data da Realização: 30 de novembro de 2012.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Érica Pontes Léles, nascida em 08 de julho de 1982 em Botucatu, SP, Engenheira Agrônoma pela Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), UNESP, Campus de Botucatu, SP em 2004.

Trabalhou na empresa DISEM (Distribuidora de Sementes) de 2005 a 2006 em Avaré, SP. Em Março de 2006 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, Área de Concentração Agricultura, no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA, UNESP, Botucatu, onde obteve o título de mestre em Fevereiro de 2008 e iniciou o Doutorado em Março do mesmo ano.

No período de Dezembro de 2010 à Dezembro de 2011 realizou bolsa sanduíche no Centro de Pesquisa NFREC (North Florida Research and Education Center) da Universidade da Flórida, Quincy, FL, Estados Unidos.

De Março à Abril de 2012 participou de treinamentos na SST Software em Stillwater, OK, Estados Unidos para iniciar o trabalho em Maio de 2012 na SST Software Brasil em Botucatu, SP, onde trabalha até a presente data.

*Aos meus pais,  
Antonio Aparecido Inácio Léles e  
Lúcia Helena Pontes Léles,  
e à minha irmã Luana Pontes Léles,  
pelos valores passados e pelo amor incondicional,  
sempre apoiando minhas escolhas,  
transmitindo-me força para finalizar mais uma  
etapa e incentivo para enfrentar novos desafios.*

**DEDICO**

*Só se pode alcançar um grande êxito  
quando nos mantemos fiéis a nós mesmos.*

Friedrich Nietzsche

## AGRADECIMENTOS

À Deus pelas oportunidades e pelas pessoas de bem colocadas no meu caminho.

Ao meu namorado Romain Loison pelo amor, companheirismo e compreensão, fazendo-se presente mesmo quando distante, sempre me incentivando.

Ao Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes pelos anos de orientação e amizade desde o mestrado. Ao Prof. Dr. Nicholas Comerford pela orientação e ensinamentos; ao Prof. Dr. David Wright pelo apoio nas pesquisas desenvolvidas em Quincy, FL e ao Prof. Dr. Shinjiro Sato que mesmo à distância foi muito prestativo e essencial para a realização das etapas do projeto em Quincy, FL.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível de Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos durante a realização do curso de doutorado, ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pela concessão da bolsa sanduíche na Flórida e ao NFREC, UF pelo financiamento das análises laboratoriais realizadas no local.

Aos membros da banca Profa. Dra. Marina Morales, Profa. Dra. Rosemary Bertani, Prof. Dr. Roberto Lyra, Prof. Dr. Leonardo Büll e Prof. Dr. Dirceu Fernandes pelas ótimas sugestões que enriqueceram o trabalho.

Aos Professores Doutores da PG Agricultura pelos ensinamentos e incentivos. Aos funcionários do Departamento de Solos e Recursos Ambientais Jair, Noel, Emerson, Adriana, Adenir, Adilson, Silvia e demais funcionários pela ajuda e atenção constante. E aos pesquisadores e/ou amigos do NFREC Chris Bliss, Sheeja George, Lydia Bolton, Pratibah Srivastava, George Anguelov e Jaya Das, que de diferentes formas contribuíram com meu aprendizado ao longo do tempo.

Aos meus amigos de longa data mantidos e aos novos conquistados Leticia Gushi, Élen Cruz, Kátia Santos, Gabriella de Assis, Regina Marques, Marina Morales, Angélica Deus, Luan Kaiber, Lester e Jency Muralles, Daniel e Jéssica Salazar, Amélio Chi, Danilo Barros e Adriana Comerford, com os quais tive o prazer de dividir momentos de estudo e trabalho, conversas profundas e fiadas, cervejas geladas, desabafos e piadas.

*“Nada vai embora sem antes ter nos ensinado o que precisávamos saber.” Pema Chodron*

SUMÁRIO	Página
Lista de Figuras.....	VII
Lista de Tabelas.....	IX
Lista de Anexos.....	XII
1 RESUMO.....	01
2 SUMMARY.....	03
3 INTRODUÇÃO.....	05
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	07
4.1 Escórias de siderurgia e disponibilidade de P no solo.....	07
4.2 Fontes de P e disponibilidade de P no solo.....	10
4.3 Fósforo na cultura do amendoim.....	12
4.4 Fósforo em pastagem.....	14
4.5 Sorção e dessorção de P no solo.....	16
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
5.1 EXPERIMENTO 1: Corretivos de acidez e fontes de P ao longo do tempo.....	20
5.1.1 Tratamentos e delineamento experimental.....	20
5.1.2 Instalação e condução do experimento.....	20
5.1.3 Parâmetros avaliados.....	22
5.2 EXPERIMENTO 2: Amendoim - corretivos de acidez x fontes de P.....	23
5.2.1 Tratamentos e delineamento experimental.....	23
5.2.2 Instalação e condução do experimento.....	23
5.2.3 Parâmetros avaliados na planta.....	24
5.2.4 Parâmetros avaliados no solo.....	26
5.3 EXPERIMENTO 3: Capim marandu - corretivos de acidez x fontes de P.....	27
5.3.1 Tratamentos e delineamento experimental.....	27
5.3.2 Instalação e condução do experimento.....	27
5.3.3 Parâmetros avaliados na planta.....	28
5.3.4 Parâmetros avaliados no solo.....	29
5.4 EXPERIMENTO 4: Sorção e dessorção de P.....	29
5.4.1 Cinética de sorção de P.....	30
5.4.2 Isotermas de sorção de P.....	30
5.4.3 Cinética de dessorção de P.....	31
5.4.4 Isotermas de dessorção de P.....	32
a. Definição número de tiras de AEMs.....	32
b. Isotermas de dessorção de P usando Método de Múltiplas AEMs.....	33
5.5 EXPERIMENTO 5: Ânion orgânico e dessorção de P.....	34
5.5.1 Tempo ótimo para a extração do P dessorvido por ânion orgânico.....	35
5.5.2 Concentração aniônica ótima para a extração do P dessorvido.....	36
5.5.3 Extração do P dessorvido com baixas concentrações de ânions orgânicos...	36
5.5.4 Um minuto de extração com oxalato a baixas concentrações aniônicas.....	37
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
6.1 EXPERIMENTO 1: Corretivos de acidez e fontes de P ao longo do tempo.....	38
6.1.1 Atributos químicos, nutrientes e silício no solo.....	38
6.1.2 Considerações finais Experimento 1.....	54



SUMÁRIO (cont.)	Página
6.2 EXPERIMENTO 2: Amendoim – corretivos de acidez x fontes de P.....	55
<b>6.2.1 Na planta</b> .....	55
6.2.1.1 Características morfológicas e produção de massa seca.....	55
6.2.1.2 Acúmulo nutricional e Si na parte aérea .....	59
6.2.1.3 Acúmulo nutricional e Si nos grãos de amendoim .....	60
6.2.1.4 IEA de acúmulo de P na PA e nos grãos de amendoim .....	68
<b>6.2.2 No solo</b> .....	70
6.2.2.1 Atributos químicos e macronutrientes no solo após a colheita.....	70
6.2.2.2 Silício e micronutrientes no solo após a colheita.....	71
<b>6.2.3 Considerações finais Experimento 2</b> .....	73
6.3 EXPERIMENTO 3: Capim – corretivos de acidez x fontes de P.....	74
<b>6.3.1 Na planta</b> .....	74
6.3.1.1 Produção de massa seca nos quatro cortes de capim.....	74
6.3.1.2 Teor e acúmulo nutricional e de Si nos quatro na parte aérea de capim marandu.....	77
6.3.1.3 Capim marandu: IEA no acúmulo de P na parte aérea em cada corte e na soma dos quatro cortes (total).....	87
<b>6.3.2 No solo</b> .....	91
6.3.2.1 Atributos químicos e macronutrientes no solo após o 3º corte de capim marandu.....	91
6.3.2.2 Teores de Si e micronutrientes no solo após o 3º corte do capim....	94
6.3.2.3 Teores de P no solo sem Planta e após colheita de amendoim e do 3º corte de capim marandu.....	96
<b>6.3.3 Considerações finais Experimento 3</b> .....	98
6.4 EXPERIMENTO 4: Sorção e dessorção de P.....	99
6.4.1 Cinética de sorção de P.....	99
6.4.2 Isotermas de sorção de P.....	101
6.4.3 Cinética de dessorção de P.....	103
6.4.4 Isotermas de dessorção de P.....	103
a. Definir número de tiras de AEMs.....	103
b. Isotermas de dessorção de P usando Método de Múltiplas AEMs.....	104
<b>6.4.5 Considerações finais Experimento 4</b> .....	111
6.5 EXPERIMENTO 5: Ânion orgânico e dessorção de P.....	112
6.5.1 Padrão temporal para a extração do P dessorvido por ânion orgânico.....	112
6.5.2 Concentração aniônica ótima para a extração do P dessorvido.....	114
6.5.3 Dez horas de extração com oxalato a baixas concentrações de aniônicas em solos com e sem corretivos de acidez sem adição de fósforo.....	116
6.5.4 Um minuto de extração com oxalato a baixas concentrações aniônicas em solos com e sem correção de acidez após adição de P.....	117
<b>6.5.5 Considerações finais Experimento 5</b> .....	118
7. CONCLUSÕES.....	119
8. REFERENCIAS.....	120
Anexos.....	i

Lista de Figuras	Página
<b>Figura 1.</b> Índice de eficiência agrônômica (IEA) no acúmulo de fósforo na parte aérea (A) e grãos (B) de plantas de amendoim aplicando diferentes corretivos de acidez.....	69
<b>Figura 2.</b> Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) da produção de matéria massa (MS) por vaso (20 plantas) nos quatro cortes de capim marandu aplicando calcário (figura à esquerda) e escória (figura à direita) como corretivos de acidez. Tabela com diferença (Tukey, $P < 0,05$ ) entre corretivos de acidez e adubações Anexo 10.....	75
<b>Figura 3.</b> IEA no acúmulo de P na parte aérea do capim marandu no 1º corte (A), 2º corte (B), 3º corte (C), 4º corte (D) e na soma dos quatro cortes = total (E).....	89
<b>Figura 4.</b> Teor de P no solo sem Planta – Experimento 1 (150 após a aplicação dos corretivos); no solo após o cultivo do amendoim – Experimento 2 (184 dias após aplicação dos corretivos) e após o 3º corte de capim marandu – Experimento 3 (157 dias após a aplicação dos corretivos).....	97
<b>Figura 5.</b> Cinética de sorção de P no solo testemunha, aplicando calcário (A) e aplicando escória (B) como corretivos de acidez. UF, Quincy, 2011. Diferença entre tempos de agitação e tratamentos (Tukey, $P < 0,05$ ) nos Anexos 10 e 11.....	99
<b>Figura 6.</b> Isotermas de sorção de P na testemunha (sem corretivos e sem Planta) e dos três tratamentos ( sem Planta, amendoim e capim) em solo corrigido com calcário (A) e corrigido com escória (B). Pontos dentro do círculo representam os valores de P sorvido no solo a dose de 30 mg/L que corresponde aos 300 mg P Kg <sup>-1</sup> de solo aplicado nos Experimentos 1, 2 e 3. UF, Quincy, 2011.....	101
<b>Figura 7.</b> Cinética de dessorção de P usando uma membrana de troca aniônica (AEM) nos tratamentos sem fontes de adubação prévia (A) e nos demais tratamentos previamente fosfatados com as respectivas fontes (B). UF, Quincy, 2011. Os gráficos estão em escalas diferentes.....	103
<b>Figura 8.</b> Efeito do aumento do número de tiras de Membranas de Trocas Aniônicas (AEMs) na dessorção de P para o solo testemunha. O tempo de agitação foi de 7 horas com as membranas. Equação linear de uma a dez tiras de AEMs (A) e equação linear de uma a sete tiras de AEMs (B). UF, Quincy, 2011. Médias seguidas por letras distintas, diferem pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	104
<b>Figura 9.</b> Efeito do aumento do número de tiras de Membranas de Trocas Aniônicas (AEMs) na dessorção de P para tratamentos sem fontes de adubação prévia (A) e nos demais tratamentos previamente fosfatados com as respectivas fontes em solos corrigidos com calcário (B) e corrigidos com escória (C). UF, Quincy, 2011.....	105

Lista de Figuras (continuação)	Página
<b>Figura 10.</b> Isotermas de dessorção de P usando o Método de Múltiplas Membranas de Trocas Aniônicas (AEMs) nos tratamentos sem fontes de adubação prévia (A) e nos demais tratamentos previamente fosfatados com as respectivas fontes em solos corrigidos com calcário (B) e corrigidos com escória (C). Pontos dentro da linha pontilhada representam valores de P adsorvido no solo antes da adição das AEMs. UF, Quincy, 2011. No gráfico A o eixo “x” está em escala diferente.....	108
<b>Figura 11.</b> Padrão temporal de extração do P dessorvido por ânion orgânico (oxalato) na concentração de 20 $\mu\text{mol}$ de ânion $\text{g}^{-1}$ de solo (solução corrigida a pH 4,00 antes da adição oxalato) e o Fe liberado. UF, Quincy, 2011. Os gráficos estão em escalas diferentes.....	112
<b>Figura 12.</b> Concentração aniônica ótima de oxalato para a extração do P dessorvido e o Fe liberado. UF, Quincy, 2011. Os gráficos estão em escalas diferentes.....	115
<b>Figura 13.</b> P dessorvido e Fe liberado após dez horas de agitação com concentrações baixas de oxalato, sem adição de P. UF, Quincy, 2011. Os gráficos estão em escalas diferentes.....	116
<b>Figura 14.</b> P dessorvido e Fe liberado após um minuto de agitação com concentrações baixas de oxalato, com adição de P. UF, Quincy, 2011. Os gráficos estão em escalas diferentes.....	117

Lista de Tabelas	Página
<b>Tabela 1.</b> Análise química da porção de solo coletada para realização do experimento antes da correção da acidez. FCA, Botucatu, 2010.....	20
<b>Tabela 2.</b> Análise química do calcário dolomítico e escória de aciaria. FCA, Botucatu, 2010.....	21
<b>Tabela 3.</b> Nutrientes aplicados no solo nas respectivas doses dos corretivos e fontes fosfatadas, calculados segundo o resultado de análise do Laboratório de Fertilizantes e Corretivos da FCA – Unesp, Botucatu.....	22
<b>Tabela 4.</b> Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações nos tempos de incubação (após a adubação) nos atributos químicos do solo. FCA, Botucatu, 2010.....	40
<b>Tabela 5.</b> Desdobramento da interação (Cx F) nos teores de P, K, Mg e Si do solo nos tempos 0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após incubação.....	41
<b>Tabela 6.</b> Desdobramento da interação (Cx F) nos teores de B, Fe, Mn e Zn do solo nos tempos 0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após incubação.....	42
<b>Tabela 7.</b> Efeitos isolados de corretivos de acidez (C) e fontes de adubação (F) nos atributos químicos e teores de Ca e Cu no solo.....	43
<b>Tabela 8.</b> Valores de P e Si aplicados no solo e valores de P, Si e pH no solo após 150 dias de incubação.....	47
<b>Tabela 9.</b> Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações nas características morfológicas e produção de massa seca (MS) em plantas de amendoim. FCA, Botucatu, 2010.....	55
<b>Tabela 10.</b> Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) nas características morfológicas e produção da massa seca (MS) em plantas de amendoim.....	56
<b>Tabela 11.</b> Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações no teor e acúmulo nutricional e de Si na parte aérea de plantas de amendoim. FCA, Botucatu, 2010.....	60
<b>Tabela 12.</b> Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) do teor nutricional e de Si na parte aérea de amendoim (valores representam cinco plantas por vaso).....	60
<b>Tabela 13.</b> Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações no teor e acúmulo nutricional e de Si nos grãos de amendoim. FCA, Botucatu, 2010.....	64

Lista de Tabelas (continuação)	Página
<b>Tabela 14.</b> Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) do acúmulo nutricional e de Si nos grãos de amendoim (valores representam cinco plantas por vaso).....	65
<b>Tabela 15.</b> Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações nos atributos químicos do solo após a colheita de plantas de amendoim. FCA, Botucatu, 2010.....	70
<b>Tabela 16.</b> Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações no silício e micronutrientes do solo após a colheita de plantas de amendoim. FCA, Botucatu, 2010.....	72
<b>Tabela 17.</b> Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) de micronutrientes no solo após a colheita de plantas de amendoim.....	72
<b>Tabela 18.</b> Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações na produção de matéria massa (MS) por vaso (20 plantas) em quatro cortes e na soma dos cortes de capim marandu. FCA, Botucatu, 2010.....	74
<b>Tabela 19.</b> Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações no teor e acúmulo nutricional e de Si na parte aérea do 1º e 2º CORTE de capim marandu. FCA, Botucatu, 2010.....	78
<b>Tabela 20.</b> Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) do acúmulo nutricional na parte aérea do 1º CORTE de capim marandu (valores representam vinte plantas por vaso).....	79
<b>Tabela 21.</b> Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) do acúmulo nutricional e de Si na parte aérea do 2º CORTE de capim marandu (valores representam vinte plantas por vaso).....	80
<b>Tabela 22.</b> Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações no acúmulo nutricional e de Si na parte aérea do 3º e 4º CORTE de capim marandu. FCA, Botucatu, 2010.....	81
<b>Tabela 23.</b> Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) do acúmulo nutricional e de Si na parte aérea do 3º CORTE de capim marandu (valores representam vinte plantas por vaso).....	82
<b>Tabela 24.</b> Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) do acúmulo nutricional e de Si na parte aérea do 4º CORTE de capim marandu (valores representam vinte plantas por vaso).....	83
<b>Tabela 25.</b> Análise de variância dos atributos químicos, macro, micronutrientes e silício do solo após o 3º CORTE de capim marandu. FCA, Botucatu, 2010....	92

Lista de Tabelas (continuação)	Página
<b>Tabela 26.</b> Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) dos atributos químicos do solo o 3º CORTE de capim marandu.....	93
<b>Tabela 27.</b> Parâmetros de Langmuir para isothermas de sorção de P dos nove tratamentos no solo. UF, Quincy, 2011.....	102
<b>Tabela 28.</b> Quantidade total e razão do P dessorvido pelo P sorvido nos diferentes tratamentos do solo. UF, Quincy, 2011.....	110
<b>Tabela 29.</b> P dessorvido nos diferentes tratamentos do solo, após 600 minutos de agitação com oxalato (solução corrigida a pH 4,00 antes da adição oxalato). UF, Quincy, 2011.....	114
<b>Tabela 30.</b> P dessorvido nos diferentes tratamentos do solo por ânion orgânico (oxalato) na concentração de 250 $\mu\text{mol}$ de ânion $\text{g}^{-1}$ de solo (solução corrigida a pH 4,00 antes da adição oxalato). UF, Quincy, 2011.....	116

Lista de Anexos	Página
<b>Anexo 1.</b> Tratamentos analisados para cinética de sorção de P.....	i
<b>Anexo 2.</b> Tratamentos analisados para isotermas de sorção de P.....	i
<b>Anexo 3.</b> Tratamentos analisados para cinética de dessorção de P.....	i
<b>Anexo 4.</b> Tratamentos analisados para isotermas de dessorção de P.....	i
<b>Anexo 5.</b> Regressão de macronutrientes e Si nos tempos de incubação de cada fonte de adubação em cada corretivo de acidez (C x F) no solo.....	ii
<b>Anexo 6.</b> Regressão de micronutrientes nos tempos de incubação de cada fonte de adubação em cada corretivo de acidez (C x F) no solo.....	iii
<b>Anexo 7.</b> Regressão de tempo de incubação em cada corretivo de acidez (A1, B1, C1, D1) e em cada fonte de adubação (A2, B2, C2, D2) no solo.....	iv
<b>Anexo 8.</b> Continuação regressão de tempo de incubação em cada corretivo de acidez (E1, F1,G1) e em cada fonte de adubação (E2, F2, G2) no solo.....	v
<b>Anexo 9.</b> Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) da produção de matéria massa na parte aérea (MSPA) de plantas de amendoim.....	v
<b>Anexo 10.</b> Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (Cx F) da produção de matéria massa (MS), teor e acúmulo de P por vaso (20 plantas) nos quatro cortes de capim marandu.....	vi
<b>Anexo 11.</b> Análise de variância em relação aos tempos de agitação (A), tratamentos (T) e interação A x T no P sorvido. UF, Quincy, 2011.....	vii
<b>Anexo 12.</b> Desdobramento da interação de tempos de agitação e tratamentos (A x T) do teor de P sorvido pelo solo.....	vii
<b>Anexo 13.</b> Valores de pH dos solos utilizados no Experimento 4. FCA-UNESP, Botucatu, 2010.....	viii

## 1. RESUMO

A reduzida eficiência de aproveitamento dos fertilizantes fosfatados é influenciada pela solubilidade de suas fontes. Uma das alternativas para melhorar a disponibilidade de P nos solos e aumentar o aproveitamento dos fertilizantes é a aplicação de silicatos. Para verificar a influência dos corretivos de acidez e das fontes de fósforo nos atributos químicos do solo ao longo do tempo foi realizado o Experimento 1, utilizando um LATOSSOLO VERMELHO distrófico. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 2 x 5, com dois corretivos de acidez (calcário dolomítico e escória de aciaria) e cinco tratamentos, sendo uma testemunha (sem NPK), uma testemunha relativa (sem fósforo) e os demais tratamentos constituídos de diferentes fontes de fósforo (superfosfato triplo – ST; termofosfato – TM; fosfato natural reativo – FNR). Os corretivos de acidez tiveram mesmo efeito na elevação de pH do solo. A escória de aciaria resultou em maior teor de P apenas 30 dias após incubação. Independente do corretivo, 150 dias após a incubação, o teor de P no solo seguiu a ordem  $ST > TM = FNR > \text{sem NPK} = \text{sem P}$ . Para verificar os atributos químicos do solo, a nutrição e a produção de amendoim e do capim marandu em solos sob a influência dos corretivos de acidez e das fontes de fósforo, foram realizados os Experimentos 2 e 3 na FCA – UNESP, campus de Botucatu.



No amendoim, a aplicação de escória resultou em plantas mais altas e com maior produção de MSPA, porém a MS grãos por vaso foi maior com a calagem, corretivo em que seguiu a ordem  $TM = FNR > ST > \text{sem P}$ . No capim, comparando corretivos, a MS Total aplicando escória foi superior no tratamento testemunha e aplicando calcário foi maior no TM+M. A produção de MS Total com calcário foi  $ST = TM > FNR > \text{sem P}$  e com escória o  $ST = TM; ST > FNR; ST > \text{sem P}$ . O teor de P no solo não se diferenciou entre os corretivos após o 3º corte e nas fontes fostadas foram maiores que sem P. Com solos dos experimentos 1, 2 e 3 foram realizados mais dois experimentos na Universidade da Flórida (UF), em Quincy, sendo o Experimento 4 para analisar a cinética e reações de sorção e de dessorção de P no solo e o Experimento 5 para mensurar P dessorvido pela ação de ânions orgânicos. No Experimento 4 a aplicação de corretivos de acidez teve um efeito positivo duplo, pois reduziu a quantidade de P sorvida e aumentou a quantidade de P dessorvida pelo solo; tendo a escória de aciaria efeito superior ao calcário nestas mudanças. No Experimento 5, tratamentos com escória de aciaria dessorveram mais P que com calcário nas doses altas (até 250  $\mu\text{mol}$  de ânion por g de solo) e baixas de oxalato (0,01 e 0,1  $\mu\text{mol}$  de ânion  $\text{g}^{-1}$  de solo) em soluções previamente corrigidas a pH 4, evidenciando o efeito da escória (silicato) na dessorção de P.

**Palavras-chave:** *Arachis hypogaea*, *Brachiaria brizantha*, dessorção P, sorção P.

ACIDITY CORRECTIVES AND PHOSPHORUS SOURCES IN THE AVAILABILITY OF SOIL P, NUTRITION AND PRODUCTION OF PEANUT AND GRASS (cv. Marandu). Botucatu, 2012. 154 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ERICA PONTES LELES

Adviser: DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

## 2. SUMMARY

The low efficiency of utilization of phosphates fertilizers is influenced by the solubility of its sources. An alternative to improve the availability of P in soils and increase the use of fertilizers is the use of silicates. To evaluate the influence of the acidity correctives and sources of phosphorus in soil chemical properties over time, the Experiment 1 was performed using a Dystrophic Red Latosol. The experimental design was randomized blocks with four replications in a factorial scheme 2x5, with two acidity correctives (dolomitic limestone and steel slag) and five treatments, as a control (without NPK), a relative control (without phosphorus) and the other treatments consisting of different phosphorus sources (triple superphosphate - TS, thermo phosphate - TM and reactive natural phosphate - FNR). The acidity correctives had the same effect in the rise of soil pH, and the steel slag resulted in higher value than limestone in P resin in soil only 30 days after incubation. Independent of the acidity correctives, 150 days after incubation, the value of soil P followed the order  $ST > TM = FNR > sem\ NPK = sem\ P$ . To evaluate the chemical soil properties, nutrition and production of peanuts and grass in soils under the influence of the acidity correctives and phosphorus sources, were conducted the Experiments 2 and 3 in FCA – UNESP, Botucatu campus. In

peanuts, the application of steel slag resulted in highest plants with biggest leaves+stalk dry matter production than limestone, however the grain dry matter per vase was biggest when the limestone was applied, following the order  $TM = FNR > ST > \text{sem P}$  in this corrective. In marandu grass, comparing the correctives, with steel slag the total production of dry matter was upper in the soil control and the limestone in the TM+M treatment. The total production of dry matter with limestone was  $ST = TM > FNR > \text{control}$  and with steel slag  $ST = TM; ST > FNR; ST > \text{control}$ . The value of soil P did not differentiate between the correctives after the 3<sup>th</sup> cut and the P sources resulted in higher P levels than the soil control. Experiments 1, 2 and 3 were conducted in the FCA - UNESP, Botucatu and with the soils from these experiments were conducted two more, the Experiment 4 to analyze reaction kinetics and sorption and desorption of P in soil and the Experiment 5 to measure ligand-desorbable P. In Experiment 4, the correctives of acidity had a double positive effect, because decreased the quantity of sorbed P and increased the quantity of desorbed P by the soil; and the steel slag had a upper effect than limestone in these changes. In Experiment 5, the desorbed P in the slag treatment was higher than the limestone at all high rate applied of oxalate (until 250  $\mu\text{mol}$  of  $\text{anion g}^{-1}$  of soil) and in the two lowest rates (0,01 and 0,1  $\mu\text{mol}$  of  $\text{anion g}^{-1}$  of soil), evidencing the steel slag (silicate) effect in the P desorption.

---

Key words: *Arachis hypogaea*, *Brachiaria brizantha*, P desorption, P sorption.

### 3. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas os esforços têm sido direcionados no sentido de otimizar a eficiência de utilização de nutrientes pelas plantas, visando reduzir os custos de produção, evitar a degradação dos recursos ambientais e aumentar o rendimento das culturas.

A produtividade das culturas depende, dentre outros fatores, do adequado suprimento de nutrientes. A adubação fosfatada é essencial para os solos brasileiros, os quais apresentam intensa deficiência de P devido ao pH ácido e à presença de grandes proporções de óxidos de Fe e Al na fração argila, que aumentam muito a adsorção de fosfatos e a precipitação reduzindo conseqüentemente, a disponibilidade de P para as plantas.

Na literatura são encontrados vários estudos que possibilitam melhorar a disponibilidade de P nos solos, sendo a aplicação de silício uma delas. Uma das fontes mais abundantes e de baixo custo dos silicatos no Brasil é a escória de siderurgia. Além de ser corretivo de solo, assim como o calcário, a escória, que é constituída de um silicato de cálcio, é fonte de macro, micronutrientes e silício. O ânion silicato pode ser adsorvido à fase sólida do solo, competindo pelos mesmos sítios de adsorção que o fósforo, impedindo ou dificultando a adsorção deste, ficando disponível em solução. Tendo a maioria das pesquisas brasileiras

analisado apenas o efeito corretivo e o fornecimento de Ca e Mg por estes resíduos, torna-se interessante avaliar o efeito de escória no P disponível do solo.

A deposição e acúmulo de silício são diferentes entre as espécies de plantas devido às diferenças nos padrões de absorção de Si pelas raízes (MA; YAMAJI, 2006). Plantas de absorção ativa de Si tendem a causar depleção de Si na solução e são conhecidas como plantas acumuladoras de Si, como as gramíneas. Por outro lado, plantas excludoras de Si tendem a exsudar Si, aumentando assim a concentração de Si na solução, e são consideradas não-acumuladoras de Si, como as leguminosas (TAKAHASHI et al., 1990).

A eficiência de fontes fosfatadas, entre outros fatores (método de aplicação, o pH do solo, sistema de preparo do solo, etc), também é influenciado pela espécie vegetal. Estudos sobre as diferentes fontes de fósforo e sua eficiência na cultura do amendoim ainda são incipientes. Para pastagens, somente o comportamento de fosfatos de baixa solubilidade e dos superfosfatos, solúveis em água foram bem definidos, sendo necessários estudos com fontes solúveis em ácido cítrico, como os termofosfatos.

O fósforo adicionado ao solo através dos adubos fosfatados provoca reações que tendem ao equilíbrio entre as fases sólida e líquida do solo. As plantas absorvem fósforo da solução do solo e a fase sólida passa a ser fonte potencial de P. O fósforo é liberado da fase sólida, predominantemente, através de reações de dessorção que ocorrem na superfície das partículas de solo, mas também pela dissolução de minerais primários e secundários e pela decomposição da matéria orgânica. Estudos com escórias aplicadas ao solo têm demonstrado aumento de pH e redução do H+Al em razão da presença de silicato ( $\text{SiCO}_3$ ) como agente neutralizante da acidez e, tendo estes fatores influência direta na sorção e dessorção de P, analisar essas reações aplicando escória ou calcário ajudaria a elucidar a possível diferença entre esses corretivos na disponibilidade de P comentado na literatura.

Os objetivos neste trabalho foram: avaliar o efeito dos corretivos de acidez e das fontes de fósforo no P disponível do solo ao longo do tempo; determinar a fonte de fósforo e o corretivo de acidez que proporcione maior produção em plantas de amendoim e capim marandu; analisar a cinética de sorção e dessorção de P em solos corrigidos com escória ou calcário; e analisar o P dessorvido pela ação de ânions orgânicos (oxalato).

## **4. REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1. Escórias de siderurgia, acúmulo de Si nas plantas e disponibilidade de P no solo**

Os solos das regiões tropicais úmidas, devido ao processo de intemperização, apresentam riqueza de sesquióxidos de ferro e alumínio, os quais podem se apresentar com cargas positivas e, conseqüentemente adsorver o ânion fosfato em suas superfícies. A reação dos fertilizantes fosfatados com o solo depende do pH, da textura e da natureza dos colóides (PEREIRA; FARIA, 1998).

A reação ácida e as baixas concentrações de P disponível em solos tropicais limitam a produtividade das culturas. Portanto, estes solos requerem altas quantidade de fertilizantes fosfatados para manter a produtividade das culturas em níveis economicamente sustentáveis. (PRADO; FERNANDES, 2001).

A utilização de corretivos da acidez auxilia na diminuição do problema da adsorção de P pelos solos, pois, com a elevação do pH, ocorre um aumento da solubilidade dos fosfatos de Fe e Al, aumento da concentração de  $\text{OH}^-$  na solução do solo, reduzindo a adsorção do fosfato na fase sólida do solo (CASAGRANDE; CAMARGO, 1997).

No Brasil, o material mais utilizado como corretivo é o calcário, entretanto, a utilização de resíduos siderúrgicos para a mesma finalidade tem se mostrado promissora. E com base nisso, alguns trabalhos têm sido realizados comparando os efeitos do calcário com os das escórias de siderurgias, na correção da acidez do solo (GOMES et al., 1965; RIBEIRO et al., 1986; BAHIA, 1989; ALCARDE, 1992; AMARAL SOBRINHO et al., 1993; PRADO; FERNANDES, 2000; PRADO et al., 2002; BRASSIOLI et al., 2003; SILVA, 2003; ALCARDE; RODELA, 2003). De acordo com esses autores, o emprego com sucesso da escória como corretivo está diretamente relacionado ao acréscimo do pH, Ca, Mg e a própria neutralização do Al tóxico.

Formas para melhorar a disponibilidade de P nos solos têm sido amplamente estudado, sendo uma delas a utilização de ânions (silicatos) competidores com fosfato pelos mesmos sítios de adsorção do solo (FASSBENDER, 1987). Uma das fontes mais abundantes e de baixo custo dos silicatos no Brasil é a escória de siderurgia (KORNDÖRFER et al., 2004).

A maioria das pesquisas desenvolvidas no Brasil com escória analisou apenas seu efeito corretivo e como fontes de alguns nutrientes presentes na sua constituição (GOMES et al., 1965; FORTES, 1993; PIAU, 1995; PRADO et al., 2003; CARVALHO-PUPATTO et al., 2004; CORREA et al., 2007; 2008; 2009; SOBRAL et al., 2011). No entanto, são escassos os trabalhos que avaliaram o efeito deste resíduo no P disponível do solo (PRADO; FERNANDES, 2001). Tratando-se de um produto conhecido como corretivo de acidez, torna-se difícil afirmar se os ganhos na redução da adsorção de P são uma ocorrência apenas do incremento do pH ou do efeito do silicato em deslocar ou saturar os sítios de adsorção de P do solo (PRADO; FERNANDES, 2001). Há, portanto, a necessidade de isolar o efeito do pH do efeito do silicato.

Na literatura há trabalhos com a cultura do arroz (CARVALHO-PUPATTO et al., 2003; CARVALHO-PUPATTO et al., 2004; PEREIRA et al., 2004), cana-de-açúcar (PRADO et al., 2003; SOBRAL et al., 2011) e forrageiras (FORTES, 2006; FARIA et al., 2008) estudando os efeitos da aplicação de Si na forma de escória de siderurgia nas características e teor de Si das plantas. Porém, são escassos os trabalhos que relatam o efeito da escória no teor de P das plantas (PRADO et al., 2002) ou sobre a relação silício e outros nutrientes, como o fósforo (PRADO; FERNANDES, 2001).

As plantas diferem quanto à capacidade de absorver e acumular silício. As plantas consideradas acumuladoras de silício, as monocotiledôneas (gramíneas) têm teor foliar acima de  $10,0 \text{ g kg}^{-1}$  de silício e absorção radicular ativa, já as não acumuladoras (leguminosas) têm teor foliar menor que  $5,0 \text{ g kg}^{-1}$  de silício e absorção por simplasto, estas são exclusoras no transporte de silício, absorvendo água de forma mais rápida do que absorção de silício. Existem ainda as intermediárias na acumulação de silício, com teor foliar menor de  $10 \text{ g kg}^{-1}$  de silício e absorção por simplasto (TAKAHASHI et al., 1990).

Plantas de absorção ativa tendem a causar a depleção de silício na solução e são conhecidas como plantas acumuladoras de silício. Por outro lado, plantas exclusoras tendem a exsudar silício, aumentando assim a concentração de Si na solução, e são consideradas não-acumuladoras (TAKAHASHI et al., 1990). Sendo assim, solos cultivados com gramíneas (acumuladoras) e com leguminosas (não acumuladoras) se diferenciariam na interação Si e P, por disponibilizarem menos ou mais Si na solução do solo.

A razão da eficiência do ânion silicato no aumento de P disponível vem sendo debatida ao longo do tempo. O ânion silicato pode ser adsorvido à fase sólida do solo, competindo pelos mesmos sítios de adsorção que o fósforo, impedindo ou dificultando a adsorção deste, ficando disponível em solução (OBIHARA; RUSSEL, 1972). Assim, a correção da acidez do solo com silicatos, além de elevar o pH, poderia disponibilizar o P, pelo efeito adicional de deslocar o P adsorvido para a solução (VOLKWEISS; RAIJ, 1976). Lopes (1977) ressalta que a eficiência do silicato em aumentar o P disponível do solo não está na capacidade de troca dos ânions silicato pelo fosfato no solo e, sim, na saturação ou bloqueio de adsorção de P pelo ânion silicato. Smyth e Sanchez (1980) concordam em partes, afirmam que o aumento do P disponível do solo realmente deve-se mais ao efeito do silicato contido na escória do que ao efeito do pH propriamente dito, porém acreditam que isto se deva a competição dos ânions de silicato com o P pelos mesmos sítios de adsorção. De qualquer modo, estas hipóteses são contrastantes a Baldeón (1995) que concluiu que o efeito no aumento do P disponível ocorre principalmente por influência da elevação do pH. Prado e Fernandes (2001) sugerem que o efeito da escória de siderurgia no P disponível se deve mais ao efeito do silicato do que ao efeito do pH.



#### 4.2 Fontes de fósforo e disponibilidade de P no solo

Quase todo fosfato de rocha é explorado por mineração superficial as chamadas lavras a céu aberto (MALAVOLTA, 1981). Estes fosfatos contêm cerca de 15% de  $P_2O_5$  e precisam ser concentrados, para serem utilizados como fertilizante (LOPES, 1998). Após a retirada de blocos desagregados da rocha estes seguem para a usina de beneficiamento. Uma série de tratamentos remove a maior parte da argila e de outras impurezas elevando o teor de  $P_2O_5$  para 30% a 35%. Malavolta (1981) cita o processo de flotação como um dos mais importantes no aumento da concentração do P na rocha. Após o beneficiamento, o fosfato de rocha é finamente moído, e já constituem os chamados fosfatos naturais ou fosfatos naturais reativos (FURTINI NETO et al., 2001). A maior parte deste material é tratado para tornar o fósforo mais solúvel, normalmente os fertilizantes fosfatados são classificados em tratados com ácidos ou processados termicamente.

O fósforo tratado com ácidos é sem dúvida o mais importante. De forma geral a partir do tratamento da rocha com ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) é produzido o ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), ácido fluorídrico (HF) e gesso ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), para esse processo é dado o nome de obtenção de ácido fosfórico por via úmida. A partir daí, através de processos de purificações e reações são produzidos os mais diferentes fertilizantes minerais fosfatados tratados com ácido (NOVAIS et al., 2007). O processamento via seca é empregado para produção de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) destinado à indústria química e farmacêutica. O  $H_3PO_4$  fabricado por via úmida mediante a eliminação da água dá origem ao ácido superfosfórico, um composto mais concentrado, de forma líquida quando em temperatura ambiente, amplamente utilizado em adubos líquidos (MALAVOLTA, 1981).

O tratamento térmico de fosfatos naturais procura desfazer a rigidez estrutural da apatita tornando mais solúvel o seu fósforo (MALAVOLTA, 1981). São produzidos através do aquecimento do fosfato de rocha a várias temperaturas, com ou sem aditivo. Estes fertilizantes são conhecidos como termofosfatos no Brasil (LOPES, 1998).

Entre as principais fontes de P produzidas pela indústria de fertilizantes no Brasil, encontramos as seguintes: (i) fosfatos naturais; (ii) fosfatos acidulados, (iii) termofosfatos. A garantia desses produtos fertilizantes é sempre feita com base na quantidade de  $P_2O_5$  solúvel em soluções extratoras como: água ( $H_2O$ ), ácido cítrico (AC) e citrato neutro

de amônio (CNA) (SOUSA; LOBATO, 2004). A avaliação de uma fonte de fósforo com extratores tem como objetivo determinar o potencial agronômico dos fertilizantes. A solubilidade das fontes em extratores químicos exprime seu significado quando correlacionada com a eficiência agronômica. Porém, essas metodologias não consideram a eficiência agronômica de forma direta, nem as formas do fósforo no fertilizante (ALCARDE; PROCHNOW, 2003).

Ácidos fortes, como HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e HClO<sub>4</sub>, têm sido utilizadas na avaliação do teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total. A garantia dos fertilizantes totalmente acidulados é feita com base no teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em solução CNA+água, e exige elevada solubilidade em água (84 a 92%) (PROCHNOW, 1996). A extração em solução CNA tem como objetivo avaliar o fósforo disponível em curto prazo contido nas formas não solúveis em água. Esta extração tem como desvantagem superestimar a solubilização de fosfatos de Fe e Al. A determinação dos teores de fósforo pelo método do ácido cítrico a 2% é usada para avaliar o fósforo disponível de fosfatos pouco solúveis em água como a rocha fosfática. Essa determinação tem se mostrado agronomicamente eficiente (ALCARDE; PROCHNOW, 2003).

A eficiência agronômica de fontes fosfática segundo Chien e Menon (1995), é afetada: (i) pelo tipo da fonte, (ii) propriedade do solo, (iii) práticas de manejo e (iv) pela espécie vegetal. Para Novais e Smyth (1999) a solubilização de fosfatos é principalmente função das propriedades do solo (acidez e dreno) e da planta, e para Khasawneh e Doll (1978), os fatores que afetam a eficiência agronômica são: (i) reatividade da fonte, (ii) tamanho de partículas, (iii) pH do solo, (iv) teor de cálcio e fósforo no solo, (v) textura do solo, (vi) eficiência de absorção pelas plantas e (vii) teor de matéria orgânica.

Na agricultura brasileira, predomina o uso dos fertilizantes fosfatados totalmente acidulados, entretanto, o alto custo dessas fontes de P tem despertado o interesse pelos fosfatos naturais (FN), que custam bem menos por unidade de P do que os solúveis (RESENDE et al., 2006). Os FN resultam simplesmente da moagem da rocha fosfática, podendo ou não passar por processos físicos de concentração. A solubilidade desses fertilizantes é variável em função da origem e do grau de substituições iônicas isomórficas. Alguns fosfatos naturais importados de origem sedimentar são mais solúveis do que os fosfatos naturais brasileiros, por possuírem menor cristalinização e maior reatividade no solo, sendo, por isso, denominados fosfatos naturais reativos (FNR) (KAMINSKI; PERUZZO,

1997). Novais et al. (2007) citam os superfosfatos simples e triplo, fosfato monoamônico e diamônico, termofosfato e bio-super como sendo fontes industrializadas de maior solubilidade. Goedert et al. (1986) são claros ao sugerir que as fontes solúveis em solos intemperizados aplicadas de forma correta (aplicação localizada, material granulado, etc.) é a forma mais adequada de obtenção de respostas rápidas (cultivos anuais, produtividades anuais de cultivos perenes), porém a manutenção das respostas ao longo dos anos depende de fontes pouco solúveis.

Sabe-se que as características de solubilidade das fontes de P são de grande importância em relação à sua eficiência: os fosfatos de maior solubilidade, sendo mais prontamente disponíveis, favoreceriam a absorção e o aproveitamento do nutriente, principalmente pelas culturas de ciclo curto (rápido crescimento). No entanto, essa rápida liberação do P pode também favorecer o processo de adsorção e precipitação das formas solúveis pelos componentes do solo, originando compostos fosfatados de baixa solubilidade e indisponibilizando o nutriente para as plantas, sendo tal fenômeno mais expressivo quanto mais argiloso for o solo. Dessa maneira, os fertilizantes de menor reatividade, ao disponibilizarem mais lentamente o P, minimizariam os processos de fixação e poderiam favorecer maior eficiência de utilização do fósforo pelas culturas (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Encontrar alternativas para a aplicação de fertilizantes de baixo custo e liberação lenta em água representa, para as condições do Brasil, o melhor uso de recursos, uma possível diminuição do risco de problemas ambientais (eutrofização de mananciais), e a adequação dos elevados custos de produção de fertilizantes a partir de rochas de baixa qualidade.

Uma característica de suma importância da utilização de FN é o tipo de cultura implantada. Geralmente, as leguminosas são mais exigentes em cálcio e possuem a capacidade de acidificar a rizosfera, sendo portanto, estas plantas mais eficientes no aproveitamento de P proveniente de FN (NOVAIS; SMYTH, 1999).

#### **4.3 Fósforo na cultura do amendoim**

A área total cultivada com amendoim na safra 2011/12 deve ficar em 93,9 mil hectares. O maior estado produtor é São Paulo com 75,9 mil hectares (80,8%), onde a

cultura do amendoim é utilizada na renovação da cana-de-açúcar, que por ser uma leguminosa incorpora nitrogênio ao solo favorecendo a replantação da cana-de-açúcar (CONAB, 2012).

Existem diversos trabalhos evidenciando o efeito positivo da adubação fosfatada em cana-de-açúcar (ESPIRONELO, 1989; RAIJ et al., 1996 e MOURA FILHO, 2002). Há relatos também de relação linear entre as concentrações de P do solo e doses de escória, em solo cultivado com cana-de-açúcar; não verificando a mesma relação quando o calcário foi aplicado (PRADO; FERNANDES, 2001). Os experimentos têm demonstrado que, apesar da cana-de-açúcar ser considerada cultura semiperene, os fosfatos solúveis apresentam melhor reação, com rentabilidade bastante superior aos fosfatos de baixa solubilidade (ZAMBELLO JÚNIOR; ORLANDO FILHO, 1981). Considerando que o amendoim é a principal cultura utilizada na rotação com a cana-de-açúcar no Brasil, torna-se interessante também verificar o efeito da escória e das fontes de P nos atributos químicos do solo e no desenvolvimento da planta.

De acordo com Coelho e Tella (1967) e Schimann et al.(1970), 73% do P absorvido pela planta é acumulado nos frutos, mostrando a importância desse elemento na formação e no desenvolvimento das sementes de amendoim. A maioria dos trabalhos com o objetivo de avaliar as respostas dessa cultura ao adubo fosfatado encontrados na literatura consultada é relativamente antiga e contraditória. Nakagawa et al. (1977a, 1981a, 1993), Marubayashi et al. (1994) e Gerin et al. (1996) observaram respostas positivas da adubação com fosfato na produção de sementes de amendoim trabalhando com diferentes fontes de P e tipos de solo. Entretanto, Nakagawa et al. (1977b, 1980, 1981b, 1990) não constataram efeito da adubação com fosfato na produção de sementes desta leguminosa.

Em trabalhos mais recentes, Hippler et al., 2011 concluíram que as doses crescentes de adubação fosfatada promoveram aumento no desenvolvimento das plantas de amendoim, independente da inoculação com os fungos micorrízicos arbusculares. Segundo os mesmo autores, apesar do grande volume de pesquisas sobre P e micorrizas em plantas cultivadas, os efeitos desses fatores sobre o amendoim ainda são restritos.

#### 4.4 Fósforo em pastagem

O fósforo desempenha importante papel no desenvolvimento radicular e no perfilhamento das gramíneas, sendo assim, a sua deficiência passa a limitar a capacidade produtiva das pastagens. Um dos maiores problemas no estabelecimento e na manutenção de pastagens nos latossolos brasileiros reside nos níveis extremamente baixos de fósforo disponível e total. Além da grande deficiência desse elemento em nossos solos, acrescente a alta capacidade de adsorção do fósforo em consequência da acidez e altos teores de óxidos de ferro e de alumínio (MACEDO, 2004).

A elevação do pH dos solos ácidos pela aplicação de corretivos de acidez apresenta vantagens como baixo custo, fácil aplicação e representa a principal fonte de Ca e Mg para as pastagens. A elevação do pH do solo pela calagem, aumentando a concentração e atividade dos íons  $\text{OH}^-$  em solução, promove a precipitação de Fe e Al, reduzindo a precipitação de P-Fe e P-Al de baixa solubilidade. Há, também, geração de cargas negativas pela desprotonação de hidroxilas expostas nas argilas e matéria orgânica, ocorrendo repulsão entre o fosfato e a superfície adsorvente (McBRIDE, 1994), ou seja, a elevação do pH a valores próximos da neutralidade dificulta a formação do complexo de superfície entre  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e o  $\text{Fe}^{3+}$ , permanecendo mais P em solução disponível às plantas.

Uma técnica alternativa para a correção da acidez do solo é a substituição total ou parcial do carbonato de Ca ( $\text{CaCO}_3$ ) e, ou, Mg ( $\text{MgCO}_3$ ) pelo silicato de Ca ( $\text{CaSiO}_3$ ) e, ou, Mg ( $\text{MgSiO}_3$ ), que apresentam reações semelhantes à do calcário, que, além de elevar o pH, podem disponibilizar o ânion silicato ( $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ ), que, por sua vez, pode concorrer com o ânion fosfato diácido ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) pelos mesmos sítios de adsorção (CARVALHO et al., 2000).

A hidrólise do ânion silicato promove a liberação de hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ), neutralizando os  $\text{H}^+$  e elevando o pH do solo. Com o aumento do pH, ocorre a precipitação do  $\text{Al}^{3+}$  na forma de hidróxido de Al ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), de baixa solubilidade e, portanto, não tóxica para as plantas, já que não se mantém ativo em solução (KONDÖRFER; NOLLA, 2003). Após a ação alcalinizante do solo pelo  $\text{CaSiO}_3$ , há a formação do  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , que se transforma em  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$  em pH próximo de 7, e pode ser adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila, competindo com o  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  pelos mesmos sítios de adsorção (HINGSTON et al., 1972). Essa

competição, conforme Carvalho et al. (2000), ocorre quando se aplica o Si antes do calcário e do P das fertilizações. Na ausência do calcário, conforme se propõe neste trabalho, o  $\text{CaSiO}_3$  cumprirá primeiro o papel alcalinizante, seguido da formação de  $\text{H}_3\text{PO}_4^-$ , que parece saturar os sítios de adsorção de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , disponibilizando-o em maiores concentrações às plantas na solução do solo.

A complexa dinâmica do P nos solos tropicais é de grande importância e outra causa da indisponibilidade do nutriente está ligada à reduzida eficiência de aproveitamento dos fertilizantes fosfatados (YOST et al., 1981). A incorporação de novas áreas à agropecuária brasileira, que apresentam alto dreno de fósforo e baixíssima disponibilidade do mesmo, tem feito com que a utilização dos fosfatos *in natura* seja um atrativo como fonte do nutriente para as plantas, uma vez que há uma disponibilidade gradual de P e um favorecimento do aumento da quantidade do nutriente ao longo do tempo (NOVAIS; SMYTH, 1999).

A eficiência das fontes de adubação é influenciada por vários fatores, dentre os quais, o tipo de solo e a fonte de P utilizada. A demanda de P nas adubações depende da textura do solo, uma vez que o tamponamento, diretamente relacionado ao teor de argila, vai modular a fração de P que permanecerá disponível para a planta. Assim, comparativamente com os solos arenosos, os solos argilosos requerem quantidades mais elevadas de fosfato para atender à demanda de uma dada cultura (NOVAIS; SMYTH, 1999; SOUSA et al., 2004).

A maior parte das áreas com pastagens encontra-se degradadas ou em processo de degradação em consequência de inúmeros fatores, sendo o principal, o manejo inadequado da fertilidade dos solos. Assim, esta se torna crucial para a recuperação destas áreas, tendo o fósforo recebido uma atenção especial em condições tropicais (DELISTOIANOV et al., 1992).

Almeida (1998), trabalhando com a *Brachiaria decumbens* e a *Brachiaria brizantha* obteve resposta crescente de produção de massa seca da parte aérea nos dois cortes efetuados e das raízes, sendo que a *Brachiaria brizantha* foi mais responsiva às doses de fósforo empregadas.

De acordo com Freire et al. (2005), a utilização das fontes menos solúveis não é recomendada na fase vegetativa do estabelecimento da cultura. Para isso, recomendam-se, para o estabelecimento de pastagens, fontes solúveis de fósforo e aplicações

localizadas de modo que favoreçam a alta disponibilidade de fósforo junto às raízes, para que atenda aos maiores requerimentos do nutriente na fase de crescimento da planta. O superfosfato triplo promoveria um maior incremento em relação às outras fontes utilizadas, devido à sua alta solubilidade em água, fornecendo maiores quantidades de fósforo à planta nos primeiros dias, em relação às fontes solúveis em ácido cítrico. Porém em *Andropogon gayanus* Kunth. (COUTO et al., 1985) e em *Brachiaria decumbens* (IEIRI et al., 2010), o termofosfato magnésiano e o superfosfato triplo não diferiram entre si na produtividade de matéria seca da parte aérea.

Baseado na resposta de gramíneas ao fósforo e na importância de melhorar a disponibilidade de P nos solos tropicais, torna-se interessante comparar o efeito de corretivo de acidez silicatado (escória) ou não (calcário) além das fontes de P na cultura do capim marandu.

#### **4.5 Sorção e dessorção de P no solo**

O fósforo é distribuído no solo da seguinte forma: 98 a 99% são associadas a minerais primários ou secundários e a matéria orgânica, 1 a 2% aos tecidos dos microrganismos e somente 0,01% existente como a forma solúvel, assimilável às planta (NYLE, 2001).

Isto se deve, a adsorção de P no solo, que ocorre através de ligações eletrostáticas e/ou covalentes, e de precipitação, com formação de compostos pouco solúveis ou insolúveis fixando o P ao entrarem em contato com a fase sólida do solo, não o disponibilizando às plantas (ALCARDE et al., 1991; AQUINO, 2004).

Muitos são os fatores que podem influenciar a adsorção de P, principalmente os que se relacionam com o comportamento físico-químico dos colóides como: (i) teor e mineralogia da fração argila dos solos; (ii) concentração hidrogeniônica (pH); (iii) alumínio trocável; (iv) cátions associados com o fosfato e matéria orgânica (CAMPBELL; EDWARDS, 2001; ABDALLA; PROCHNOW, 2008).

As reações do P no solo, que levam a maior ou menor disponibilidade do elemento, estão diretamente associadas às inter-relações que ocorrem entre os fatores intensidade (I), quantidade (Q) e capacidade (C), em que, I corresponde ao P em solução, Q ao

P-lábil e C a capacidade tampão de P (NOVAIS; SMYTH, 1999). Logo, a disponibilidade de P para as plantas depende da concentração de P na solução do solo e, principalmente, da capacidade do solo em manter teores adequados de P em solução para suprir a necessidade da planta durante o ciclo da cultura. Assim, o equilíbrio entre o P-lábil e o P em solução definirá a disponibilidade deste nutriente para uma cultura qualquer. Sabendo-se que os três fatores (I, Q e C) atuam seguindo equilíbrios químicos, a alteração em um fator ou compartimento irá apresentar reflexos em outro até que se estabeleça um novo equilíbrio (LARSEN, 1967).

A liberação de fósforo orgânico para a solução do solo é controlada pela taxa de mineralização da matéria orgânica e depende da atividade microbiana (BARBER, 1995). Entretanto, o fósforo orgânico liberado na solução do solo, mediante a mineralização do fósforo orgânico, poderá ser adsorvido pela fase mineral do solo e tornar-se indisponível para as plantas (NOVAIS; SMYTH, 1999).

O fósforo adicionado ao solo através dos adubos fosfatados provoca reações que tendem ao equilíbrio entre as fases sólida e líquida do solo. As plantas absorvem fósforo da solução do solo e a fase sólida passa a ser fonte potencial de fósforo. O fósforo é liberado da fase sólida, predominantemente, através de reações de dessorção que ocorrem na superfície das partículas de solo, mas também pela dissolução de minerais primários e secundários e pela decomposição da matéria orgânica (MARCOLAN, 2006).

Dessorção é um processo fundamental para definir a biodisponibilidade de P no solo. A liberação de fósforo inorgânico no solo ocorre devido ao equilíbrio dinâmico criado pela remoção de P da solução do solo ou em resposta a ação de troca de ligantes com o fosfato ou pela dissolução de compostos que contém fosfato em sua estrutura (SATO; COMERFORD, 2006b).

Este ao equilíbrio dinâmico pode ser gerado pela absorção de P da solução do solo pelas raízes das plantas, lixiviação do elemento, precipitação de minerais fosfatados secundários, mudança de pH da rizosfera que mudam as carga de superfície e solubilidade, ou durante a imobilização pela microbiota do solo. Ou seja, à medida que a concentração de P na solução diminui, o P é repostado através de dessorção pelo P sorvido à superfície do solo na troca com outros ânions na solução, ou por dissolução de compostos relativamente solúveis (WOLF; LONDON, 1994).



A escolha da metodologia de análise para dessorção deve ser a mais próxima possível a biodisponibilização natural do P no solo. O reservatório mais comum de P está relacionado à porção extraível de P lábil presentes na reserva de  $P_i$  por extratores como Bray 1, Mehlich 1 ou 3, solução de Olsen (BRAY; KURTZ, 1945; MEHLICH, 1953, 1984; OLSEN et al. 1954). Entretanto, essas análises são somente interpretadas quando combinadas com dados contendo plantações em experimentos de campo ou casa de vegetação (KLEINMAN et al., 2001). Pois, não medem o reservatório de P biodisponível; agem somente como índice de P biodisponível no solo. Não existe interpretação para a quantidade de P extraído por nenhum desses métodos, pois eles não definem um padrão de P disponível nem a influência da dessorção de P na concentração do elemento na solução do solo. Essas técnicas são limitadas pelo mecanismo modelo de biodisponibilidade de P no solo e sua absorção pelas plantas (SATO; COMERFORD, 2006b).

O processo de adsorção/precipitação são comumente combinados dentro do termo sorção porque é difícil distinguir um do outro. Dessorção/dissolução apresentam a mesma dificuldade, mas não há um termo comparável para esses processos. Então, nesse trabalho foi usado o termo dessorção para representar ambas reações de troca e dissolução que envolvem dessorção/dissolução.

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### ▪ Caracterização do solo

Os três primeiros experimentos foram instalados em ambiente de cultivo protegido sem controle de temperatura, junto ao prédio do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), UNESP, Campus de Botucatu.

Nos cinco experimentos foi utilizada uma porção de solo agrícola coletada de 0 a 20 cm de profundidade de um LATOSSOLO VERMELHO escuro (CARVALHO et al., 1983), de textura média, coletado na unidade Patrulha, Fazenda Experimental Lageado, em Botucatu – SP. As características desse solo se assemelham ao denominado LATOSSOLO VERMELHO distrófico na classificação da EMBRAPA (1999). A porção de solo coletada para montagem do experimento foi seca ao ar e passada em peneira de 4mm. Em seguida, foram coletadas amostras, de maneira aleatória, que foram encaminhadas para caracterização de atributos químicos do solo. Os resultados da análise química do solo antes da instalação do experimento foi realizada no Laboratório de Fertilidade

do Solo da FCA, do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da FCA/UNESP - Botucatu, de acordo com a metodologia de análises descrita por Rajj et al. (2001) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resultados da análise química da porção de solo coletada para realização do experimento antes da correção da acidez. FCA, Botucatu, 2010.

pH	M.O. CaCl <sub>2</sub> g dm <sup>-3</sup>	P <sub>resina</sub> mg dm <sup>-3</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V (%)	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
			-----mmolc dm <sup>-3</sup> -----								-----mg dm <sup>-3</sup> -----				
4,2	26	2	72	0,5	3	1	5	77	6	0,35	0,6	62	0,5	0,2	1,9

### 5.1 EXPERIMENTO 1: Corretivos de acidez e fontes de P ao longo do tempo.

Conduzido para verificar a influência dos corretivos de acidez e das fontes de fósforos nos atributos químicos do solo ao longo do tempo.

#### 5.1.1 Tratamentos e delineamento experimental

As unidades experimentais foram sacos de plástico com capacidade para 2 litros, preenchidos com 0,5 kg de solo. O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema fatorial 2x5, com dois corretivos de acidez (calcário dolomítico e escória de aciaria); cinco tratamentos, sendo uma testemunha absoluta (sem NPK), uma testemunha relativa (sem fósforo) e três fontes de fósforo (superfosfato triplo – ST, termofosfato – TM e fosfato natural reativo – FNR); com quatro repetições.

#### 5.1.2 Instalação e condução do experimento

Primeiramente fez-se a correção da acidez dos solos com o uso dos respectivos corretivos de acidez: calcário dolomítico e escória de aciaria. O método de cálculo foi o de saturação em base (RAIJ *et al.*, 1996), elevando-a no solo utilizado a 60%, baseado na Tabela 1.

Os resultados da análise química dos corretivos, realizada no Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da FCA/UNESP - Botucatu, foram

apresentados na Tabela 2. Após a correção, o solo foi colocado nos sacos de plástico e mantido incubado em 60% de volume total de poros.

**Tabela 2.** Análise química do calcário dolomítico e escória de aciaria. FCA, Botucatu, 2010.

Corretivos	PRNT	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	S
	%		g kg <sup>-1</sup> ( <sup>**</sup> )			
Calcário dolomítico	96	nd	0,60	222,50	124,00	18,00
Escória de aciaria	52	nd	0,80	277,50	16,20	16,00

Corretivos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si <sup>(*)</sup>
	mg kg <sup>-1</sup> ( <sup>**</sup> )					%
Calcário dolomítico	900	60	1050	90	110	9,7
Escória de aciaria	1000	70	238000	24700	140	14,2

(\*)Si= silício total seguindo a metodologia de Korndorfer et al., 2004.

(\*\*) Teores solúveis em Ácido Clorídrico 1+1.

Após 30 dias o solo foi seco ao ar livre, amostrado e recebeu a adubação correspondente aos tratamentos: 1) Testemunha = não recebeu adubação; 2) Testemunha relativa = Adubação NK; 3) Superfostado Triplo = Adubação NK + ST; 4) Termofosfato = Adubação NK + TM e 5) Fosfato natural reativo = Adubação NK + FNR. Sendo que foi aplicado 70 mg de N e 100 mg de K dm<sup>-3</sup> de solo, utilizando como fontes sulfato de amônio e cloreto de potássio respectivamente. A quantidade de fósforo fornecida por cada fonte foi de 300 mg de P dm<sup>-3</sup> de solo. As fontes de fósforo apresentam as seguintes constituições:

Superfosfato triplo Fertipar: 41% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em citrato de amônio (CNA) + água, 36% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em água e 10% de cálcio.

Termofosfatos Yoorin Master: 16% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100, 17,5 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, 18% de cálcio, 7% de magnésio, 0,1 % de boro, 0,05 % de cobre, 0,15 de manganês, 0,55 de zinco e 10% de Si.

Fosfato Natural Reativo Djbel Onk – Argélia: 9% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100, 29% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total e 35% de cálcio.

Como comentado anteriormente, a quantidade dos corretivos de acidez foram calculados para elevar V% a 60, sendo 2,17g de calcário dolomítico e 4,00g de escória de aciaria e as fontes de P foram calculadas para fornecer 300 mg de P dm<sup>-3</sup> de solo, sendo 1,68g de ST; 3,93g de TM; 2,37g de FNR por dm<sup>3</sup> de solo. A quantidade de nutrientes fornecida pelos produtos aplicados nas doses citadas encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3.** Nutrientes aplicados no solo nas respectivas doses dos corretivos e fontes fosfatadas, calculados segundo o resultado de análise do Laboratório de Fertilizantes e Corretivos da FCA – Unesp, Botucatu.

Macronutrientes e Silício (mg aplicada por dm <sup>3</sup> de solo)						
	Ca	Mg	P	K	S	Si
Calcário dolomítico	482,83	214,70	0,00	1,30	39,06	197,00
Escória de aciaria	1110,00	147,16	0,00	3,20	64,00	568,00
ST	243,60	0,50	300,00	1,34	26,88	-
TM	683,82	100,22	300,00	5,11	47,16	393,00
FNR	934,97	0,71	300,00	3,32	37,92	-
Micronutrientes (mg aplicada por dm <sup>3</sup> de solo)						
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Calcário dolomítico	1,95	0,13	2,28	0,20	0,24	
Escória de aciaria	4,00	0,28	952,00	98,80	0,56	
ST	0,50	0,27	25,54	1,13	0,35	
TM	5,90	2,28	381,21	12,18	12,18	
FNR	2,13	0,17	7,35	0,09	0,52	

### 5.1.3 Parâmetros avaliados

Cada unidade experimental foi desmontada de acordo com seu respectivo intervalo de amostragem, que correspondeu aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após incubação. Em seguida o solo foi seco ao ar e levado para Laboratório de Fertilidade do Solo, Departamento de Solos e Recursos Ambientais, FCA/UNESP – Botucatu, onde a análise com os atributos químicos, macro e micronutrientes foram determinadas de acordo com a metodologia de Raij et al. (2001) e Si pela metodologia de Korndörfer et al., (2004). Também foram enviadas amostras de solo para análises de sorção, dessorção e extração de P com ânions orgânicos para o Laboratório do Centro de Pesquisa do Norte da Flórida (NFREC), Quincy, FL, EUA, descritas nos EXPERIMENTOS 4 e 5. Lembrando que a primeira amostragem (0 dia), corresponde ao solo no dia da coleta antes da aplicação do corretivo, ou seja, a testemunha absoluta (sem corretivo de acidez e adubação) e a segunda amostragem (30 dias) foi feita antes da adubação, tendo somente a diferença entre os corretivos de acidez.

#### Análise estatística:

Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de média (Tukey) para os fatores qualitativos (corretivos de acidez e adubação) e regressão para os fatores quantitativos (épocas de amostragem), adotando-se como critério para escolha do modelo das equações (linear ou quadrática), a interação pelo teste F, significativo a 5% e magnitude dos coeficientes de determinação (BANZATO; KRONKA, 1989). Utilizou-se o programa SISVAR 4.2 (FERREIRA, 2003) para auxílio das análises estatísticas.

## 5.2 EXPERIMENTO 2: Amendoim – corretivos de acidez x fontes de P

Teve como objetivo verificar os atributos químicos do solo na presença de plantas de amendoim, o desenvolvimento, a nutrição e a produção da cultura devido à aplicação dos diferentes corretivos e fontes de fósforo.

### 5.2.1 Tratamentos e delineamento experimental

As unidades experimentais foram vasos de plástico com capacidade e preenchimento de 20 litros. O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema fatorial 2x7 com dois corretivos de acidez (calcário dolomítico e escória de aciaria) e sete tratamentos, sendo um a testemunha relativa (sem fósforo) e os demais constituídos de diferentes fontes de fósforo e de micronutrientes adicionados a estas fontes (ST; TM; FNR; ST+micro; TM+micro; FNR+micro), com quatro repetições.

### 5.2.2 Instalação e condução do experimento

Primeiramente foi feita a correção da acidez dos solos com o uso dos respectivos corretivos de cada tratamento (calcário dolomítico e escória de aciaria). Foi utilizado o método de cálculo de saturação em base (RAIJ *et al.*, 1996), elevando-a para 60%, baseado na Tabela 1. Após a correção, o solo foi colocado nos vasos de plásticos e manteve-se a umidade do solo a 60% do volume total de poros.

Após 30 dias o solo foi seco ao ar livre e recebeu a adubação correspondente ao tratamento: 1) Testemunha relativa = Adubação NK; 2) Superfostado Triplo = Adubação NK + ST; 3) Termofosfato = Adubação NK + TM; 4) Fosfato Natural = Adubação NK + FNR, e mais três tratamentos tendo os micronutrientes adicionados a estas fontes (ST+micro; TM+micro; FNR+micro), com quatro repetições. Foi aplicado 70 mg de N e 100 mg de K  $\text{dm}^{-3}$  de solo, utilizando como fontes sulfato de amônio e cloreto de potássio respectivamente. E a quantidade de fósforo foi fornecida pelas mesmas fontes do Experimento 1 (ST, TM e FNR) mantendo a dose de 300mg de P  $\text{dm}^{-3}$  de solo.

Dois dias após a adubação foram semeadas 10 sementes de amendoim cultivar IAC TATU em cada vaso. Dez dias após a emergência foi feito o desbaste para cinco plântulas por vaso e os micronutrientes foram fornecidos, aos tratamentos devidos, na forma de solução nutritiva (SARRUGE, 1970) aplicando em cada vaso o equivalente a 0,04 mg de cloreto de cobre, 1,86 mg de ácido bórico, 1,81g de cloreto de manganês, 0,25 mg de sulfato de zinco e 0,02 mg de ácido molíbdico.

### **5.2.3 Parâmetros avaliados na planta**

#### **➤ Características morfológicas e produção de massa seca nas plantas**

O amendoim foi colhido 147 dias após a emergência (DAE). Antes do arranquio, foram determinadas as características morfológicas:

##### **- Altura das plantas (cm)**

Foi considerada a distância entre o nível do solo e a extremidade mais alta da planta, sem ser esticada, utilizando-se fita métrica graduada em milímetros. Foi utilizado o valor médio das cinco plantas no vaso.

##### **- Diâmetro do caule (mm)**

A medição foi feita a 5 cm de distância da superfície do solo utilizando paquímetro digital. Foi utilizado o valor médio das cinco plantas no vaso.

Após o arranquio, as plantas foram deixadas secando ao ar livre no vaso por 1 dia. Os frutos (vagens e grãos) foram então colhidos e as plantas divididas em parte aérea (folhas e caule) e raiz.

A produção de massa seca e os componentes de produção foram avaliados como segue abaixo:

##### **- Massa seca (MS) da parte aérea (g)**

Colmo e folhas (parte aérea) foram colocados em sacos de papel, secos em estufa a 65 °C até atingirem peso constante, obtendo-se a massa seca da parte aérea por vaso, ou seja, de cinco plantas.

**- Massa seca da raiz (g)**

As raízes das cinco plantas foram colocados em sacos de papel, secas em estufa a 65 °C até atingirem peso constante, obtendo-se a massa seca de raiz por vaso, ou seja, de cinco plantas. Lembrando que após o arranquio, o solo foi retirado do vaso e peneirado para retirada das raízes restantes, adicionadas nos respectivos sacos de papel.

**- Massa seca dos frutos (g)**

Os frutos (vagens e grãos) foram secos em estufa a 65 °C até atingirem peso constante e pesados, obtendo-se a massa seca dos frutos por vaso.

**- Número de grãos por vaso**

Após secos, os frutos foram abertos manualmente e o número de grãos por vaso foram contados.

**- Massa seca dos grãos (g)**

Depois de contados, os grãos foram novamente para a estufa a 65 °C até atingirem peso constante e pesados, obtendo-se a massa seca dos grãos por vaso (g).

**➤ Análise química e acúmulo de nutrientes na parte aérea**

Após obter a massa seca da parte aérea, as amostras foram processadas em moinho e analisadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da FCA/UNESP - Botucatu, para determinação dos teores de macro, micronutriente e silício. O N foi analisado pelo método Kjeldahl, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn e Zn através da digestão nitroperclórica e determinados no extrato: P por colorimetria; S por turbidimetria; K, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica; e o B por incineração e determinação calorimétrica pelo método da azometina H (MALAVOLTA et al., 1997). O Si foi analisado pelo método de Korndörfer et al. (2004).

Com a massa seca e o teor de nutrientes da parte aérea, foi calculado o acúmulo nutricional na parte aérea do amendoim. Com a massa seca e o teor dos grãos calculou-se o acúmulo nutricional dos grãos. Com os valores obtidos, calculou-se o índice de eficiência agrônômica (IEA) no acúmulo de P na parte aérea e no acúmulo de P nos grãos



como proposto por Chien et al. (1990), ou seja, o IEA foi calculado pela relação percentual entre o acúmulo de P propiciado pelas fontes de P, aplicadas na mesma dose, subtraindo-se de ambas o acúmulo de P do tratamento sem adição de P, sendo calculada da seguinte fórmula:

$$\text{IEA}\% = (Y2 - Y1) / (Y3 - Y1) \times 100$$

Onde: Y1 – Acúmulo de P da testemunha ( sem P);

Y2 – Acúmulo de P da fonte testada (TM, TM+M, FNR, FNR+M) na dose padrão de fósforo de 300 mg de P dm<sup>-3</sup> de solo.

Y3 – Acúmulo de P a fonte de referência (ST para as fontes testadas que não receberam micronutrientes ou ST+M para fontes testadas que receberam micronutrientes) na mesma dose de 300 mg de P dm<sup>-3</sup> de solo.

#### ➤ **Análise química e acúmulo de nutrientes nos grãos**

Após obter a massa seca dos grãos, uma porção das amostras foi macerada, seca e analisada no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da FCA/UNESP - Botucatu, para determinação dos teores de macro, micronutriente e silício utilizando as mesmas metodologias citadas na análise química da parte aérea. Com a massa seca dos grãos e o teor de nutrientes, foi calculado o acúmulo nutricional nos grãos de amendoim. O IEA para o acúmulo de P nos grãos foi calculado como descrito na parte aérea.

#### **5.2.4 Parâmetros avaliados no solo**

Após a colheita das plantas (184\* dias após a adição dos corretivos de acidez) foram coletadas amostras do solo (Figuras 2A e 2B) para análises químicas no Laboratório de Fertilidade do Solo da FCA, do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da FCA/UNESP - Botucatu, de acordo com a metodologia de análises descrita por Raij et al. (2001) e Korndorfer et al. (2004).

*\*184 dias = 37 dias da aplicação do corretivo até a emergência (adubação após 30 dias incubado com respectivos corretivos; semeadura 2 após a adubação e a emergência 5 dias da semeadura) mais 147 dias da emergência até a colheita.*

Também foram enviadas amostras de solo para análises de sorção, dessorção e extração de P com ânions orgânicos no Laboratório da Universidade da Flórida, descritas no EXPERIMENTO 4.

#### **Análise estatística:**

Os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F) e quando houve diferença significativa, as variáveis qualitativas tiveram suas médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade com o auxílio do programa SISVAR 4.2 (FERREIRA, 2003).

### **5.3 EXPERIMENTO 3: Capim marandu – corretivos de acidez x fontes de P**

Teve como objetivo verificar a nutrição, a produção de matéria seca da forragem e os atributos químicos do solo após o cultivo de plantas de capim marandu, sob aplicação dos diferentes corretivos e fontes de fósforo.

#### **5.3.1 Tratamentos e delineamento experimental**

As unidades experimentais foram vasos de plásticos com capacidade e preenchimento de 20L. O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema fatorial 2x7 com dois corretivos de acidez (calcário dolomítico e escória de aciaria) e sete tratamentos, sendo a testemunha relativa (sem fósforo) e os demais constituídos de diferentes fontes de fósforo e de micronutrientes adicionados a estas fontes (ST; TM; FNR; ST+micro; TM+micro; FNR+micro), com quatro repetições.

#### **5.3.2 Instalação e condução do experimento**

A correção da acidez do solo e a adubação foram feitas como descrita no EXPERIMENTO 2 (item 5.2.2).

Dois dias após a adubação foram semeadas manualmente duas linhas com aproximadamente 80 sementes de *Brachiaria Brizantha* cv. Marandu (40 sementes em cada linha). Dez dias após a emergência foi feito o desbaste para vinte plântulas por vaso (10

plantas em cada linha) e os micronutrientes foram aplicados como descrito no EXPERIMENTO 2 (item 5.2.2).

Foram feitas duas adubações de cobertura, sendo uma aplicação aos 32 dias após a emergência (DAE) de 40 mg/dm<sup>3</sup> de N (sulfato de amônio) e outra aplicação aos 49 DAE de 30 mg/dm<sup>3</sup> de K, utilizando cloreto de potássio como fonte.

### **5.3.3 Parâmetros avaliados na planta**

#### **- Massa seca (MS) da parte aérea (g)**

Foram realizadas quatro coletas da parte aérea da gramínea, sendo o primeiro corte efetuado aos 40 dias após a emergência (47 dias após a aplicação das fontes de fósforo) em junho de 2010. O segundo corte, realizado aos 40 dias após o primeiro corte em julho de 2010, o terceiro, aos 40 dias após o segundo, em setembro de 2010 e o quarto, aos 40 dias do terceiro, em outubro de 2010. As amostras da massa de forragem foram obtidas em cortes realizados a uma altura de 5 cm acima da superfície do solo, sendo que, em cada vaso a massa das 20 plantas foram agrupadas em uma só amostra. O material coletado foi acondicionado em sacos de papel e levado à estufa a 65° C até atingir peso constante para determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA).

#### **- Índice de eficiência agrônômica (IEA %)**

Descrito na metodologia do Experimento 2, na análise química e acúmulo de nutrientes na parte aérea.

#### **➤ Análise química e acúmulo de nutrientes na parte aérea**

Após obter a massa seca da parte aérea, as amostras foram processadas em moinho e analisadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da FCA/UNESP - Botucatu, para determinação dos teores de macro, micronutrientes e Si. O N foi analisado pelo método Kjeldahl, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn e Zn através da digestão nitroperclórica e determinados no extrato: P por colorimetria; S por turbidimetria; K, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica; e o B por incineração e determinação calorimétrica pelo método de azometina H (MALAVOLTA et al., 1997). O Si foi analisado pelo método

amarelo (KORNDÖRFER et al. 2004). Com a massa seca da parte aérea e o teor de nutrientes, foi calculado o acúmulo nutricional na parte aérea do capim em cada corte.

#### **5.3.4 Parâmetros avaliados no solo**

Após o 3º corte do capim (157\*\* dias após a adição dos corretivos de acidez), foram coletadas amostras do solo para análises químicas no Laboratório de Fertilidade do Solo da FCA, do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da FCA/UNESP - Botucatu, de acordo com a metodologia de análises descrita por Rajj et al. (2001) e Korndörfer et al. (2004). Também foram enviadas amostras de solo para análises de sorção e dessorção de P no Laboratório da Universidade da Flórida, descritas no EXPERIMENTOS 4.

*157 dias\*\* = 37 dias da aplicação do corretivo até a emergência (adubação após 30 dias incubado com respectivos corretivos; semeadura 2 após a adubação e a emergência 5 dias da semeadura) mais 40 dias da emergência até 1º corte, mais 40 dias do 1º para o 2º corte e finalmente mais 40 dias do 2º ao 3º corte.*

#### **Análise estatística:**

Os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F) e quando houve diferença significativa, as variáveis qualitativas tiveram suas médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, com o auxílio do programa SISVAR 4.2 (FERREIRA, 2003).

### **5.4 EXPERIMENTO 4: Sorção e Dessorção de P**

Teve como objetivo analisar a cinética e as reações de sorção e de dessorção de P nos tratamentos. Nesse experimento foram utilizados solos dos 3 experimentos anteriores, sendo: Experimento 1: 150 dias após incubação ( sem Planta); Experimento 2: 184 dias após a aplicação dos corretivos de acidez (após colheita do amendoim) e Experimento 3: 157 dias após a aplicação dos corretivos de acidez (após o 3º corte do capim).

As amostras de solo foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2 mm de abertura, homogeneizadas, embaladas em sacos de polietileno, retirando-se o ar em excesso e enviadas para ao Laboratório do Centro de Pesquisa e Educação do Norte da Flórida,

Universidade da Florida em Quincy (NFREC, UF – North Florida Research and Education Center, University of Florida).

#### **5.4.1 Cinética de sorção de P**

Foram analisados sete tratamentos ( $2 \times 3 + 1$ ), sendo dois corretivos de acidez (calcário e escória de aciaria); três solos como testemunha relativa (sem adição de P): cultivados sem Planta, com amendoim, e com capim marandu e; um tratamento adicional com o solo natural (sem Planta, sem adição de corretivos e adubação), com quatro repetições (Anexo 1).

Após pesar 1g de solo em 280 tubos de centrífuga (7 tratamentos x 10 tempos de agitação x 4 repetições), foram adicionadas 10ml da solução de 0,05 M KCl com 30 mg P  $\text{L}^{-1}$  como  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , o equivalente a 300 mg P  $\text{kg}^{-1}$  de solo foram adicionados em cada tubo. Brancos em duplicadas com 10 ml de 0,05M KCl sem solo e sem P foram incluídos em cada tempo de agitação. Os tubos foram agitados horizontalmente por 0,1; 0,5; 1,0; 3,0; 6,0; 12; 24; 48; 72 e 96 horas; e centrifugados por 15 minutos a 2500 rpm. O sobrenadante foi filtrado em filtro de papel Whatman nº 5 e medido o P solúvel reativo pelo método de Murphy e Riley (1962), o qual foi utilizado para todas as determinações de P nos Experimentos 4 e 5. O P solúvel reativo medido por este método foi operacionalmente definido como P inorgânico. O P sorvido foi calculado baseado na diferença entre a concentração da solução inicial adicionada e a concentração final no filtrado.

#### **5.4.2 Isotermas da sorção de P**

Foram analisados os mesmos sete tratamentos usados no experimento 5.4.1. Após pesar 1g de solo em 280 tubos de centrífuga (7 tratamentos x 10 concentrações de P x 4 repetições), foram adicionadas 10ml da solução de 0,05M KCl com 0, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40 e 50 mg P  $\text{L}^{-1}$  como  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (o equivalente a 0, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300, 400 e 500 mg P  $\text{Kg}^{-1}$  de solo) em cada tubo (Anexo 1). Brancos em triplicatas com 10 ml de 0,05M KCl sem solo e sem P foram incluídos. Os tubos foram agitados horizontalmente por 72 horas (tempo definido em 5.4.1); e centrifugados por 15 minutos a 2500 rpm.

O sobrenadante foi filtrado em filtro de papel Whatman nº 5 e medido o P solúvel reativo pelo método de Murphy e Riley (1962). O P sorvido foi calculado pela diferença entre a concentração de solução inicial adicionada e a concentração final no filtrado.

A equação de Langmuir foi ajustada para os dados das isotermas de sorção de P usando as seguintes formas da equação:

$$C_s = \frac{K b C_l}{1 + K C_l}$$

onde  $C_s$  é a quantidade de P sorvido na fase sólida pela unidade de massa de solo em  $\mu\text{g P g}^{-1}$  de solo;  $C_l$  é a concentração de equilíbrio de P em  $\mu\text{g P mL}^{-1}$ ;  $K$  é o índice de afinidade expressa em  $\text{mL } \mu\text{g}^{-1}$  de P; e  $b$  é a sorção máxima em unidade de  $\mu\text{g P g}^{-1}$  de solo. Ambos  $K$  e  $b$  são constantes empíricas que podem ser calculadas da forma linear de equações plotadas entre  $C_l/C_s$  e  $C_l$ :

$$\frac{C_l}{C_s} = \frac{C_l}{b} + \frac{1}{Kb}$$

Onde  $1/b$  e  $1/Kb$  são declividade e intercepção da equação linear, respectivamente.

#### 5.4.3 Cinética de dessorção P usando membrana de troca aniônica (AEM)

Foram analisados nove tratamentos (2x4+1), sendo dois corretivos de acidez (calcário dolomítico e escória de aciaria); quatro tratamentos de P: testemunha relativa (sem P), fonte ST, fonte TM e fonte FNR; com um tratamento adicional do solo natural (testemunha absoluta), com três repetições (Anexo 2).

Foi pesada 1g de solo em 189 tubos de centrífuga (9 tratamentos x 7 tempos de agitação x 3 repetições) e o peso inicial de cada tubo + solo foi registrado. Então 10 ml de solução de 0,05 M KCl contendo 30 mg P  $\Gamma^{-1}$  como  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  foi adicionado (o equivalente a 300 mg P  $\text{Kg}^{-1}$  de solo), e o peso total inicial de cada tubo + solo + solução foi registrado. Três repetições de brancos com 10 ml de solução de 0,05 M KCl, sem solo e sem P foram incluídas em cada tempo de agitação. Os tubos foram agitados horizontalmente por 72 horas (tempo de equilíbrio definido em 5.4.1) e centrifugados por 15 minutos a 2500 rpm. O sobrenadante foi filtrado em filtro de papel Whatman nº 5 e o P no filtrado foi determinado. O

P sorvido na fase sólida foi calculado baseado pela diferença entre a concentração de solução inicial prévia ou adicionada de P e a concentração de P no filtrado (Cl).

Depois de decantar o sobrenadante, o peso de cada tubo + solo foi registrado e cada tubo foi completado com solução de 0,05M KCl até o peso inicial de tubo + solo + solução. As tiras de AEM (1,50 cm × 5,00 cm; Tipo AR204-SZRA-412, Ionics Inc., Watertown, MA) foram preparadas anteriormente para o uso sendo encharcadas por 12 horas em 3 M KCl em volume suficiente para fornecer uma concentração de ânion no mínimo 5 vezes maior que o total da capacidade de troca aniônica das tiras. Depois de enxaguar com água bidestilada, uma tira foi inserida em cada tubo. Os tubos foram agitados com três repetições por 0,5; 1; 3; 4; 7; 24 e 48 h. Cada tira de AEM foi cuidadosamente removida dos tubos evitando remover as partículas de solo; foram enxaguadas com água bidestilada e colocadas em outro tubo de centrífuga preenchido com 15 ml de 1 M KCl. Este tubo foi agitado por 30 minutos e a solução foi filtrada por filtro de papel Whatman n° 5. O fósforo neste filtrado foi determinado por Murphy e Riley (1962).

#### **5.4.4 Isotermas de dessorção de P**

##### **a. Definição do número de tiras de AEMs (Experimento prévio)**

Para definir o número de tiras de AEMs a ser utilizado para a isotermas, foi pesada 1g de solo da testemunha absoluta (sem corretivos e sem adubação) em 30 tubos de centrífuga (10 conjuntos de tiras de AEMs x 3 repetições) e a sorção de P foi analisada como descrita no 2º parágrafo do item 5.4.3.

Depois de decantar o sobrenadante, o peso de cada tubo + solo foi registrado e cada tubo foi completado com solução de 0,05 M KCl até o peso inicial de tubo + solo + solução. As tiras das AEMs pré preparadas como descrito anteriormente, foram enxaguadas com água bidestilada e inseridas nas respectivas quantidades (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ou 10) em cada tubo com três repetições.

Os tubos foram agitados por 7 horas como definido na etapa 5.4.3. As tiras foram removidas dos tubos, enxaguadas com água bidestilada e inseridas em outros 30 tubos preenchidos com 15 ml de 3 M KCl para tubos com 1, 2 e 3 tiras; com 25 ml para tubos

com 4, 5 e 6 tiras; 30 ml para tubos com 7 e 8 tiras; e 40 ml para tubos com 9 e 10 tiras. Estes tubos foram agitados por 30 minutos e a solução foi filtrada por filtro de papel Whatman nº 5. O fósforo neste filtrado foi determinado por Murphy e Riley (1962).

#### **b. Isotermas de dessorção de P usando Método de Múltiplas AEMs**

Foram analisados nove tratamentos ( $2 \times 4 + 1$ ), sendo dois corretivos de acidez (calcário dolomítico e escória de aciaria); quatro tratamentos de P: testemunha relativa (sem P), fonte ST, fonte TM e fonte FNR; com um tratamento adicional do solo natural (testemunha absoluta), com três repetições (Anexo 3).

A primeira etapa foi pesar 1g de solo em 189 tubos de centrífuga (9 tratamentos x 7 conjuntos de AEM x 3 repetições) e o peso inicial de cada tubo + solo foi registrado. Então 10 ml de solução de 0,05 M KCl contendo 30 mg P  $\Gamma^{-1}$  como  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  foram adicionadas (o equivalente a 300 mg P  $\text{Kg}^{-1}$  de solo), e o peso total inicial de cada tubo + solo + solução foi registrado. Três repetições de brancos com 10 ml de solução de 0,05 M KCl, sem solo e sem P também foram incluídas. Os tubos foram agitados horizontalmente por 72 horas (tempo definido em 5.4.1) e centrifugados por 15 minutos a 2500 rpm. O sobrenadante foi filtrado em filtro de papel Whatman No 5 e o P no filtrado foi determinado ( $C_s$ ). O P sorvido na fase sólida foi calculado baseado pela diferença entre a concentração de solução inicial prévia ou adicionada de P e a concentração de P no filtrado ( $C_l$ ).

Depois de decantar o sobrenadante, o peso de cada tubo + solo foi registrado e cada tubo foi completado com solução de 0,05 M KCl até o peso inicial de tubo + solo + solução. As tiras de AEM previamente preparadas foram enxaguadas com água bidestilada e em conjuntos de 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 tiras (número definido em experimento prévio) foram inseridas nos respectivos tubos, com três repetições.

Os tubos foram agitados por 7 horas, exceto o tratamento apenas com calcário que os tubos foram agitados por 4 horas, como definido na etapa 5.4.3. As tiras foram removidas dos tubos, enxaguadas com água bidestilada e inseridas em outros 6 conjuntos de tubos, com três repetições, preenchidos com 15ml de 3M KCl para tubos com 1, 2 e 3 tiras; com 25 ml para tubos com 4, 5 e 6 tiras; e 30 ml para tubos com 7 tiras. Esses tubos foram



agitados por 30 minutos e a solução foi filtrada por filtro de papel Whatman No 5. O fósforo neste filtrado (Cs) foi determinado por Murphy e Riley (1962).

Os tubos originais com solos e a solução, que foram agitados com as membranas, foram agitados por 72 horas, centrifugado por 15 minutos a 2500 rpm. O sobrenadante foi filtrado por filtro de papel Whatman nº 5 e o fósforo neste filtrado foi determinado. O P sorvido na fase sólida foi calculado baseado pela diferença entre a concentração de solução inicial prévia ou adicionada de P e a concentração de P no filtrado (Cl). Depois de decantar o sobrenadante, o peso de cada tubo + solo foi registrado para calcular o residual.

A primeira etapa deste procedimento foi designado para reduzir o P dessorvido (desorbable) na fase sólida usando as AEM. A etapa de equilíbrio foi requerida para desenvolver isoterma de dessorção, porque o solo deve entrar em equilíbrio ou quase equilíbrio para mensurar a concentração de equilíbrio da solução.

#### **Análise estatística:**

Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de média (Tukey) para os fatores qualitativos (tratamentos) e regressão para os fatores quantitativos (tempo de agitação, concentração, número de AEMs), adotando-se como critério para escolha do modelo das equações (linear, quadrática, logarítmica), a interação pelo teste F, significativo a 5% e magnitude dos coeficientes de determinação (BANZATO; KRONKA, 1989). Utilizou-se o programa SISVAR 4.2 (FERREIRA, 2003) para auxílio das análises estatísticas.

### **5.5 EXPERIMENTO 5: Ânion orgânico e dessorção de P**

Foi realizado com os seguintes objetivos: (i) mensurar P dessorvido pela ação de ânions orgânicos e (ii) determinar se é possível separar os P dessorvidos através das reações de troca de ligantes, dos dessorvidos pela dissolução do fósforo adicionado.

Os experimentos com ânions orgânicos foram analisados nos tratamentos sem Planta, com solos provenientes do Experimento 1. As amostras de solo foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2mm de abertura, homogeneizadas, embaladas em sacos de polietileno, retirando-se o ar em excesso e enviadas para ao Laboratório do Centro de

Pesquisa e Educação do Norte da Flórida, Universidade da Florida em Quincy (NFREC, UF – North Florida Research and Education Center, University of Florida). A metodologia utilizada foi de Sato e Comeford (2006b) com adaptações.

### **5.5.1 Padrão temporal para a extração por ânion orgânico do P dessorvido**

A premissa do Experimento 5 foi que uma simples extração usando a combinação de tempos de reação (5.5.1) e doses de oxalato (5.5.2) poderia ser usada para extrair quantitativamente a reserva biodisponível de P às plantas. Pela formação de complexos com metais na superfície do solo, ânions orgânicos promovem a desestabilização da superfície e conseqüentemente a dissolução do metal complexado (ZINDER et al., 1986; LUDWIG et al., 1996), resultando na liberação de P na solução (JONES et al., 1996). A interpretação do P dessorvido foi baseado no Fe liberado.

Para mensurar o P dessorvido pela ação de ânions orgânicos foi necessário primeiramente identificar o padrão temporal de liberação deste P e selecionar o tempo mais eficiente para extração de P.

Foram analisados três tratamentos sendo duas testemunhas relativas (sem adição de P) tendo o calcário e a escória como corretivos de acidez do solo; e uma testemunha absoluta com solo natural (sem adição de corretivos e adubação).

O fósforo foi sorvido em amostras de solo em triplicatas, adicionando 1 g de solo e 10 ml de 50 mmol l<sup>-1</sup> KCl contendo P como KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> nas doses de 0 e 9,689 µmol P g<sup>-1</sup> de solo, que correspondem a 0 e 300 mg P kg<sup>-1</sup> de solo. Os tubos foram agitados por 48 horas baseado nos resultados do Experimento 4 (como não foi utilizado o tratamento escória após amendoim, no qual o tempo ótimo foi de 72 horas, foram utilizadas as 48 horas que já estabilizavam o tempo de sorção de P no solo para os demais tratamentos, ver Anexo 12), centrifugados por 15 minutos e o sobrenadante foi filtrado através de filtro de papel Whatman nº5. O P filtrado foi determinado pelo método de Murphy e Riley (1962). O P adsorvido foi calculado pela diferença entre o P adicionado inicialmente e o P remanescente no filtrado. Antes dos ânions orgânicos serem adicionados, a solução de oxalato, como oxalato de amônio, foi ajustada para um pH inicial de 4,0 com HCl, porque é a faixa de pH que provoca maior dessorção de P do solo (GEELHOED et al., 1998). O P sorvido foi então extraído adicionando

10 ml da solução de oxalato com 20  $\mu\text{mol}$  de ânion  $\text{g}^{-1}$  de solo em cada tubo com o solo. A definição dos tempos de agitação com oxalato foi baseado nos resultados de Sato e Comerford (2006b) onde 80% do P liberado de solo nativo e fertilizado ocorreu após 1 hora (60 minutos) de agitação e o nível máximo foi estabilizado próximo às 6 horas (360 minutos). Sendo assim, os tubos foram agitados pelos tempos 5, 10, 60, 180, 360 e 600 minutos, centrifugados por 15 minutos e o sobrenadante foi filtrado através de filtro de papel Whatman nº 5. O P filtrado foi determinado, tendo o cuidado de manter as concentrações de ânions orgânicos abaixo de 2  $\text{mmol l}^{-1}$  para evitar inibição da cor azul do molibdênio (HE et al., 1998). O Fe foi determinado por espectroscopia de absorção atômica.

### **5.5.2 Concentração aniônica ótima para a extração do P dessorvido**

O objetivo deste experimento foi definir a concentração de ânion na qual não há mais liberação de P usando o tempo ótimo de extração de P do item 5.5.1. O fósforo foi sorvido nas mesmas doses (0 e 9,687  $\mu\text{mol P g}^{-1}$  de solo) e então extraído usando ânion orgânico (oxalato) como descrito no experimento 5.5.1 nas concentrações 0, 10, 50, 100 e 250  $\mu\text{mol}$  de ânion  $\text{g}^{-1}$  de solo. O tempo de extração foi de 600 minutos (10 horas) baseado nos resultados do experimento 5.5.1. O P filtrado e o Fe foram determinados como no item 5.5.1.

### **5.5.3 Dez horas de extração com oxalato a baixas concentrações aniônicas em solos com e sem correção de acidez sem adição de fósforo**

O objetivo desta etapa foi determinar se baixas concentrações de ânions, aplicadas em um longo tempo de agitação, a aplicação prévia de diferentes corretivos de acidez influenciaria na extração de P desse solo.

As amostras de solo foram elaborados em triplicatas e o P na dose 0 (zero)  $\mu\text{mol P g}^{-1}$  de solo, foi sorvido e extraído como descrito na etapa 5.5.2 nos mesmos tratamentos (testemunha, calcário e escória), com tempo de extração de 600 minutos (10 horas), mas com o oxalato nas concentrações de 0,01; 0,1; 1 e 10  $\mu\text{mol}$  de ânion  $\text{g}^{-1}$  de solo para a extração de P e Fe. O P filtrado e o Fe foram determinados como no item 5.5.1.

#### **5.5.4 Um minuto de extração com oxalato a baixas concentrações aniônicas em solos com e sem correção de acidez após adição de P**

Os objetivos desta etapa foram determinar se baixas concentrações de ânions, aplicadas em um tempo de agitação muito curto, poderiam diferenciar o P das trocas de ligantes do P da dissolução após adicionar P ao solo; e a aplicação prévia de diferentes corretivos de acidez influenciaria na extração de P nestas baixas concentrações de ânion.

As amostras de solo foram elaborados em triplicatas e o P na dose de  $9,689 \mu\text{mol P g}^{-1}$  de solo, que corresponde a  $300 \text{ mg P kg}^{-1}$  de solo, foi sorvido e extraído como descrito na etapa 5.5.1 nos mesmos tratamentos (testemunha, calcário e escória), mas com 1 minuto de tempo de agitação e com o oxalato nas concentrações de 0,01; 0,1; 1 e  $10 \mu\text{mol de ânion g}^{-1}$  de solo para a extração de P e Fe. O P filtrado e o Fe foram determinados como no item 5.5.1.

##### **Análise estatística:**

Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de média (Tukey) para os fatores qualitativos (tratamentos) e regressão para os fatores quantitativos (tempo de agitação, concentração) adotando-se como critério para escolha do modelo das equações (linear, quadrática, logarítima) a interação pelo teste F, significativo a 5% e magnitude dos coeficientes de determinação (BANZATO; KRONKA, 1989). Utilizou-se o programa SISVAR 4.2 (FERREIRA, 2003) para auxílio das análises estatísticas.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 EXPERIMENTO 1: Corretivos de acidez e fontes de P ao longo do tempo.

Fez-se regressões de todos tempos de incubação (ver gráficos da regressão do tempo 0 (zero) aos 150 dias de incubação no Anexo 5) e avaliou-se a interação dupla corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) nos tempos de incubação após a adubação (60, 90, 120 e 150 dias de incubação). A interação C x F nos tempos 0 e 30 dias de incubação não pode ser verificada porque no tempo 0 (zero) o solo foi analisado antes de ser corrigido e adubado (solo natural) e no tempo 30 o solo foi analisado antes da adição das fontes de adubação. A análise de variância dos atributos químicos, teores nutricionais e Si no solo foram mostrados na Tabela 4.

#### 6.1.1 Atributos químicos, nutrientes e Si no solo.

##### • Interação corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) nos tempos de incubação

Em pelo menos um dos quatro tempos avaliados, houve interação C x F no teor de K, Mg, Si, B, Fe, Mn e Zn (Tabela 4). No teor de P não houve interação em nenhum

dos tempos (Tabela 4), porém como o P é o principal objetivo desse experimento, foi feito o desdobramento para visualização de todos dados. As interações foram desdobradas na Tabela 5 (macronutrientes e Si) e Tabela 6 (micronutrientes).

O solo natural (0 DI) apresentava teor de P igual a 6 mg de P  $\text{dm}^{-3}$  de solo e após 30 DI incubado com calcário o teor de P aumentou para 7 mg de P  $\text{dm}^{-3}$  de solo e com escória, aumentou para 25 mg de P  $\text{dm}^{-3}$ , portanto a diferença entre os corretivos aos 30 DI foi significativa e igual a 18 mg de P  $\text{dm}^{-3}$  de solo (Tabela 5). Neste tempo de incubação (30 dias), não houve diferença entre os corretivos de acidez no pH do solo (Tabela 7). Esses resultados após os 30 dias de incubação corroboram Prado e Fernandes (2001) que observaram que a aplicação de escória de siderurgia incrementou os níveis de P disponível do solo, ao passo que a aplicação de calcário não apresentou uma relação significativa. A razão da eficiência da escória no aumento de P disponível vem sendo debatida ao longo do tempo. O ânion silicato pode ser adsorvido à fase sólida do solo, competindo pelos mesmos sítios de adsorção que o fósforo, impedindo ou dificultando a adsorção deste, ficando disponível em solução (OBIHARA e RUSSEL, 1972). Após alcalinização do solo pelo  $\text{CaSiO}_3$  há formação do  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , o qual se transforma em  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$  e adsorve-se aos óxidos de ferro e alumínio da fração argila, impedindo ou dificultando a adsorção de fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) que, desta maneira, torna-se mais disponível na solução do solo (HINGSTON et al., 1972). Assim, a correção da acidez do solo com silicatos, além de elevar o pH, poderia disponibilizar o P, pelo efeito adicional de deslocar o P adsorvido para a solução (VOLKWEISS e RAIJ, 1976).

Porém, nas demais análises do solo aos 60, 90, 120 e 150 DI, após a adição das adubações (realizada aos 30 DI), exceto no ST após 120 DI no qual o teor de P foi maior aplicando escória, não houve diferença entre os corretivos no teor de P em nenhum dos tratamentos (Tabela 5). Os dados obtidos corroboram Carvalho et al. (2000), que em estudo de competição Si x P, verificaram incremento de baixa magnitude de P em solução devido ao efeito do Si aplicado antes da adubação fosfatada.

Analisando o efeito isolado dos corretivos de acidez, na média das fontes de adubação, o teor de P nos tratamentos com escória foi superior aos com calcário nos tempos 30, 120 e 150 DI com diferença entre os corretivos de 18, 12 e 8 mg de P  $\text{dm}^{-3}$  de solo respectivamente (Tabela 5), indicando uma possível interação Si e P.

**Tabela 4.** Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações nos tempos de incubação (após a adubação) nos atributos químicos e teores de nutrientes do solo. FCA, Botucatu, 2010.

<b>60 dias de incubação</b>															
	pH	Presina	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
Corretivos	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns	*
Acidez (C)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fontes adubação (F)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
C x F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
CV (%)	4	27	21	17	16	13	14	11	6	12	9	12	12	21	13
<b>90 dias de incubação</b>															
	pH	Presina	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
Corretivos	ns	ns	*	*	*	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	*
Acidez (C)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns	*	*	*	*	*
Fontes de adubação (F)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
C x F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	*	*
CV (%)	4	28	14	19	10	12	9	6	5	14	9	11	30	50	5
<b>120 dias de incubação</b>															
	pH	Presina	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
Corretivos	ns	*	ns	*	*	*	*	*	ns	*	*	*	*	ns	*
Acidez (C)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fontes adubação (F)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
C x F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
CV (%)	4	18	16	15	12	15	12	12	6	11	22	9	33	28	5
<b>150 dias de incubação</b>															
	pH	Presina	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
Corretivos	ns	*	ns	*	*	*	*	*	ns	*	ns	*	*	ns	*
Acidez (C)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fontes de adubação (F)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	*	*	*
C x F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	*
CV (%)	4	15	21	13	10	13	10	6	7	15	12	11	15	41	5

\*, ns = Significativo a 5% de probabilidade e não significativo pela análise de variância, respectivamente.

**Tabela 5.** Desdobramento da interação (Cx F) nos teores de P, K, Mg e Si do solo nos tempos 0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após incubação.

(C)	(F)	P (mg dm <sup>-3</sup> )						Mg (mmolc dm <sup>-3</sup> )						R <sup>2</sup> (Q)	
		0	30	60	90	120	150	0	30	60	90	120	150		
Calcário	sem NPK		1 Ab	1 Ac	2 Ac	1 Ac	2 Ac	1 Ac	ns		24	24 Ab	27 Ab	21 Abc	0,88 Q**
	sem P	6	1 Ab	2 Ac	1 Ac	1 Ac	2 Ac	ns		22	26 Ab	25 Ab	20 Abc	0,90 Q**	
	ST		199 Aa	338 Aa	186 Ba	156 Aa	0,71 Q**		1	22	27 Ab	28 Ab	17 Ac	0,93 Q**	
	TM		156 Aa	221 Ab	135 Ab	120 Ab	0,74 Q**			32	34 Aa	44 Aa	32 Aa	0,95 Q**	
	FNR		182 Aa	198 Ab	158 Aab	100 Ab	0,78 Q**		1	22 A	25 A	28 A	22 A	0,91 Q**	
	Média	6	108 A	152 A	96 B	76 B	ns			11	10 Bb	11 Bb	7 Bb	0,50 Q**	
Escória	sem NPK		20 Ab	12 Ac	15 Ac	11 Ac	ns		1	16	12 Bb	19 Bb	8 Bb	0,53 Q**	
	sem P	6	25	224 Aa	340 Aa	223 Aa	164 Aa	0,79 Q**		25	28 Ba	44 Aa	20 Ba	0,80 Q**	
	ST		181 Aa	226 Ab	143 Ab	124 Ab	0,79 Q**		12	11 Bb	17 Bb	8 Bb	0,56 Q**		
	TM		186 Aa	212 Ab	145 Ab	108 Ab	0,80 Q**		1	16 B	14 B	20 B	10 B	0,76 Q**	
	FNR		11 b	8 c	9 c	7 d	ns		1	17 b	18 b	18 c	14 bc	0,78 Q**	
	Média	6	126 A	161 A	108 A	84 A	ns		1	16 b	18 b	18 c	14 bc	0,82 Q**	
Calcário	sem NPK		0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	ns		1,9	1,8 Bb	1,7 Bbc	1,6 Bb	1,9 Bb	ns
	sem P	0,2	3,5	2,8	3,7	2,6 Aa	0,76 Q**		1,9	1,7 Bb	1,5 Bc	1,6 Bb	1,9 Bb	0,72 Q*	
	ST		3,6	3,4	3,7	2,6 Aa	0,79 Q**		1,6	2,3 Bb	2,2 Bb	2,0 Bb	2,5 Bb	ns	
	TM		3,6	2,6	3,2	2,5 Aa	0,72 Q**		1,9	9,8 Ba	9,7 Ba	10,2 Ba	10,4 Ba	0,83 Q**	
	FNR		3,3	3,0	3,1	2,6 Ba	0,79 Q**		1,9	2,0 Bb	1,8 Bbc	1,7 Bb	2,0 Bb	ns	
	Média	0,2	0,2 A	2,8	2,4 B	2,8 B	2,1 B	ns		3,5 B	3,4 B	3,4 B	3,7 B	ns	
Escória	sem NPK		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	ns		4,5 Ad	5,2 Abc	4,8 Ad	5,9 Ab	0,82 Q**	
	sem P	0,2	4,1	3,5	4,0	3,0 Ab	0,77 Q**		1,9	4,6 Acd	5,3 Abc	5,2 Acd	6,2 Ab	0,87 Q**	
	ST		3,4	3,1	4,0	2,7 Ab	0,79 Q**		4,5	5,6 Ab	6,0 Ab	6,1 Ab	6,2 Ab	0,97 Q**	
	TM		3,7	3,3	3,7	2,9 Ab	0,79 Q**		1,9	11,2 Aa	11,4 Aa	12,1 Aa	12,1 Aa	0,94 Q**	
	FNR		4,2	3,6	4,3	3,6 Aa	0,80 Q**		1,9	5,2 Abc	5,2 Ac	5,4 Ac	5,8 Ab	0,90 Q**	
	Média	0,2	0,2 A	3,1	2,7 A	3,2 A	2,5 A	ns		6,2 A	6,6 A	6,7 A	7,2 A	0,80 Q**	
Média	sem NPK		0,1 b	0,2 b	0,2 b	0,2 b	ns		1,9	3,1 b	3,5 c	3,2 c	3,9 c	0,80 Q**	
	sem P	0,2	3,8 a	3,1 a	3,8 a	2,8 a	0,77 Q**		1,9	3,2 b	3,4 c	3,4 c	4,0 bc	0,85 Q**	
	ST		3,5 a	3,2 a	3,8 a	2,6 a	0,79 Q**		1,9	3,9 b	4,1 b	4,0 b	4,3 b	0,96 Q**	
	TM		3,7 a	2,9 a	3,4 a	2,7 a	0,76 Q**		1,9	10,5 a	10,5 a	11,1 a	11,2 a	0,89 Q**	
	FNR		3,7 a	3,3 a	3,7 a	3,1 a	0,80 Q**		1,9	3,6 b	3,5 c	3,5 c	3,9 c	0,89 Q**	

Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre os corretivos de acidez e letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as adubações (Tukey, P<0,05). Significância: \* = P<0,05%, \*\* = P<0,01% e ns = não significativo. Q = equação quadrática, L = equação linear. Gráficos com regressões em Anexo 5.



**Tabela 6.** Desdobramento da interação (CxT) nos teores de B, Fe, Mn e Zn do solo nos tempos 0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após incubação.

(C)	(F)	B (mg dm <sup>-3</sup> )					Mn (mg dm <sup>-3</sup> )					R <sup>2</sup>			
		0	30	60	90	120	150	0	30	60	90		120	150	
Calcário	sem NPK			0,08 Bb	0,14 Bc	0,13	0,16	ns		0,3 Bb	0,2 Ba	0,2 Ba	0,2 Ba	ns	
	sem P			0,09 Bb	0,14 Bc	0,16	0,14	ns		0,4 Bb	0,3 Ba	0,3 Ba	0,3 Ba	ns	
	ST	0,12	0,13	0,09 Bb	0,18 Bb	0,15	0,21	0,67 Q**	0,5	0,4	1,1 Bb	0,7	0,5 Ba	0,6 Ba	ns
	TM			0,13 Ba	0,21 Aa	0,16	0,17	ns		3,0 Ba	1,7	1,5 Ba	1,3 Ba	ns	
	FNR			0,09 Bb	0,16 Bb	0,15	0,12	ns		0,3 Bb	0,6	0,2 Ba	0,2 Ba	ns	
	Média	0,12	0,13 B	0,09 B	0,16 B	0,15 B	0,16 B		0,5	0,4 B	1,0 B	0,7 B	0,5 B	0,5 B	
Escória	sem NPK			0,13 Ab	0,20 Ab	0,20	0,18	0,55 Q**		8,2 Ac	4,8	4,6 Ab	3,0 Ab	0,55 Q**	
	sem P			0,17 Aab	0,26 Aa	0,25	0,20	0,78 Q**		12,8 Ab	7,0	6,8 Aa	3,8 Aab	0,72 Q**	
	ST	0,12	0,17	0,19 Aa	0,26 Aa	0,23	0,23	0,91 Q**	0,5	8,9	7,2	6,7 Aa	4,3 Aa	0,65 Q**	
	TM			0,17 Aab	0,22 Ab	0,20	0,22	0,90 Q**		12,2 Ab	7,1	4,8 Ab	3,0 Ab	0,72 Q**	
	FNR			0,17 Aab	0,23 Aab	0,26	0,22	0,84 Q**		12,7 Ab	5,7	4,9 Ab	3,7 Aab	0,58 Q**	
	Média	0,12	0,17 A	0,16 A	0,24 A	0,23 A	0,21 A		0,5	8,9 A	12,2 A	6,3 A	3,5 A	3,5 A	
Média	sem NPK			0,10 b	0,19	0,17 b	0,17 b	ns		4,2 c	2,6 b	2,4	1,6 c	0,55 Q**	
	sem P			0,13 a	0,20	0,20 a	0,17 b	0,62 Q**		6,6 b	3,6 ab	3,5	2,0 ab	0,71 Q**	
	ST	0,12	0,15	0,14 a	0,22	0,19 ab	0,22 a	0,79 L**	0,5	4,7	8,1 a	3,9 ab	3,6	2,4 a	
	TM			0,15 a	0,22	0,18 ab	0,20 ab	0,74 Q**		7,6 ab	4,4 a	3,1	2,1 ab	0,91 Q**	
	FNR			0,13 a	0,20	0,20 a	0,17 b	0,62 Q**		6,5 b	3,1 ab	2,6	1,9 bc	0,60 Q**	
	Média			0,13 a	0,20	0,20 a	0,17 b								
Calcário	sem NPK			15	16 Bbc	12 Bb	18	0,76 Q**		0,4 Aa	0,3 Ab	0,2	0,4	ns	
	sem P			16	14 Bc	14 Bab	22	0,84 Q**		0,2 Aa	0,4 Ab	0,2	0,4	ns	
	ST	33	14	20 Bab	15 Bab	16	26	0,65 Q**	1,0	0,3	0,2 Aa	0,4 Ab	0,2	0,4	
	TM			21 Aa	16 Aa	21	21	0,54 Q**		11,0 Ab	16,0 Aa	13,3	14,7	0,83 Q**	
	FNR			18 Aab	12 Bb	18	18	0,68 Q**		0,3 Aa	2,4 Ab	0,2	0,6	ns	
	Média	33	14 B	16 B	18 B	14 B	21 B		1,0	0,3	2,4	3,9 A	2,8	3,3	
Escória	sem NPK			20	24 Aab	20 Aa	25	0,76 Q**		0,4 Ab	0,5 Ab	0,3	0,6	ns	
	sem P			20	24 Aab	18 Aab	24	0,75 Q**		0,4 Ab	0,5 Ab	0,3	0,6	ns	
	ST	33	23	28 Aa	20 Aa	28	28	ns	1,0	0,5	0,3 Ab	0,6 Ab	0,4	0,8	
	TM			21 Ab	18 Aab	21	21	0,92 Q**		9,7 Ba	11,6 Ba	13,0	14,6	0,90 Q**	
	FNR			21 Ab	17 Ab	22	22	0,89 Q**		0,4 Ab	0,6 Ab	0,5	0,7	ns	
	Média	33	23 A	21 A	24 A	18 A	24 A		1,0	0,5	2,3	2,8 B	2,9	3,5	
Média	sem NPK			17 b	20 b	16 ab	21 b	0,77 Q**		0,4 b	0,4 b	0,2 b	0,5 b	ns	
	sem P			18 ab	19 b	16 ab	23 b	0,83 Q**		0,3 b	0,4 b	0,3 b	0,5 b	ns	
	ST	33	19	24 a	24 a	17 a	27 a	0,58 Q**	1,0	0,4	0,3 b	0,5 b	0,6 b	ns	
	TM			21 ab	21 ab	17 a	21 b	0,72 Q**		10,3 a	13,8 a	13,1 a	14,7 a	0,87 Q**	
	FNR			17 b	20 b	15 b	20 b	0,79 Q**		0,4 b	1,5 b	0,3 b	0,7 b	ns	
	Média	33	19	21 a	21 a	17 a	21 b								

Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre os corretivos de acidez e letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as adubações (Tukey, P<0,05). Significância: \* = P<0,05%, \*\* = P<0,01% e ns = não significativo. Q = equação quadrática, L = equação linear. Gráficos com regressões em Anexo 6.

**Tabela 7.** Efeitos isolados de corretivos de acidez (C) e fontes de adubação (F) nos atributos químicos e teores de Ca e Cu no solo.

Tempo de Incubação (dias)		0	30	60	90	120	150	R <sup>2</sup>	
pH (CaCl <sub>2</sub> )	(C)	Calcário	4,1	5,9	6,4	6,3 A	6,3	6,3	0,87 Q**
		Escória		6,0	6,3	6,1 B	6,2	6,2	0,83 Q**
	(F)	sem NPK			6,2 b	6,1 b	6,2 b	6,3 b	0,84 Q**
		sem P			6,3 b	6,1 b	5,9 c	6,0 bc	0,78 Q**
		ST	4,1	6,0	6,1 b	5,9 b	6,0 c	5,8 c	0,80 Q**
		TM			6,9 a	6,7 a	6,9 a	7,0 a	0,93 Q**
FNR			6,4 b	6,2 b	6,2 b	6,3 b	0,83 Q**		
H+Al (mmol dm <sup>-3</sup> )	(C)	Calcário	69	21 B	17	17 B	17	18	0,83 Q**
		Escória		23 A	18	20 A	18	18	0,83 Q**
	(F)	sem NPK			19 a	20 b	16 b	17 b	0,83 Q**
		sem P			18 a	19 b	21 a	21 ab	0,82 Q**
		ST	69	22	21 a	24 a	22 a	25 a	0,78 Q**
		TM			11 b	12 c	11 c	11 c	0,89 Q**
FNR			18 a	19 b	19 ab	18 b	0,82 Q**		
Ca (mmol dm <sup>-3</sup> )	(C)	Calcário	3	27 B	49 B	43 B	46 B	40 B	0,94 Q**
		Escória		85 A	87 A	69 A	80 A	63 A	0,72 Q**
	(F)	sem NPK			52 c	46 c	49 c	41 b	0,68 Q**
		sem P			53 c	46 c	47 c	43 b	0,66 Q**
		ST	3	56	68 b	56 b	67 b	46 b	0,84 Q**
		TM			88 a	70 a	81 a	68 a	0,89 Q**
FNR			80 a	64 ab	71 b	59 a	0,87 Q**		
SB (mmol dm <sup>-3</sup> )	(C)	Calcário	4	49 B	77 B	73 B	79 B	64 B	0,97 Q**
		Escória		102 A	104 A	86 A	103 A	75 A	0,75 Q**
	(F)	sem NPK			69 c	63 c	67 c	55 c	0,70 Q**
		sem P			74 c	67 c	69 c	59 c	0,75 Q**
		ST	4	75	90 b	79 b	94 b	61 c	0,87 Q**
		TM			121 a	103 a	129 a	96 a	0,93 Q**
FNR			100 b	86 b	96 b	78 b	0,89 Q**		
CTC (mmol dm <sup>-3</sup> )	(C)	Calcário	72	69 B	94 B	91 B	95 B	82 B	0,68 Q**
		Escória		124 A	123 A	106 A	122 A	93 A	0,65 Q**
	(F)	sem NPK			88 c	82 c	84 c	72 c	0,60 Q**
		sem P			92 c	86 c	90 c	80 bc	0,59 Q**
		ST	72	97	111 b	103 b	116 b	85 bc	0,84 Q**
		TM			131 a	115 a	139 a	106 a	0,82 Q**
FNR			118 b	105 b	115 b	95 b	0,87 Q**		
V %	(C)	Calcário	5	70 B	81 B	80	81	78	0,88 Q**
		Escória		82 A	85 A	81	84	80	0,80 Q**
	(F)	sem NPK			78 c	76 b	80 bc	77 bc	0,80 Q**
		sem P			80 bc	78 b	76 c	74 c	0,81 Q**
		ST	5	76	81 bc	77 b	81 bc	71 c	0,83 Q**
		TM			92 a	89 a	92 a	90 a	0,89 Q**
FNR			85 b	82 b	84 b	81 b	0,85 Q**		
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	(C)	Calcário	0,8	0,5 B	0,7 A	0,8 B	0,3 A	0,6	ns
		Escória		0,6 A	0,7 A	0,9 A	0,2 B	0,6	ns
	(F)	sem NPK			0,7 b	0,8 b	0,3 b	0,5 c	ns
		sem P			0,6 c	0,8 b	0,2 b	0,6 c	ns
		ST	0,8	0,6	0,7 b	0,8 b	0,3 b	0,7 b	ns
		TM			1,0 a	1,1 a	0,4 a	0,8 a	ns
FNR			0,6 c	0,8 b	0,2 b	0,6 c	ns		

Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre os corretivos de acidez e letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as adubações pelo teste Tukey a 5%. Gráficos com regressões em Anexo 7e 8.

Significância: \* = P<0,05%, \*\* = P<0,01% e ns = não significativo. Q = equação quadrática.

Todas as fontes fosfatadas se ajustaram as equações quadráticas (Tabela 5) e o máximo teor de **P** ocorreu aos 90 DI, quando o teor de P em ambos corretivos seguiu a ordem decrescente: ST > TM = FNR > sem NPK = sem P. Sendo que o valor de P na fonte ST foi superior ao TM em 52% e ao FNR em 71% aplicando calcário e, aplicando escória foi superior ao TM em 50% e ao FNR em 60%. Dos 90 aos 150 DI o teor de P foi decrescendo e foi mantida a mesma ordem das fontes.

O cálculo para a aplicação de  $300 \text{ mg dm}^{-3}$  de solo através das fontes de P foi baseado para o ST nos 41% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel em citrato de amônio (CNA) + água, para o TM nos 17,5 % de  $\text{P}_2\text{O}_5$  total (sendo 16% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel em ácido cítrico) e para FNR nos 29% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  total (sendo 9% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel em ácido cítrico). A diferença no teor de P entre as fontes deve-se a diferença da quantidade prontamente solúvel fornecida, o que não significa que este teor encontrado esteja disponível para absorção pelas plantas. Embora o método da Resina seja um dos principais métodos utilizados para analisar P no Brasil (sendo o outro Mehlich 1), é ainda questionado sua provável subestimação do P lábil, principalmente em solos com alta capacidade de adsorção de P (CAMPELLO et al., 1994).

Sabendo que a disponibilidade de **P** é melhor avaliada pela absorção pelas plantas do que pelo valor de P recuperado pelo extrator, foram feitos os experimentos 2 e 3 com plantas a fim de verificar o efeito nas fontes de P a relação do teor no solo e P acumulado na planta.

Houve interação C x F no teor de **K** no solo apenas aos 150 DI (Tabela 4), porém foi necessário fazer o desdobramento nos demais tempos para possibilitar a regressão dos tempos de incubação de cada fonte e em cada corretivo (Tabela 5). Analisando o efeito isolado dos corretivos de acidez, na média das fontes de adubação, o teor de **K** nos tratamentos com escória foi superior aos com calcário nos tempos 90, 120 e 150 DI (Tabela 5). O teor de K no solo foi maior no tratamento que recebeu escória em razão desse resíduo ter adicionado  $86 \text{ mg dm}^{-3}$  e o calcário apenas  $10 \text{ mg dm}^{-3}$  de solo. Desdobrando as fontes em cada corretivo no final do experimento (150 DI), observou-se que o teor de K no solo corrigido com escória foi 38% superior ao corrigido com calcário na fonte FNR; nas demais adubações não teve diferença.

Nos dois corretivos de acidez, os teores de **K** se ajustaram as equações quadráticas em todas fontes de adubação, exceto sem NPK (Tabela 5). Aplicando calcário o

teor de K na última análise (150 DI) no sem NPK foi  $2,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  inferior às demais fontes de adubação. Nos tratamentos com escória também no tempo final de incubação, o teor de K seguiu a ordem  $\text{FNR} > \text{sem P} = \text{ST} = \text{TM} > \text{sem NPK}$ . Em todos os tratamentos, exceto sem NPK, foram aplicados  $100 \text{ mg de K dm}^{-3}$  de solo, o que explica o sem NPK ser inferior aos demais tratamentos em ambos corretivos de acidez.

O teor de **Mg** nos tratamentos com calcário foi superior aos com escória em todos tempos de incubação após a correção da acidez e em todas fontes de adubação, exceto TM aos 120 DAI quando os corretivos não se diferenciaram (Tabela 5). Aos 150 DI, o teor de Mg utilizando o calcário foi 3,0; 2,9; 2,1; 1,6 e 2,8 vezes maior que aplicando escória nos tratamentos sem NPK e sem P, ST, TM, FNR respectivamente. O maior teor de Mg utilizando o calcário foi devido sua composição química com mais Mg que a escória (Tabela 2), ou seja, utilizando-o para elevar a  $V\% = 60$ , foi aplicado 46% mais Mg por  $\text{dm}^3$  de solo que utilizando a escória (Tabela 3).

Nos dois corretivos de acidez, os teores de **Mg** se ajustaram as equações quadráticas em todas fontes de adubação (Tabela 5). Aplicando calcário o teor de Mg nas fontes de adubação aos 150 DI foi maior no tratamento com TM, sendo que o teor de Mg no TM foi 39% superior ao FNR, 60% maior que nos tratamentos sem NPK e sem P e 88% superior ao ST. Nos tratamentos com escória também no tempo final de incubação, o teor de Mg no tratamento TM foi 150% superior à todas outras adubações. O TM utilizado possui 7% de Mg, ou seja, aplicando na quantidade necessária para a dose de P desejada, foram aplicadas  $100,22 \text{ mg de Mg dm}^{-3}$  de solo (Tabela 3), o que explica ser superior aos demais tratamentos.

No solo natural (0 DI) o teor de **Si** era igual a  $1,9 \text{ mg por dm}^{-3}$  e após 150 dias de incubação com os corretivos de acidez no tratamento testemunha absoluta (sem NPK), tiveram o teor de Si igual a  $1,9 \text{ mg dm}^{-3}$  no solo corrigido com calcário e  $5,9 \text{ mg dm}^{-3}$  no solo corrigido com escória (Tabela 5). Sabendo que estes solos receberam 197 e 568 mg de Si por  $\text{dm}^{-3}$  de solo nos tratamentos com calcário e silício respectivamente (Tabela 3), os teores encontrados foram relativamente baixos levando em conta a alta quantidade de Si aplicada. O silício está presente na solução do solo na forma pouco dissociada, porém sujeita a interagir ativamente com o complexo sortivo. Vários minerais do solo são capazes de adsorver silício, entre eles as diversas formas de sílica cristalina e amorfa, silicatos e substâncias não-silicosas como óxidos de ferro, alumínio e magnésio, indicando a importância desses

processos de adsorção para a química do silício no solo (MCKEAGUE; CLINE, 1963). Os resultados sugerem que a maior parte do Si aplicado ficou adsorvido nestas diversas formas e/ou que a metodologia utilizada não seja a mais adequada para mensurar Si no solo nas condições que o experimento foi conduzido (tipo de solo, corretivo, tempo de incubação, etc).

Após a aplicação dos corretivos de acidez, o teor de **Si** nos tratamentos com escória foi superior aos com calcário em todos tempos de incubação e em todas adubações (Tabela 5). Embora o calcário utilizado tenha adicionado 197 mg de Si  $\text{dm}^{-3}$  de solo (Tabela 3), o teor de **Si** decresceu aos 30 DI em 15% e com escória, devido ao alto fornecimento de Si (568 mg  $\text{dm}^{-3}$  de solo) aumentou 136%, resultando na diferença no teor de Si no solo entre os corretivos igual a 180%. A diferença entre os corretivos justifica-se pela composição química da escória rica em Si que na dose aplicada forneceu 188% de Si a mais que na aplicação de calcário (Tabela 3).

Na última amostragem (150 DI), aplicando a escória o teor de **Si** foi superior ao calcário em todos tratamentos (Tabela 5). Independente do corretivo de acidez o teor de **Si** foi maior aplicando TM que nas demais fontes (Tabelas 5).

Comparando os valores de **Si** aplicados pela escória a mais que pelo calcário (371 mg de Si por  $\text{dm}^{-3}$ ) e pelo TM a mais que pelas outras fontes (393 mg de Si por  $\text{dm}^{-3}$ ) (Tabela 3), ao teor de Si no solo após 150DI (Tabela 5), observou-se que a diferença entre os tratamentos foi relativamente baixa. Esses resultados indicaram que além da quantidade aplicada, o teor de Si pode ter sido influenciado por outro (s) fator (es).

Para melhor analisar as diferenças no teor de **Si** entre os corretivos e fontes, foram agrupados na Tabela 8 os fatores pH e P, que podem ter influenciado na disponibilidade de Si. Os valores de pH não foram desdobrados anteriormente pois a interação C x F não foi significativa em nenhum tempo de incubação (Tabela 4), porém tornou-se necessário desdobrá-lo para comparação com os demais fatores (P e Si). Os valores de P e Si do solo foram mostrados anteriormente na Tabela 5.

Para verificar a interação **Si** e P, foi observado primeiramente o efeito de P no teor de Si. Para isolar os fatores, escolheu-se os tratamentos sem NPK e FNR em ambos corretivos por terem o pH e a quantidade de Si aplicado no solo semelhante. Pode-se observar que a adição de 300 mg por  $\text{dm}^3$  de FNR não alterou o teor de Si no solo em nenhum dos corretivos, sendo nos tratamentos com calcário 1,9 mg por  $\text{dm}^3$  no tratamento sem P e 2,0

mg por  $\text{dm}^3$  no tratamento com FNR; com escória foi 5,9 mg por  $\text{dm}^3$  no tratamento sem P e 5,8 mg por  $\text{dm}^3$  no tratamento com FNR (Tabela 8).

**Tabela 8.** Valores de P e Si aplicados no solo e valores de P, Si e pH no solo após 150 dias de incubação.

(C)	(F)	P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )		Si ( $\text{mg dm}^{-3}$ )		pH ( $\text{CaCl}_2$ )
		aplicado	Solo	aplicado	solo	Solo
Calcário	sem NPK	0,00	1 Ac	197	1,9 Bb	6,4
	sem P	0,00	2 Ac	197	1,9 Bb	6,1
	ST	300,00	156 Aa	197	2,5 Bb	5,7
	TM	300,00	120 Ab	590	10,4 Ba	7,0
	FNR	300,00	100 Ab	197	2,0 Bb	6,5
Escória	sem NPK	0,00	13 Ac	568	5,9 Ab	6,2
	sem P	0,00	11 Ac	568	6,2 Ab	5,9
	ST	300,00	164 Aa	568	6,2 Ab	6,0
	TM	300,00	124 Ab	961	12,1 Aa	6,9
	FNR	300,00	108 Ab	568	5,8 Ab	6,1

Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa entre os corretivos de acidez e letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as adubações (Tukey,  $P < 0,05$ ).

Para verificar o efeito de **Si** no teor de P escolheu-se os tratamentos TM com calcário e TM com escória por terem o pH e a quantidade de P aplicado no solo semelhante. Pode-se observar que o adicional de 371 mg de Si por  $\text{dm}^3$  pela escória não alterou o teor de P no solo, sendo no tratamento TM com calcário 120 mg por  $\text{dm}^3$  e o tratamento TM com escória 124 mg por  $\text{dm}^3$  (Tabela 8).

A não interação de **Si** e P verificada no Experimento 1 discorda de Obihara e Russel (1972), Oliveira (1984) e Leite (1997), que afirmam que na interação Si e P, fosfato e silicato são retidos (adsorvidos) pelos óxidos de ferro e de alumínio da fração argila, podendo assim competir entre si pelos mesmos sítios de adsorção, ou seja, silicato pode deslocar fosfato previamente adsorvido, e vice-versa, das superfícies oxídicas. Os dados obtidos corroboram Carvalho et al. (2000), que em estudo de competição Si x P, verificaram incremento de P de pequena magnitude em solução devido ao efeito do Si aplicado antes da adubação fosfatada

Verificando a interação **Si** e pH escolheu-se os tratamentos ST e FNR aplicando calcário por terem o teor de P no solo e o Si aplicado no solo semelhante. Pode-se observar que a diferença de 0,8 no pH não alterou o teor de Si no solo, sendo no tratamento ST igual a 2,5 mg por  $\text{dm}^3$  e no tratamento FNR igual a 2,0 mg por  $\text{dm}^3$  (Tabela 8).

Para verificar o efeito de **Si** no pH escolheu-se os tratamentos TM com calcário e TM com escória por terem o teor de P semelhante. Pode-se observar que o adicional de 371 mg de Si por  $\text{dm}^3$  pela escória não alterou o pH no solo, sendo no tratamento TM com calcário igual a 7,0 e o tratamento TM com escória igual a 6,9 (Tabela 8). Os resultados discordam de Baldeón (1995), que afirmou que semelhante ao que ocorre com o P, o mecanismo controlador da concentração de  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  na fase líquida do solo parece ser governado por reações de adsorção dependentes de pH.

Houve interação C x F do teor de **B** aos 60 e 90 DI, o teor de B com escória foi maior que nos tratamentos com calcário em todas adubações nessas amostragens, exceto no TM aos 90 DI quando os corretivos não se diferenciaram (Tabela 6). O efeito isolado dos corretivos também foi significativo no teor de B, sendo em todos tempos de incubação após a correção da acidez, na média das adubações, superior no solo corrigido com escória. Após 30 DI o calcário aumentou o teor de B em 0,01 e a escória aumentou em 0,17  $\text{mg dm}^{-3}$  de solo. A diferença entre os corretivos no teor de B foi devida a composição química da escória que na dose aplicada adicionou 2,05 mg de B por  $\text{dm}^3$  de solo a mais que o calcário (Tabela 3).

Aplicando o calcário, apenas na fonte ST os valores do teor de **B** se ajustaram a equação quadrática (Tabela 6) e aplicando escória se ajustaram em todas fontes de adubação. No último tempo de incubação não houve interação C x F, mas houve efeito isolado das fontes de adubação (F) sendo que ST resultou no teor de B semelhante ao TM e 0,05  $\text{mg dm}^{-3}$  maior que os demais tratamentos.

Houve interação C x F do teor de **Fe** aos 90 e 120 DI, o teor de Fe com escória foi maior que nos tratamentos com calcário na maioria das amostragens, exceto TM no aos 90 e 120 DI e no FNR aos 90 DI, que não diferenciaram entre os corretivos (Tabela 6). O efeito isolado dos corretivos também foi significativo no teor de Fe, sendo em todos tempos de incubação após a correção da acidez, na média das adubações, superior no solo corrigido com escória. Após 30 DI o calcário diminuiu 19  $\text{mg dm}^{-3}$  do teor de Fe e a escória diminuiu 10  $\text{mg dm}^{-3}$  de solo. A diferença entre os corretivos no teor de Fe foi devida a composição química da escória que na dose aplicada adicionou 950  $\text{mg dm}^{-3}$  de Fe a mais que o calcário (Tabela 3). A aplicação dos corretivos resultou na diminuição do teor de Fe devido à ação dos materiais no pH do solo, que conseqüentemente diminuiu a disponibilidade de Fe. O Fe, Mn,

Cu e Zn formam cátions metálicos que precipitam em compostos de baixa solubilidade em pH altos (TROEH; THOMPSON, 2007).

Os valores do teor de **Fe** se ajustaram a equações quadráticas nos dois corretivos em todas fontes de adubação, exceto ST após aplicação de escória (Tabela 6). No último tempo de incubação não houve interação C x F, mas houve efeito isolado das fontes de adubação (F) sendo que a fonte ST resultou maior teor de Fe no solo que nas demais fontes

Houve interação C x F do teor de **Mn** aos 60, 120 e 150 DI, o teor de Mn com escória foi maior que nos tratamentos com calcário em todas adubações nessas amostragens (Tabela 6). O efeito isolado dos corretivos também foi significativo no teor de Mn, sendo em todos os tempos de incubação após a correção da acidez, na média das adubações, superior no solo corrigido com escória, pois foram aplicados 98,60 mg a mais de Mn por esse corretivo silicatado (Tabela 3). Após 30 DI o calcário diminuiu 0,1 mg dm<sup>-3</sup> do teor de Mn e a escória aumentou 8,4 mg dm<sup>-3</sup> de solo. A aplicação do calcário resultou na diminuição do teor de Mn devido à elevação do pH do solo, que conseqüentemente diminui a disponibilidade de Mn. A escória teve o mesmo efeito no pH e no Mn, porém como essa fonte é rica em Mn, a quantidade adicionada foi muito superior à quantidade indisponibilizada pelo aumento de pH.

Os valores do teor de **Mn** se ajustaram a equações quadráticas somente quando o calcário foi aplicado, em todas fontes de adubação (Tabela 6). No último tempo de incubação não houve diferença entre as fontes quando o calcário foi aplicado e a quando a escória foi aplicada o teor de Mn não se diferenciou do tratamento sem P e FNR, mas foi maior em 1,3 mg Mn dm<sup>-3</sup> nos tratamentos TM e sem NPK. Apesar de a fonte TM fornecer mais Mn (Tabela 3), o efeito do pH na disponibilidade de Mn prevaleceu e o teor de Mn foi maior no solo mais ácido ST (pH 5,8) e menor no solo mais alcalino que recebeu a fonte TM (pH 7,0).

Houve interação C x F no teor de **Zn** aos 60 e 90 DI, o teor de Zn com calcário foi maior que nos tratamentos com escória apenas na fonte TM aos 60 e 90 DI (Tabela 6). O efeito isolado dos corretivos foi significativo aos 90 DI, sendo na média das adubações, superior no solo corrigido com calcário. Após 30 DI o calcário diminuiu 0,7 mg dm<sup>-3</sup> do teor de Zn e a escória diminuiu 0,5 mg dm<sup>-3</sup> de solo. O teor de Zn após 30 DI, diminuiu menos aplicando escória porque com esse corretivo de acidez foi aplicado no solo 0,42 mg de



Zn  $\text{dm}^{-3}$  de solo a mais que com calcário (Tabela 3). A aplicação dos corretivos resultou no aumento do pH do solo e há um decréscimo na disponibilidade de Zn quando o pH aumenta (BARBOSA FILHO et al., 1992; XIANG et al., 1995; MATOS et al., 1996; SHUMA; LI, 1997; ABREU et al., 1998). O decréscimo na concentração de zinco, na solução do solo, é devido ao aumento da adsorção de zinco pelos constituintes da fase sólida (BAR-YOSEF et al., 1980).

Os valores do teor de **Zn** se ajustaram a equações quadráticas nos dois corretivos apenas na fonte TM (Tabela 6). No último tempo de incubação não houve interação C x F, mas houve efeito isolado das fontes de adubação (F) sendo que a fonte TM resultou maior teor de Zn no solo que nas demais fontes devido a sua composição que na dose de TM aplicada forneceu mais de 12 mg de Zn  $\text{dm}^{-3}$ .

• Efeitos isolados dos corretivos de acidez (C) e/ou das fontes de adubação (F)

Em pelo menos um dos tempos de incubação houve efeito isolado dos corretivos de acidez (C) e/ou fontes de adubação (F) no pH, H+Al, teor de Ca, SB, CTC e V% no solo (Tabela 4). A diferença entre o calcário e a escória nestes atributos foram mostrados na Tabela 7.

O **pH** diferiu entre os corretivos apenas aos (90 DI), sendo o calcário (6,3) maior que a escória (6,1). O pH em ambos corretivos se ajustou em equações quadráticas (Tabela 7), começando do solo natural com pH de 4,1 e finalizando com pH 6,3 no calcário e 6,2 na escória. Praticamente não houve diferença nos valores de pH do solo, quando analisado aos 30 e 150 DI, o que significa que a maior parte da reação ocorreu logo nos primeiros 30 dias de incubação.

O calcário, quando misturado ao solo e na presença de água, dissolve-se e os carbonatos de Ca e Mg dissociam-se (ALCARDE, 1992). Os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  deslocam o íon  $\text{Al}^{3+}$  adsorvido às partículas coloidais do solo para a solução de equilíbrio. Enquanto isso, o pH do meio aumenta e, os íons  $\text{HCO}_3^-$ , provocam a dissociação dos íons  $\text{H}^+$ , formando ácido carbônico que é a mistura de água e gás carbônico (QUAGGIO, 2000). Com a elevação do pH, os íons  $\text{Al}^{3+}$  hidratados sofrem hidrólise. Os íons  $\text{H}^+$ , provenientes da hidrólise do  $\text{Al}^{3+}$  são neutralizados por hidroxilas oriundas da dissolução do calcário (QUAGGIO, 2000). No caso

dos silicatos a acidez do solo é neutralizada por meio do  $\text{SiO}_3^{2-}$  que reage com a água e libera íons  $\text{OH}^-$  (ALCARDE e RODELLA, 2003).

O pH semelhante entre os corretivos (Tabela 8) concordou com Queiroz (2003) que realizando estudo com diversos agregados siderúrgicos, em quatro solos do cerrado, observou que o poder de correção dos silicatos de cálcio e magnésio foi semelhante ao dos carbonatos de cálcio e magnésio.

Como a adubação foi realizada após 30 DI, as discussões entre as fontes de adubação ao longo do tempo nesta interação, foi feita no intervalo de 60 a 150 DI do solo. No intervalo considerado, o TM alcalinizou mais o solo que as demais fontes de adubação em todos os tempos de incubação (Tabela 8). No último tempo de incubação o **pH** o TM foi 0,7 maior que no tratamento sem NPK e FNR, 1,0 maior que o tratamento sem P e 1,2 maior que ST. Ao se aplicar fosfato monocálcio (DAP, MAP, SS, ST, etc.) no solo ocorre reação de hidrólise com a formação de ácido fosfórico e fosfato bicálcio. No solo o ácido fosfórico se dissocia até a formação de íons  $\text{H}^+$  resultando num abaixamento do pH ao redor do grânulo, justificando dessa forma o pH mais baixo da fonte ST. Braga e Amaral (1971) também observaram uma diminuição significativa do pH do solo, devido, provavelmente, à acidificação do solo causada pela hidrólise do ST.

Em todas as fontes de adubação o valor do **pH** se ajustou a equação quadrática. A grande alteração ocorreu entre a primeira e a segunda amostragem devido à aplicação dos corretivos, após isso o pH oscilou muito pouco (de 0,1 a 0,2) entre as amostragens (Tabela 8).

O **H+Al** diferiu entre os corretivos aos 30 e 90 DI, sendo a escória maior em ambos (Tabela 8). O H+Al em ambos corretivos se ajustou em equações quadráticas (Tabela 8), começando no solo natural com H+Al igual  $69 \text{ mmol dm}^{-3}$  e finalizando igual a 18. A acidez de um solo se deve à presença de íons  $\text{H}^+$  livres, gerados por componentes ácidos presentes no solo. A neutralização da acidez consiste em neutralizar  $\text{H}^+$ , o que é feito pelo ânion  $\text{OH}^-$ . Portanto, os corretivos de acidez devem ter componentes básicos geradores de  $\text{OH}^-$  para promover a neutralização (ALCARDE; RODELLA, 2003), e os dois corretivos de acidez utilizados foram eficientes nessa neutralização.

Entre as fontes de adubação, o **H+Al** foi inversamente proporcional ao pH (Tabela 8), ou seja, conforme o pH foi elevado o H+Al foi diminuído (Tabela 8). No

último tempo de incubação o TM resultou no menor H+Al e maior pH no solo (Tabela 8). O H+Al no tratamento ST não diferiu do sem P e foi superior aos demais. Como comentado na discussão sobre o pH, as fontes fosfatadas tem ação diferente no pH do solo devido sua composição química. Em todas as fontes de adubação o valor do H+Al se ajustou a equação quadrática. Assim como o pH, a grande alteração ocorreu entre a primeira e a segunda amostragem devido à aplicação dos corretivos, que resultou em decréscimo da acidez potencial e após isso o H+Al oscilou muito pouco (de 1 a 4 mmolc dm<sup>-3</sup>) entre as amostragens (Tabela 8).

Em todos tempos de incubação amostrados após a adição de corretivos, o teor de **Ca** foi superior na escória (Tabela 8) e na média dos tempos, essa superioridade foi de 86%. Nas doses calculadas dos corretivos para elevar a saturação por base a 60%, foram aplicados 483 e 1110 mg de Ca dm<sup>-3</sup> de solo pelo calcário e pela escória respectivamente (Tabela 3), o que explica a diferença entre estes corretivos no teor de Ca. Vários estudos em campo e em casa de vegetação têm sido conduzidos para verificar a eficácia de fontes de Si e de modo geral, o que se observou foi que fontes de Si, como Wollastonita, escória de alto forno (CARVALHO-PUPPATO et al., 2003), agregados siderúrgicos, xisto e termofosfato (PEREIRA et al., 2003), proporcionaram incrementos nos teores de Ca e Mg trocáveis e uma elevação do pH do solo, reduzindo a concentração de Al<sup>+3</sup> fitotóxico.

Em ambos corretivos o teor de **Ca** se ajustou em equações quadráticas e teve seu maior valor aos 60 DI, ou seja 30 dias após a adubação (Tabela 8). É importante ressaltar que este ponto máximo ocorreu devido à presença de Ca na constituição dos fertilizantes adicionados (Tabela 3).

Comparando as fontes de adubação, aos 150 DI o teor de Ca nas fontes TM e FNR foi maior que sem NPK, sem P e ST (Tabela 8). Os fertilizantes ST, TM e FNR aplicados na dose de 300 mg de P por dm<sup>3</sup> forneceram 319, 707 e 830 mg de Ca dm<sup>-3</sup> respectivamente (Tabela 3). Os maiores valores no teor Ca no solo depois da aplicação das fontes TM e FNR são explicados pela constituição dos materiais, porém esperava-se que o ST resultasse em maior teor de Ca no solo que nas adubações não fosfatadas (sem NPK e sem P) em todos os tempos, no entanto, na última amostragem o ST não se diferiu (Tabela 8).

A escória resultou em maior valor de **SB** e **CTC** que o calcário em todos tempos após os 30 DI, e maior **V%** apenas nas amostragens aos 30 e 60 DI (Tabela 8).

Na média dos tempos a SB, CTC e V% foram maiores quando a escória foi utilizada.

Comparando as fontes de adubação, nos tempos 60, 90 e 120 a **SB** e a **CTC** seguiram a mesma ordem  $TM > ST = FNR > \text{sem NPK} = \text{sem P}$ . A SB de todas fontes de adubações se ajustaram a função quadrática, diminuindo aos 150 DI e seguindo a ordem na última amostragem  $TM > FNR > ST = \text{sem NPK} = \text{sem P}$  (Tabela 8). Em todos os tratamentos, exceto sem NPK, foi aplicada mesma quantidade de K e as fontes forneceram quantidades diferentes de base, sendo que o FNR adicionou 935,68 mg de Ca  $\text{dm}^{-3}$  de solo, o TM somando o Ca e Mg totalizou 784,04 mg  $\text{dm}^{-3}$  de solo; e o ST adicionou 244,10 mg de Ca  $\text{dm}^{-3}$  de solo (Tabela 3). A acidez ou alcalinidade de um solo depende principalmente do balanço entre micelas carregadas negativamente e os cátions básicos carregados positivamente (na sua maioria  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$  e Na) (TROEH; THOMPSON, 2007). Observando a última amostragem, o TM foi superior na SB e CTC devido à quantidade de bases que forneceu e a elevação de pH que sua aplicação resultou no solo igual a 7,0, maior que as demais fontes (Tabela 8).

Na Tabela 8 foi mostrado que a escória elevou a V% de maneira mais rápida que o calcário. Aos 30 DI, a V% estava igual a 70 no solo corrigido com calcário e igual a 82 no solo corrigido com escória. Aos 60 DI o calcário havia reagido ainda mais e alcançou V% igual a 81, e no solo com a escória a V% se manteve, apresentando valor igual a 85. Entre as fontes de adubação, em todos os tempos considerados, a V% foi maior no solo que recebeu o TM como adubação (Tabela 8), sabendo que a V% (saturação por bases) corresponde a  $100 * SB / CTC$ , explica-se esse o valor superior do TM pela a constituição desta fonte com maior fornecimento de bases (Ca e Mg), como discutido anteriormente.

A escória resultou em maior valor que o calcário no teor de **Cu** aos 120, e menor valor aos 30 e 90 DI. Apesar da diferença significativa nestes tempos, a diferença entre os corretivos foi de apenas 0,1 mg  $\text{dm}^{-3}$ . O teor de Cu ao longo do tempo de adubação não se ajustou a nenhuma equação (Tabela 8).

O teor de **Cu** no solo foi maior em todos tempos após a adubação quando o TM foi aplicado (Tabela 8). No último tempo de incubação, o teor de Cu seguiu a ordem:  $TM > ST > \text{sem P} = \text{sem NPK} = FNR$ . Os maiores de teores de Cu aplicando o TM se devem a sua constituição com 0,05% de Cu (Tabela 2) e conseqüentemente maior quantidade fornecida (Tabela 3).

### 6.1.2 Considerações finais experimento 1

Os corretivos de acidez tiveram efeito semelhante na redução da acidez potencial e elevação de pH do solo ao longo do tempo.

Após 30 dias incubado com calcário o teor de P aumentou de 6 para 7 mg de P  $\text{dm}^{-3}$  de solo e com escória aumentou para 25 mg de P  $\text{dm}^{-3}$ . Comparando os corretivos nas fontes de adubação, o teor de P aplicando escória foi superior ao calcário apenas 120 dias após a incubação no ST, com a diferença de 37 mg  $\text{dm}^{-3}$ .

Independente dos corretivos, 150 dias após a incubação, o teor de P no solo seguiu a ordem  $\text{ST} > \text{TM} = \text{FNR} > \text{sem NPK} = \text{sem P}$ .

O teor de Si diferiu entre os corretivos e adubações em todos os tempos de incubação devido à composição química dos materiais (corretivos e fontes de adubação). Não houve interação Si x P nos solos analisados.

## 6.2 EXPERIMENTO 2: Amendoim – corretivos de acidez x fontes de P.

### 6.2.1 Na planta

#### 6.2.1.1 Características morfológicas e produção de massa seca em plantas de amendoim.

No EXPERIMENTO 2 a interação dupla foi discutida primeiramente e quando não houve interação, foram discutidos os efeitos isolados.

• Interação corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F)

Houve interação C x F no diâmetro do caule, massa seca (MS) Raiz, MS frutos, número de grãos e MS grãos por vaso (Tabela 9).

**Tabela 9.** Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações nas características morfológicas e produção de massa seca (MS) em plantas de amendoim. FCA, Botucatu, 2010.

Corretivos de Acidez	Diâmetro	Altura	MS PA	MS Raiz	MS Frutos	Número grãos/vaso	MS grãos/vaso
	(mm)	(cm)	----- g (5 plantas)	----- g (5 plantas)	----- g (5 plantas)	(5 plantas)	g (5 plantas)
Calcário dolomítico	4,8	31,8 B	68,30 B	11,67	47,54	106	29,43
Escória de aciaria	5,0	39,3 A	92,68 A	11,42	22,45	48	10,91
Fontes de adubação							
sem P	4,0	20,8 c	24,39 c	3,87	9,98	23	4,29
ST	5,5	38,4 ab	126,43 a	19,46	20,25	43	10,85
ST + Micro	5,7	41,3 a	124,62 a	18,00	24,77	49	12,33
TM	4,7	36,5 ab	74,77 b	9,24	49,92	116	31,01
TM + Micro	5,0	35,2 b	74,51 b	10,96	53,95	125	33,26
FNR	4,7	37,3 ab	70,14 b	10,25	43,95	101	26,83
FNR + Micro	4,6	39,3 ab	68,55 b	9,05	42,17	86	22,65
Causas da Variação							
Corretivos de Acidez (C)	*	*	*	ns	*	*	*
Fontes de adubação (F)	*	*	*	*	*	*	*
C x F	*	ns	ns	*	*	*	*
CV (%)	7	9	13	25	30	31	35

Médias seguidas por letras distintas nas linhas, diferem entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

\*, ns = Significativo a 5% de probabilidade e não significativo pela análise de variância, respectivamente.

As interações foram desdobradas na Tabela 10. Primeiramente foi discutida a diferença entre os corretivos em cada tratamentos, depois foram comparadas as fontes ( sem P, ST, TM e FNR) em cada corretivo e então relatado se a adição de micronutrientes em cada fonte fosfatada influenciou nos parâmetros avaliados.

**Tabela 10.** Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) nas características morfológicas e produção da massa seca (MS) em plantas de amendoim.

Fontes de Adubação	Diâmetro		MS Raiz		MS Frutos	
	(mm)		----- g (5 plantas)-----			
	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória
sem P	3,8 Bd	4,3 Ac	1,38 Bc	6,37 Ac	3,03 Ac	16,92 Aab
ST	5,3 Bab	5,8 Aa	21,24 Aa	17,68 Aa	27,97 Ab	12,55 Bb
ST + Micro	5,6 Aa	5,8 Aa	21,17 Aa	14,83 Bab	34,49 Ab	15,05 Bab
TM	4,5 Bc	5,0 Abc	8,80 Ab	9,68 Abc	71,08 Aa	28,77 Bab
TM + Micro	4,7 Bbc	5,2 Aab	8,37 Bb	13,54 Aab	71,03 Aa	36,88 Ba
FNR	5,0 Aabc	4,4 Bc	11,49 Ab	9,02 Abc	62,26 Aa	25,64 Bab
FNR + Micro	4,6 Abc	4,5 Ac	9,26 Ab	8,84 Abc	62,97 Aa	21,38 Bab
Fontes de Adubação	Número grãos/vaso		MS grãos/vaso			
	----- (5 plantas) -----		----- g (5 plantas) -----			
	Calcário	Escória	Calcário	Escória		
sem P	8 Ac	37 Ab	1,30 Ac	7,27 Aa		
ST	61 Ab	25 Bb	16,49 Ab	5,22 Ba		
ST + Micro	69 Ab	28 Bb	18,87 Ab	5,80 Ba		
TM	166 Aa	65 Bab	46,62 Aa	15,40 Ba		
TM + Micro	160 Aa	90 Ba	45,92 Aa	20,60 Ba		
FNR	145 Aa	57 Bab	40,63 Aa	13,03 Ba		
FNR + Micro	134 Aa	38 Bab	36,19 Aa	9,11 Ba		

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas indicam diferença entre os corretivos de acidez na mesma fontes de adubação; e minúsculas indicam diferença entre as adubações fosfatadas, no mesmo corretivo de acidez (Tukey, P<0,05).

Apenas no tratamento com FNR, o **diâmetro** do caule foi maior quando o solo foi corrigido com calcário; nos tratamentos sem P, ST, TM e TM + micro o diâmetro foi superior nos tratamentos com escória e nos demais tratamentos (FNR + micro e ST + micro) não houve diferença entre os corretivos (Tabela 10). Apesar de ser aplicada uma quantidade muito maior de Si pela escória que pelo calcário, quando o diâmetro foi maior nos tratamentos com escória, foi apenas em 0,5 mm (Tabela 10); e dentre estes tratamentos somente no TM o acúmulo de Si na parte aérea foi maior quando a escória foi aplicada (Tabela 11), sendo esses dados inconsistentes para evidenciar esse efeito do Si nas mudanças anatômicas da planta.

Em ambos os corretivos o diâmetro foi maior na fonte ST. Em ambos corretivos, a adição de micronutrientes não teve efeito. Aplicando calcário o diâmetro do caule do amendoim adubado com ST não diferiu de FN, mas foi maior que no tratamento TM e sem P. Nos tratamentos com escória, observando somente os tratamentos sem micro, o maior diâmetro foi na fonte ST. O maior diâmetro deve-se ao maior acúmulo de Ca na parte aérea (Tabela 12). O cálcio tem muitos efeitos no crescimento e desenvolvimento da planta: melhora a fotossíntese e outros processos como divisão celular, movimentos citoplasmáticos e o aumento do volume celular (MALAVOLTA, et al., 1997).

A **MS Raiz** foi superior aplicando calcário no tratamento ST + micro, e foi superior com escória nos tratamentos sem P e TM + micro (Tabela 10). No tratamento sem P o corretivo de acidez foi a única fonte de Ca e a escória forneceu 374 g de Ca a mais que o calcário (Tabela 3). As raízes não foram analisadas quimicamente, mas sabendo a fundamental importância do Ca no aumento do volume celular na planta, provavelmente, o efeito da escória na produção de MS Raiz no tratamento sem P (Tabela 10) se deve a maior quantidade de Ca fornecida por este corretivo. O cálcio, além de contribuir para o crescimento e multiplicação das raízes das plantas (SOUZA et al. 2000), é importante na preservação da capacidade de absorção das raízes mediante a manutenção da integridade da membrana plasmática, bem como na prevenção da perda de solutos para a solução externa, aumentando o acúmulo de nutrientes pela planta (MALAVOLTA, 2006).

Outro fator que pode ter contribuído para o melhor desenvolvimento radicular aplicando escória no tratamento sem P é a ação do Si na redução do efeito do desbalanço nutricional, no caso, deficiência de P. O Si não é considerado elemento essencial para o crescimento das plantas, mas tem tido efeitos benéficos em várias espécies (MA, 2004); proporciona efetivo controle de doenças em plantas (GUÉVE et al., 2007) e tem sido relacionado à redução de efeitos prejudiciais decorrentes de agentes químicos (salinidade, toxidez causada por metal pesado, desbalanço de nutrientes) e físicos (acamamento, seca, radiação, alta e baixa temperaturas) (ZHU et al., 2004; MA; YAMAJI, 2006).

Em ambos corretivos a ordem das fontes na MS raiz foi ST > TM = FNR > sem P, e a adição de micronutrientes não teve efeito.

A **MS Frutos** foi superior com calcário em todos tratamentos, exceto sem P onde não houve diferença entre os corretivos (Tabela 10). A ordem das fontes nos



tratamentos com calcário foi  $TM = FNR > ST > \text{sem P}$ , a adição de micronutrientes teve efeito. Nos tratamentos com escória as fontes de adubação não se diferenciaram (Tabela 10). Na média dos corretivos, a fonte ST promoveu maior crescimento vegetativo, ou seja maior produção de MS PA e MS Raiz (Tabela 9) que produção de grãos.

O **Número de grãos/vaso** e a **MS grãos/vaso** tiveram o mesmo comportamento, foram superiores aplicando calcário em todos tratamentos, exceto sem P que os corretivos não se diferenciaram (Tabela 11) e a ordem das fontes nos tratamentos com calcário foi  $TM = FNR > ST > \text{sem P}$ . Aplicando escória não houve diferença entre os tratamentos e nem houve efeito da adição de micronutrientes

Assim como discutido na **MS Raiz**, para explicar porque a produção de **MS Frutos**, **Número de grãos/vaso** e **MS grãos/vaso** no tratamento sem P com escória foram maiores que com calcário e, aplicando escória alcançaram na testemunha valores numericamente maiores que aplicando ST, foram levantadas três hipóteses: (i) o maior fornecimento de Ca por este corretivo, (ii) o efeito do Si na disponibilidade de P e (iii) o efeito de Si na redução de efeitos prejudiciais como desbalanço nutricional. Porém neste trabalho não foi possível comprovar nenhuma das hipóteses.

• Efeitos isolados dos corretivos de acidez (C) e/ou das fontes de adubação (F)

Não houve interação para **altura** e **MS PA** (massa seca da parte aérea) do amendoim, mas houve diferença entre corretivos de acidez e fontes de adubação isoladamente (Tabela 9).

A correção do solo com silicato proporcionou plantas de amendoim 24% mais altas em relação ao tratamento com calcário. Pulz et al. (2008) observaram resultados semelhantes em experimento conduzido com batata, outra planta considerada não acumuladora de silício.

As três fontes de fósforo tiveram efeito positivo sobre a **altura** da planta e não diferiram entre elas. Comparando com tratamento sem P, o ST aumentou 85%, o TM 75% e o FNR 79% (Tabela 9). Os resultados corroboram Lobo et al. (2012) que concluíram que P foi um elemento que se mostrou bastante requerido tanto em altura como em acúmulo de MS das folhas e haste do amendoimzeiro. O P desempenha função vital em todo processo da planta que envolve energia (TSAI e ROSSETO, 1992). É a parte integrante de diversas

moléculas químicas, como açúcares fosfatados, nucleotídeos, coenzimas, fosfolipídios, ácido fítico, além de ser parte estrutural do difosfato de adenosina (ADP) e do trifosfato de adenosina (ATP), desempenhando, assim, papel fundamental em todas as reações que envolvem trocas de energia. A adição de micronutrientes não causou efeito na altura.

A produção de **MS PA** seguiu a ordem  $ST > TM = FNR > \text{sem P}$ , sendo que a produção com ST foi 5 vezes maior e com TM ou FNR foi 3 vezes maior que no tratamento sem P (Tabela 9). Os resultados concordam com Prado e Leal (2006), que observaram que a omissão de P promoveu uma diminuição de 90% na produção de matéria seca da folha em girassol. Segundo Lobo et al. (2012), os tratamentos com omissão de PK, P e NPK apresentaram tendência de serem os mais limitantes para o acúmulo de massa seca foliar em plantas de amendoim, se diferenciando estatisticamente do tratamento com aplicação de solução nutritiva completa promovendo uma redução de 40, 44 e 45% respectivamente, quando comparados ao tratamento completo. Segundo os mesmos autores, os resultados mostraram que o elemento P é um dos nutrientes mais limitantes para a produção de MS foliar do amendoizeiro. A adição de micronutrientes as fontes fosfatadas não teve efeito sobre a MS PA.

O objetivo de adicionar micronutrientes as fontes fosfatadas foi verificar se a maior produção aplicando TM (caso ocorresse) seria devido à presença de micronutrientes em sua composição, dessa forma a aplicação de micro nas demais fontes compensaria esse fator. Porém na produção de MS Frutos, onde o TM nos tratamentos com calcário (Tabela 10) foi superior ao ST, o tratamentos ST + micro não chegou à mesma MS Frutos que o tratamento TM, evidenciando que a superioridade de TM neste caso foi devida a outras características da fonte TM e não a quantidade de micronutrientes em sua composição química.

#### **6.2.1.2 Acúmulo nutricional e de Si na parte aérea de plantas de amendoim.**

Houve interação C x F nos acúmulos de Ca, Mg, Si, B e Mn (Tabela 11). As interações foram desdobradas na Tabela 12.

**Tabela 11.** Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações no acúmulo nutricional e Si na parte aérea de plantas de amendoim. FCA, Botucatu, 2010.

Acúmulo PA amendoim	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Calcário dolomítico	1061 b	138,1 b	687 b	1315	587	130,1 b	147	3,66	0,26 b	163 b	3,09	0,71 b
Escória de Aciaria	1590 a	172,3 a	909 a	1890	438	166,4 a	367	4,68	0,47 a	281 a	15,66	1,83 a
sem P	467 c	17,6 c	248 c	457	96	39,2 c	142	1,48	0,15 c	107 b	4,49	0,47 c
ST	2304 a	332,9 a	1226 a	2714	796	222,4 a	310	6,54	0,40 ab	294 a	21,13	1,86 a
ST + Micro	2093 a	341,2 a	1156 a	2512	777	214,0 a	577	4,35	0,50 a	282 a	21,55	1,01 abc
TM	945 b	119,3 b	709 b	1380	589	147,3 b	212	4,11	0,36 b	213 ab	3,58	1,81 ab
TM + Micro	945 b	119,4 b	644 b	1507	605	162,1 b	210	4,35	0,37 b	185 ab	4,12	1,76 ab
FNR	1294 b	82,3 b	859 b	1389	376	126,0 b	153	4,88	0,41 ab	229 ab	5,58	1,12 abc
FNR + Micro	1210 b	73,6 bc	747 b	1258	348	128,2 b	196	3,84	0,40 ab	245 ab	5,17	0,86 bc
Corretivos de Acidez (C)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fontes de adubação (F)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C x F	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	ns	ns	*	ns
CV (%)	19	26	23	16	14	16	58	18	24	42	32	50

Médias seguidas por letras distintas nas colunas, diferem entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

\*, ns = Significativo a 5% de probabilidade e não significativo pela análise de variância, respectivamente.

**Tabela 12.** Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) no acúmulo nutricional e Si na parte aérea de amendoim (valores representam cinco plantas por vaso).

Acúmulo PA amendoim	Ca		Mg		Si		B		Mn	
	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória
Fontes de adubação	(mg na parte aérea de amendoim – 5 plantas) -----									
sem P	95 Bc	819 Ac	48 Ac	144 Ac	31 Bb	253 Ab	0,57 Bc	2,39 Ac	0,33 Ba	8,66 Ab
ST	2149 Ba	3279 Aa	914 Aa	678 Ba	389 Aa	230 Ab	6,39 Aa	6,68 Aa	6,64 Ba	35,63 Aa
ST + Micro	1973 Ba	3051 Aa	917 Aa	638 Bab	42 Bb	1113 Aa	4,61 Ab	5,15 Aab	6,97 Ba	36,13 Aa
TM	1316 Ab	1443 Ab	688 Aa	491 Bb	100 Bab	323 Ab	3,07 Bb	5,16 Aab	1,86 Aa	5,31 Ab
TM + Micro	1241 Bb	1773 Ab	657 Aa	553 Aab	258 Aab	162 Ab	4,01 Ab	4,69 Ab	1,80 Ba	6,43 Ab
FNR	1327 Ab	1450 Ab	468 Ab	283 Bc	1 Bb	305 Ab	3,11 Bb	4,86 Aab	1,95 Ba	9,20 Ab
FNR + Micro	1101 Ab	1416 Ab	418 Ab	279 Bc	207 Aab	185 Ab	3,56 Ab	4,13 Ab	2,08 Ba	8,25 Ab

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas indicam diferença entre os corretivos de acidez na mesma fontes de adubação; e minúsculas indicam diferença entre as adubações fosfatadas, no mesmo corretivo de acidez (Tukey, P<0,05).

• Interação (C x F) para o acúmulo nutricional e de Si na PA de amendoim

Aplicando escória, o **acúmulo de Ca** foi superior em todos tratamentos, exceto TM+M (Tabela 12). Isso se deve a maior quantidade de Ca fornecida pela escória (1110 mg dm<sup>-3</sup>) que pelo calcário (483 mg por dm<sup>-3</sup>) mostrados na Tabela 3. Independente do corretivo aplicado, a ordem foi ST > TM = FNR > sem P, explicada pela MS PA produzida (Tabela 9), ou seja, quanto maior a produção de MS PA maior foi o acúmulo de Ca. Não houve efeito da adição de micronutrientes.

Entre os corretivos, o **acúmulo de Mg** foi superior aplicando calcário em todos tratamentos, exceto sem P e TM+M (Tabela 12), pois pelo calcário foi fornecido 67 mg de Mg por dm<sup>3</sup> a mais que pela escória. Nos tratamentos com calcário a ordem foi ST = TM > FNR > sem P e nos tratamentos com escória a ordem foi ST > TM > FNR = sem P. A adição de micronutrientes não alterou o acúmulo de Mg.

Comparando os corretivos nos tratamentos sem a adição de micronutrientes, o **acúmulo de Si** foi superior aplicando escória nos tratamentos sem P, TM e FNR (Tabela 12). A aplicação de escória forneceu 371 mg de Si por dm<sup>3</sup> a mais que aplicando calcário (Tabela 3), sendo assim, a maior disponibilidade de Si pela escória resultou em maior acúmulo de Si na parte aérea em plantas de amendoim, corroborando Mitani e Ma (2005) que observaram que o aumento de absorção de Si ocorreu com o aumento de Si na solução nutritiva. Apenas no tratamento que recebeu a fonte ST não houve diferença entre os corretivos (Tabela 12). Em ambos corretivos a adição de micronutrientes não teve efeito no acúmulo foliar de Si.

A aplicação de escória em condições de deficiência de P proporcionou o maior acúmulo de Si na parte aérea do amendoim, considerada uma planta não acumuladora de Si (MARSCHNER, 1995), indicando que com deficiência de P o mecanismo de absorção e transporte foi alterado e permitiu que mais Si fosse absorvido e transportado até as folhas.

O maior acúmulo de Si nas folhas de amendoim no tratamento sem P é uma possível mudança no mecanismo de transporte de Si, pois os resultados indicam que o Si fornecido pela escória foi transportado de maneira eficiente até as folhas do amendoim, discordando de Mitani e Ma (2005) que afirmaram que plantas não acumuladoras, como tomate por exemplo, possuem menor densidade de transportadores de Si do apoplasto para o simplasto e um defeito nos transportadores de Si das células do córtex para o xilema.

O Si tem sido relacionado à redução de efeitos prejudiciais decorrentes de agentes químicos (salinidade, toxidez causada por metal pesado, desbalanço de nutrientes) e físicos (acamamento, seca, radiação, alta e baixa temperaturas) (ZHU ET AL., 2004; MA; YAMAJI, 2006). No tratamento sem P, a produção de MS PA (Anexo 9, pois como não houve interação C x F não foi feito desdobramento dessa produção de MS na Tabela 10) aplicando escória (40,60 g) foi maior que utilizando calcário (8,18 g) indicando que o efeito da deficiência de P, um desbalanço nutricional, foi minimizado em plantas que receberam maior quantidade de Si (Anexo 9).

Aplicando calcário, o acúmulo de Si na parte aérea no tratamento ST foi 358 mg maior que sem P, 388 mg maior que FNR e não se diferenciou do TM (Tabela 12). A aplicação de micronutrientes diminuiu o teor de Si quando o ST foi aplicado e não teve efeito nas demais fontes de adubação (Tabela 12). Aplicando escória as fontes de adubação não se diferenciaram no acúmulo de Si e a aplicação de micronutrientes aumentou a concentração de Si no tratamento com ST (Tabela 12).

Entre os corretivos, o **acúmulo de B** foi superior aplicando escória nos tratamentos sem P, TM e FNR, nos demais tratamentos os corretivos não se diferenciaram (Tabela 12). Aplicando calcário, o acúmulo de B seguiu a ordem:  $ST > TM = FNR > sem P$  e a adição de micronutrientes causou diminuição no acúmulo de B no tratamento com ST. Nos tratamentos com escória, o acúmulo de B no tratamento ST foi semelhante a TM e FNR e foi maior que o tratamento sem P. A adição de micronutrientes não teve efeito em nenhum tratamento com calcário.

Comparando os corretivos, o **acúmulo de Mn** foi superior aplicando escória em todos os tratamentos, exceto TM (Tabela 12). Entre os tratamentos com calcário, não houve diferença entre as adubações. Utilizando escória o acúmulo de Mn na fonte ST foi superior às outras adubações. Independente do corretivo e fonte de adubação, não houve efeito da adição de micronutrientes.

• Efeitos isolados dos corretivos de acidez (C) e/ou fontes de adubação (F) no acúmulo nutricional na PA de amendoim

Não houve interação para o **acúmulo de N, P, K e S** na parte aérea do amendoim, mas houve diferença entre corretivos de acidez e fontes de adubação isoladamente

(Tabela 11). A aplicação de escória resultou em acúmulos de N, P, K e S maiores em 50, 25, 32 e 28% respectivamente, que a aplicação de calcário devido a maior produção de MS PA quando o corretivo silicatado foi aplicado (Tabela 9).

A ordem dos acúmulos de N, P, K e S na média dos corretivos foi  $ST > TM = FNR > sem P$  (Tabela 11). A diferença entre as fontes de adubação é explicada pela quantidade de MS da parte aérea produzida (Tabela 9) associado ao teor desse nutrientes (dados não apresentados), ou seja, como o cálculo do acúmulo é obtido pelo teor nutricional multiplicado pela MS PA, e esses dois fatores se mantiveram em ordens semelhantes, o acúmulo seguiu a ordem destes fatores. A adição de micronutrientes não causou efeito em nenhum dos tratamentos.

Analisando a média das fontes de adubação, os resultados indicam que a superioridade de 11% nos teores de P no solo após 150 DI com escória ( $84 \text{ mg dm}^{-3}$ ) em relação aos incubados com calcário ( $76 \text{ mg dm}^{-3}$ ) no Experimento 1 (Tabela 5), resultou no acúmulo foliar de plantas de amendoim (Experimento 2), com acúmulo de P 25% maior que quando o calcário foi aplicado (Tabela 11).

Não houve interação para **o acúmulo de Cu, Fe e Zn** na parte aérea do amendoim, mas houve diferença entre corretivos de acidez e fontes de adubação isoladamente (Tabela 11). A aplicação de escória resultou em acúmulos de Cu, Fe e Zn, maiores em 81, 72 e 157% respectivamente, que a aplicação de calcário devido esses micronutrientes terem sido fornecidos em maior quantidade pela escória (Tabela 3).

O acúmulo de Cu, Fe e Zn aplicando ST foi superior somente ao tratamento sem P e não houve efeito da adição de micronutrientes (Tabela 11).

### **6.2.1.3 Acúmulo nutricional e de Si nos grãos de amendoim.**

Houve interações C x F nos acúmulos de todos nutrientes nos grãos de amendoim (Tabela 13), desdobradas nas Tabela 14.

**Tabela 13.** Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações no acúmulo nutricional e de Si nos grãos de amendoim. FCA, Botucatu, 2010.

Acúmulo grãos	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	B	Cu	Fe	Mn	Zn
(mg nos grãos de amendoim – 5 plantas)												
Calcário dolomítico	1149	125,0	194	19	65	44,1	496	0,63	0,21	2,70	0,37	1,06
Escória de Aciaria	494	53,1	80	8	22	16,9	127	0,31	0,09	0,74	0,17	0,50
semP	209	11,7	27	3	7	6,7	89	0,14	0,04	0,26	0,07	0,17
ST	542	58,0	73	5	24	17,7	66	0,16	0,06	0,94	0,20	0,28
ST + Micro	606	61,6	87	7	27	19,2	159	0,18	0,08	1,24	0,19	0,31
TM	1040	154,6	212	21	73	47,3	559	0,92	0,25	3,58	0,39	1,47
TM + Micro	1174	168,4	239	24	81	50,1	700	0,99	0,27	2,34	0,42	1,63
FNR	1204	92,0	173	18	52	40,1	216	0,46	0,20	1,90	0,34	0,87
FNR + Micro	975	77,0	148	15	43	32,4	390	0,47	0,14	1,81	0,28	0,73
Corretivos de Acidez (C)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fontes de adubação (F)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C x F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	37	33	34	42	34	34	79	43	44	46	37	39

Médias seguidas por letras distintas nas colunas, diferem entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

\*, ns = Significativo a 5% de probabilidade e não significativo pela análise de variância, respectivamente.

**Tabela 14.** Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) do acúmulo nutricional e de Si nos grãos de amendoim (valores representam cinco plantas por vaso).

Fontes de adubação	N		P		K		Ca		Mg		S	
	Calcário	Escócia	Calcário	Escócia	Calcário	Escócia	Calcário	Escócia	Calcário	Escócia	Calcário	Escócia
sem P	67 Ad	351 Aa	3,1 Ac	20,3 Ab	8 Ad	46 Aa	1 Ab	5 Aab	3 Ad	12 Ab	2,2 Ad	11,3 Aab
ST	813 Ac	271 Ba	88,4 Ab	27,6 Bb	109 Acd	37 Ba	8 Ab	3 Ab	38 Ac	10 Bb	26,9 Ac	8,5 Bb
ST + Micro	909 Aabc	304 Ba	92,2 Ab	31,0 Bb	129 Aabc	45 Ba	10 Ab	3 Ab	42 Ac	11 Bb	29,4 Aabc	9,0 Bb
TM	1467 Aabc	613 Ba	225,4 Aa	83,9 Bab	312 Aa	113 Bab	32 Aa	10 Bab	112 Aa	34 Bab	70,8 Aa	23,8 Bab
TM + Micro	1528 Aab	821 Ba	225,3 Aa	111,5 Ba	320 Aa	158 Ba	32 Aa	16 Ba	114 Aa	48 Ba	68,3 Aa	32,0 Ba
FNR	1740 Aa	668 Ba	125,4 Ab	58,5 Bab	251 Aa	94 Bab	28 Aa	9 Bab	78 Ab	25 Bab	60,3 Aa	20,0 Bab
FNR + Micro	1518 Aab	432 Ba	115,3 Ab	38,7 Bb	227 Aab	69 Bab	24 Aa	7 Bab	69 Aabc	17 Bab	50,9 Aab	14,0 Bab

Fontes de adubação	Si		B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	Calcário	Escócia	Calcário	Escócia	Calcário	Escócia	Calcário	Escócia	Calcário	Escócia	Calcário	Escócia
sem P	5 Ac	173 Aa	0,04 Ad	0,23 Aab	0,01 Ad	0,08 Aab	0,07 Ad	0,45 Aa	0,02 Ac	0,12 Aa	0,05 Ad	0,29 Aabc
ST	40 Ac	91 Aa	0,22 Acd	0,11 Ac	0,09 Acd	0,03 Ab	1,51 Acd	0,37 Ba	0,28 Ab	0,11 Ba	0,44 Acd	0,13 Ac
ST + Micro	299 Aabc	19 Aa	0,24 Acd	0,12 Ac	0,12 Acd	0,03 Ab	2,13 Aabc	0,36 Ba	0,28 Ab	0,10 Ba	0,45 Acd	0,16 Ac
TM	780 Aab	337 Ba	1,32 Aa	0,52 Bab	0,37 Aa	0,13 Bab	6,00 Aa	1,15 Ba	0,59 Aa	0,20 Ba	2,08 Aa	0,87 Bab
TM + Micro	1239 Aa	161 Ba	1,33 Aa	0,65 Ba	0,35 Aab	0,18 Ba	3,31 Ab	1,36 Ba	0,57 Aa	0,28 Ba	2,16 Aa	1,11 Ba
FNR	339 Aabc	93 Aa	0,60 Aabc	0,31 Aab	0,31 Aab	0,10 Bab	3,02 Aabc	0,78 Ba	0,46 Aab	0,22 Ba	1,17 Ab	0,57 Babc
FNR + Micro	767 Aab	12 Ba	0,69 Ab	0,25 Bab	0,23 Aabc	0,06 Bab	2,89 Aabc	0,74 Ba	0,41 Aab	0,14 Ba	1,08 Aabc	0,38 Bbc

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas indicam diferença entre os corretivos de acidez na mesma fonte de adubação; e minúsculas indicam diferença entre as adubações fosfatadas, no mesmo corretivo de acidez (Tukey,  $P < 0,05$ ).



• Interação (C x F) para o teor e acúmulo nutricional e de Si nos grãos de amendoim

Entre os corretivos, o **acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S** foi maior nos tratamentos com calcário em todas as fontes fosfatadas, exceto no acúmulo de Ca nos tratamentos ST e ST+M, onde os corretivos não se diferenciaram (Tabela 14). O maior acúmulo desses nutrientes foi devido à maior produção de MS grãos/vaso aplicando calcário (Tabela 10).

No **acúmulo de N** o tratamento com FNR foi superior ao ST e ao sem P e a adição de micronutrientes não influenciou o acúmulo de N (Tabela 14). Nos tratamentos com escória não houve diferença entre os tratamentos nem efeito da adição de micronutrientes.

Nos tratamentos com calcário a ordem do **acúmulo de P** foi  $TM > ST = FNR > \text{sem P}$  e a adição de micronutrientes não alterou o acúmulo de P nos grãos (Tabela 14). Nos tratamentos com escória não houve diferença do acúmulo de P entre os tratamentos, incluindo a testemunha (sem P) e adição de micronutrientes não alterou o acúmulo de P (Tabela 14).

Em um nutriente tão móvel na planta quanto o P, o padrão de redistribuição parece ser determinado pelas propriedades da fonte e do dreno mais do que pelo sistema de transporte (BIELESKI, 1973); estudos com radioisótopos revelam que o movimento de P é determinado pelo movimento e pela demanda de carboidratos dentro da planta, e não pelos requerimentos de P do dreno (MARSHALL; WARDLAW, 1973).

Nos tratamentos com calcário o **acúmulo de K** aplicando TM foi maior que FNR, maior que ST e maior que sem P, porém não houve diferença entre sem P e ST e a adição de micronutrientes não alterou o acúmulo de K nos grãos (Tabela 14). Nos tratamentos com escória não houve diferença entre as fontes nem efeito da adição de micronutrientes.

Nos tratamentos com calcário a ordem do **acúmulo de Ca** foi  $TM = FNR > ST = \text{sem P}$  e a adição de micronutrientes não alterou o acúmulo de Ca nos grãos (Tabela 14). Nos tratamentos com escória não houve diferença entre as fontes nem efeito da adição de micronutrientes.

Nos tratamentos com calcário a ordem do **acúmulo de Mg** foi  $TM > FNR > ST > \text{sem P}$  e a adição de micronutrientes não teve efeito no acúmulo de Mg (Tabela

14). Nos tratamentos com escória não houve diferença entre as fontes nem efeito da adição de micronutrientes.

Nos tratamentos com calcário a ordem do **acúmulo de S** foi TM = FNR > ST > sem P e a adição de micronutrientes não alterou o acúmulo de S nas fontes fosfatadas (Tabela 14). Nos tratamentos com escória não houve diferença entre as fontes nem efeito da adição de micronutrientes.

Comparando os corretivos, os tratamentos com calcário foram superiores aos com escória nas fontes fosfatadas TM, TM + Micro, FNR + Micro nos acúmulos de Si e B, nos demais tratamentos os corretivos não se diferenciaram (Tabela 14). Nos acúmulos de Cu e Zn, os tratamentos com calcário foram superiores aos com escória nas fontes fosfatadas TM, TM + Micro, FNR e FNR + Micro e os tratamentos com escória foram superiores ao com calcário em todas as fontes fosfatadas no acúmulo de Fe e Mn (Tabela 14).

No **acúmulo de Si**, aplicando calcário, o TM não se diferenciou do FNR, mas foi superior ao ST e sem P (Tabela 14). Nos tratamentos com escória não houve diferença entre as fontes e não efeito da adição de micronutrientes em nenhum dos corretivos.

Por apenas o TM ter fornecido Si (393g de Si) entre as fontes fosfatadas, esperava-se que o acúmulo de Si utilizando TM fosse superior as demais fontes de adubação independente do corretivo de acidez, porém só foi observada diferença entre as fontes aplicando calcário e foi semelhante a FNR.

No **acúmulo de B**, o TM foi maior que FNR, maior que ST e maior que sem P e nos tratamentos com escória o acúmulo de B foi menor quando o ST foi utilizado. A adição de micronutrientes não alterou o acúmulo de B em nenhum dos corretivos utilizados (Tabela 14).

No **acúmulo de Cu**, a ordem das fontes nos tratamentos com calcário foi TM > FNR > ST > sem P; a adição de micronutrientes causou aumento no acúmulo de Cu quando o ST foi aplicado e diminuição quando o TM foi usado (Tabela 16). Nos tratamentos com escória não houve diferença entre as fontes nem efeito da adição de micronutrientes.

No **acúmulo de Fe**, aplicando calcário o TM foi maior que FNR, maior que ST e maior que sem P (Tabela 14). A adição de micronutrientes causou diminuição quando o TM foi usado e o acúmulo de Mn não foi alterado pela aplicação de micro.

No **acúmulo de Mn**, aplicando calcário o TM foi semelhante ao FNR, maior que ST e maior que sem P (Tabela 14). Nos tratamentos com escória não houve diferença entre as fontes nem efeito da adição de micronutrientes no acúmulo de Fe e Mn.

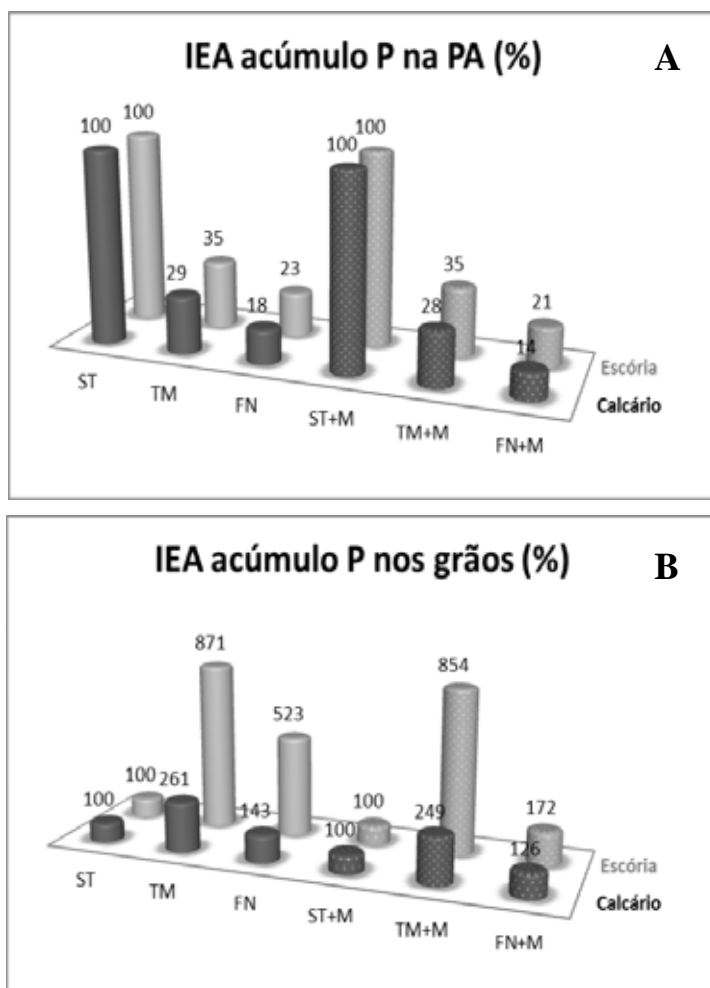
No **acúmulo de Zn**, a ordem das fontes nos tratamentos com calcário foi  $TM > FNR > ST > \text{sem P}$ ; a adição de micronutrientes causou diminuição no acúmulo de Zn quando o FNR foi aplicado (Tabela 14). Nos tratamentos com escória o acúmulo de Zn com TM foi semelhante ao FNR e ao sem P, e superior ao ST. Não houve efeito da adição de micronutrientes no acúmulo de Zn.

#### **6.2.1.4 IEA de acúmulo de P na PA e nos grãos de amendoim**

Em ambos corretivos o IEA das fontes fosfatadas no acúmulo de P na PA seguiu a ordem decrescente  $ST > TM > FNR$  com ou sem aplicação de micronutrientes (Figura 1A). Os resultados concordam com Rein et al. (1994), que constataram menor eficiência do fosfato de Arad, comparado à do superfosfato triplo, como fonte de P no cultivo de aveia, soja e trigo, em solos com acidez corrigida.

Aplicando calcário e escória, o IEA do TM foi igual a 29% e 35% do ST e o IEA do FN igual a 18% e 23% respectivamente (Figura 1A). Essas diferenças de 11% (calcário) e 12% (escória) entre as duas fontes no IEA no acúmulo de P na PA não influenciaram na produção de MS PA, que mostraram valores semelhantes aplicando TM e FNR (Anexo 9).

Em ambos corretivos o IEA das fontes fosfatadas no acúmulo de P nos grãos seguiu a ordem decrescente  $TM > FNR > ST$  com ou sem aplicação de micronutrientes (Figura 1B). Aplicando calcário, o TM teve o IEA 118% maior que o FNR, porém essa diferença não influenciou na produção de MS grãos/vaso, que foi semelhante nestas duas fontes (Tabela 10).



**Figura 1.** Índice de eficiência agrônômica (IEA) no acúmulo de fósforo na parte aérea (A) e grãos (B) de plantas de amendoim aplicando diferentes corretivos de acidez.

A diferença do IEA entre as fontes fosfatadas não influenciaram na produção de MS grãos/vaso, que foram semelhantes em todos tratamentos, inclusive a testemunha (Tabela 10). Corroborando Richart et al. (2006), que verificaram superioridade do superfosfato triplo em relação ao fosfato natural reativo na produção de matéria seca total da soja e no entanto, para a produção de grãos da soja, esses autores não observaram diferença significativa entre as fontes, mostrando que os fosfatos se equivaleram no fornecimento de P para a cultura. Esses resultados são semelhantes aos observados por Horowitz e Meurer (2004) e Sousa e Lobato (2003), os quais relatam que os fosfatos naturais reativos podem ser bastante efetivos em suprir P às culturas, uma vez que se constituem em fonte de liberação controlada de P.

## 6.2.2 No solo.

### 6.2.2.1 Atributos químicos e macronutrientes no solo após a colheita de plantas de amendoim.

Não houve interação nos atributos químicos e macronutrientes no solo após a colheita do amendoim, mas houve diferença entre corretivos de acidez e fontes de adubação isoladamente (Tabela 15).

**Tabela 15.** Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações nos atributos químicos do solo após a colheita de plantas de amendoim. FCA, Botucatu, 2010.

Corretivos de Acidez (C)	pH	Presina	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	----- mmolc dm <sup>-3</sup> -----			-----			(%)
Calcário dolomítico	5,9	115	22	1,8 a	42 b	17 a	61 b	83 b	71 b
Escória de Aciaria	6,0	103	22	1,4 b	59 a	12 b	72 a	94 a	75 a
Fontes de adubação (F)									
sem P	5,5 c	7 b	27 b	2,2 a	29 b	9 b	40 c	67 d	60 c
ST	5,4 c	103 a	31 a	1,2 c	35 b	10 b	46 c	76 cd	61 c
ST + Micro	5,4 c	118 a	31 a	1,4 bc	37 b	9 b	47 c	79 bcd	59 c
TM	6,9 a	105 a	12 d	1,9 ab	64 a	27 a	93 a	105 a	89 a
TM + Micro	6,8 a	118 a	11 d	1,9 ab	63 a	26 a	92 a	103 a	89 a
FNR	5,9 b	155 a	22 c	1,6 bc	64 a	10 b	75 ab	97 ab	77 b
FNR + Micro	5,9 b	155 a	21 c	1,2 c	60 a	10 b	70 b	92 abc	77 b
Causas da Variação									
Corretivos de Acidez (C)	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*
Fontes de adubação (F)	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C x F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	3	38	10	26	20	22	20	14	5

Médias seguidas por letras distintas nas colunas, diferem entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

\*, ns = Significativo a 5% de probabilidade e não significativo pela análise de variância, respectivamente.

#### • Efeito isolado dos corretivos de acidez (C) e/ou das fontes de adubação (F)

A aplicação de escória resultou em maiores valores de **Ca**, **SB**, **CTC** e **V%** e a aplicação de calcário resultou em maiores teores de **K** e **Mg** (Tabela 15).

Nas doses calculadas dos corretivos para elevar o V% a 60, foram aplicados 483 e 1110 mg de Ca dm<sup>-3</sup> de solo pelo calcário e pela escória, respectivamente

(Tabela 3), o que explica os valores maiores quando a escória foi aplicada no teor de Ca, SB, CTC e V%.

O maior teor de **Mg** utilizando o calcário foi devido sua composição química com mais Mg que a escória (Tabela 2), ou seja, utilizando-o para elevar a V% = 60, foi aplicado 46% mais Mg por  $\text{dm}^3$  de solo que utilizando a escória (Tabela 3).

Comparando as fontes de adubação, a ordem dos atributos **pH e V%** na média dos corretivos foi  $\text{TM} > \text{FNR} > \text{ST} = \text{sem P}$ . E a ordem para a **SB e Ca** foi  $\text{TM} = \text{FNR} > \text{ST} = \text{sem P}$ . A adição de micronutrientes não alterou o valor desses atributos (Tabela 15). Ao se aplicar fosfato monocálcio (DAP, MAP, SS, ST, etc.) no solo há uma reação de hidrólise com a formação de ácido fosfórico e fosfato bicálcio. No solo o ácido fosfórico se dissocia até a formação de íons  $\text{H}^+$  resultando num abaixamento do pH ao redor do grânulo, justificando dessa forma o pH mais baixo da fonte ST. Braga e Amaral (1971) também observaram uma diminuição significativa do pH do solo, devido, provavelmente, à acidificação do solo causada pela hidrólise do ST.

Todas as fontes de P resultaram em maior teor de **Presina** que a testemunha (sem P) e não se diferenciaram entre elas. A adição de micronutrientes não alterou o valor do P no solo (Tabela 15).

A ordem dos valores do **H+Al** foi  $\text{ST} > \text{sem P} > \text{FNR} > \text{TM}$ . No teor de **K**, o tratamento sem P semelhante ao TM, maior que o FNR e maior que ST. O teor de **Mg** foi maior no solo que recebeu TM que nos demais tratamentos (Tabela 15). A adição de micronutrientes não alterou o valor de H+Al, nem os teores de K e Mg no solo (Tabela 15).

#### **6.2.2.2 Silício e micronutrientes no solo após a colheita de plantas de amendoim.**

##### **• Interação corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F)**

Houve interação C x F no teor de B, Fe e Mn no solo após a colheita de amendoim (Tabela 16). As interações foram desdobradas na Tabela 17.

**Tabela 16.** Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações no silício e micronutrientes do solo após a colheita de plantas de amendoim. FCA, Botucatu, 2010.

Corretivos de Acidez (C)	Si	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----					
Calcário dolomítico	6,2 b	0,02	1,0	27	0,9	5,2
Escória de Aciaria	9,9 a	0,03	1,0	35	6,9	4,9
Fontes de adubação (F)						
sem P	5,1 b	0,02	0,9 ab	33	4,5	0,3 b
ST	5,2 b	0,02	1,0 ab	40	5,0	0,3 b
ST + Micro	5,2 b	0,02	1,0 ab	39	5,6	0,4 b
TM	14,8 a	0,02	1,1 a	26	3,3	15,8 a
TM + Micro	15,1 a	0,05	1,1 a	23	3,0	17,4 a
FNR	5,5 b	0,03	0,9 ab	30	3,0	0,6 b
FNR + Micro	5,4 b	0,02	0,8 b	27	3,0	0,5 b
Causas da Variação						
Corretivos de Acidez (C)	*	*	ns	*	*	ns
Fontes de adubação (F)	*	*	*	*	*	*
C x F	ns	*	ns	*	*	ns
CV (%)	16	46	10	9	34	48

Médias seguidas por letras distintas nas colunas, diferem entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. \*, ns = Significativo a 5% de probabilidade e não significativo pela análise de variância, respectivamente.

**Tabela 17.** Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) de micronutrientes no solo após a colheita de plantas de amendoim.

Fontes de adubação	B		Fe		Mn	
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----					
	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória
sem P	0,02 Ab	0,02 Aa	26 Bbc	39 Abc	0,3 Ba	8,6 Aab
ST	0,02 Ab	0,02 Aa	32 Ba	48 Aa	0,6 Ba	9,4 Aa
ST + Micro	0,01 Ab	0,02 Aa	34 Ba	45 Aab	0,7 Ba	10,6 Aa
TM	0,01 Bb	0,03 Aa	24 Bc	28 Ad	2,0 Ba	4,5 Ac
TM + Micro	0,05 Aa	0,04 Aa	24 Bc	21 Ae	2,1 Aa	4,0 Ac
FNR	0,01 Bb	0,04 Aa	26 Bbc	35 Ac	0,3 Ba	5,7 Ab
FNR + Micro	0,01 Bb	0,03 Aa	25 Ac	28 Ad	0,3 Ba	5,8 Ab

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas indicam diferença entre os corretivos de acidez na mesma fontes de adubação; e minúsculas indicam diferença entre as adubações fosfatadas, no mesmo corretivo de acidez (Tukey, P<0,05).

Aplicando escória, o teor de **B** foi superior nos tratamentos TM, FNR e FNR+Micro (Tabela 17). Utilizando calcário o teor de B no tratamento TM+micro foi superior às outras adubações. Entre os tratamentos com escória, não houve diferença entre as adubações nem efeito da adição de micronutrientes.

Aplicando escória, o teor de **Fe** foi superior no tratamentos FNR+Micro (Tabela 17). Utilizando calcário o teor de Fe no tratamento ST foi maior que

FNR, maior que TM maior que sem P e a aplicação de micronutriente não alterou no teor de Fe. Entre os tratamentos com escória, a ordem do teor de Fe foi  $ST > FNR = sem P > TM$  e a aplicação de micronutriente diminuiu o teor de Fe quando o TM ou o FNR foi aplicado.

Comparando corretivos, o teor de **Mn** foi superior aplicando escória em todos tratamentos exceto TM+Micro (Tabela 17) devido a composição química da escória, pois foram aplicados 98,60 mg a mais de Mn por esse corretivo silicatado que quando aplicou-se calcário (Tabela 3). Utilizando calcário não houve diferença no teor de Mn entre as adubações nem efeito da adição de micronutrientes. Com escória, o teor de Mn seguiu a ordem  $ST = sem P > FNR > TM$  e não teve efeito da adição de micronutrientes.

• Efeito isolado dos corretivos de acidez (C) e/ou das fontes de adubação (F)

Não houve interação no teor de Si, Cu e Zn, mas houve diferença entre corretivos de acidez e fontes de adubação isoladamente (Tabela 16). A aplicação de escória resultou em acúmulo de Si 60% maior que a aplicação de calcário.

O teor de Si, Cu e Zn foi maior no tratamento TM que nos demais, devido à composição química dessa fonte fosfatada que forneceu 393; 2,28 e 12,18 mg por  $dm^3$  de solo respectivamente destes elementos (Tabela 3) e a adição de micronutriente não alterou o teor de Si, Cu e Zn (Tabela 16).

### 6.2.3 Considerações finais Experimento 2: Amendoim

A aplicação de escória resultou em plantas 24% mais altas, com produção de MSPA 36% maior que aplicando calcário, porém a produção de MS dos grãos por vaso foi maior com a calagem, corretivo em que seguiu a ordem  $TM = FNR > ST > sem P$ .

O acúmulo de P na PA foi maior aplicando escória e nos grãos foi maior utilizando calcário. Em ambos corretivos o IEA de acúmulo de P na PA foi  $ST > TM > FNR$  e nos grãos foi  $TM > FNR > ST$ .

Após a colheita de amendoim não houve diferença entre os corretivos no pH nem no teor de P no solo. Todas as fontes fosfatadas resultaram no teor de P no solo maior que a testemunha, porém não se diferenciaram entre si. O teor de Si foi maior nos tratamentos com escória e entre as fontes de adubação, foi maior quando o TM foi aplicado, devido a constituição química destes materiais.



### 6.3 EXPERIMENTO 3: Capim – corretivos de acidez x fontes de P

#### 6.3.1 Na planta

##### 6.3.1.1 Produção de massa seca nos quatro cortes de capim.

Para facilitar a discussão e evitar a repetição dos dados, optou-se por discutir no EXPERIMENTO 3 primeiramente a interação dupla, e no caso de não haver interação, depois discutir as causas de variações isoladas.

##### • Interação corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F)

Houve interação C x F na produção de massa seca (MS) no 1º, 3º, 4º e soma de cortes por vaso (Tabela 18).

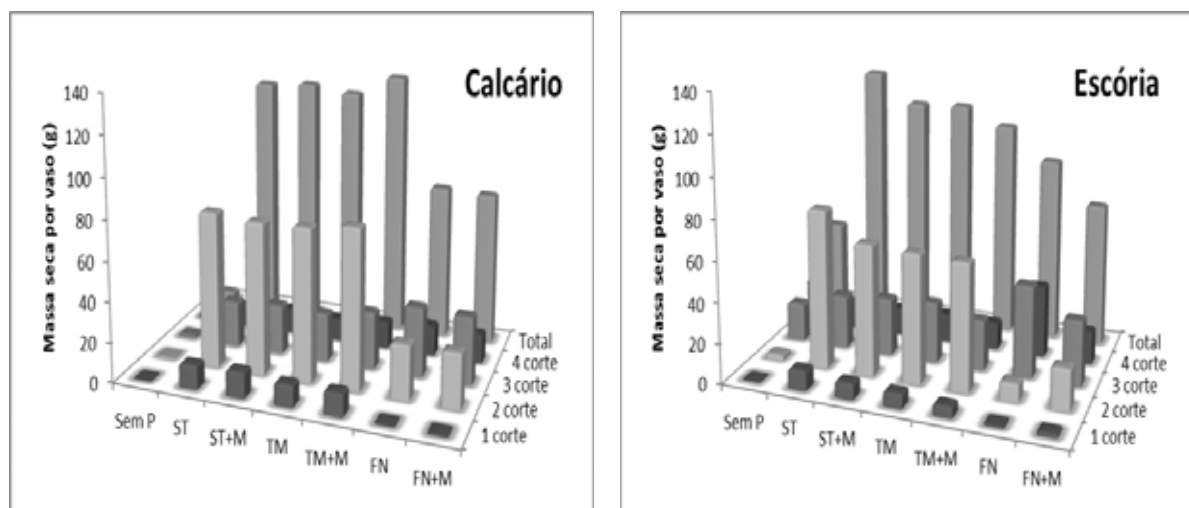
**Tabela 18.** Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações na produção de matéria massa (MS) por vaso (20 plantas) em quatro cortes e na soma dos cortes de capim marandu.

Corretivos de Acidez (C)	MS	MS	MS	MS	MS
	1º corte	2º corte	3º corte	4º corte	TOTAL
----- g (20 plantas) -----					
Calcário dolomítico	7,09	43,54 b	24,44	11,53	95,39
Escória de Aciaria	4,92	52,33 a	29,83	18,57	96,86
<b>Fontes de adubação (F)</b>					
sem P	0,41	1,75 c	10,40	12,28	24,84
ST	11,01	78,78 a	24,80	12,74	127,33
ST + Micro	10,47	70,75 a	26,77	12,89	120,88
TM	9,18	70,55 a	27,25	12,73	119,71
TM + Micro	8,53	71,67 a	26,98	13,46	120,64
FNR	0,89	18,15 b	40,43	25,56	85,03
FNR + Micro	1,52	23,91 b	33,30	15,72	74,44
<b>Causas da Variação</b>					
Corretivos de Acidez (C)	*	*	*	*	ns
Fontes de adubação (F)	*	*	*	*	*
C x F	*	ns	*	*	*
CV (%)	20	22	24	17	18

Médias seguidas por letras distintas nas colunas, diferem entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

\*, ns = Significativo a 5% de probabilidade e não significativo pela análise de variância, respectivamente.

A interação foi desdobrada na Figura 2. Primeiramente foi discutida a diferença entre os corretivos em cada tratamento, depois as fontes foram comparadas (sem P, ST, TM e FNR) em cada corretivo e então relatado se a adição de micronutrientes em cada fonte fosfatada influenciou nos parâmetros avaliados.



**Figura 2.** Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) da produção de matéria massa (MS) por vaso (20 plantas) nos quatro cortes de capim marandu aplicando calcário (figura à esquerda) e escória (figura à direita) como corretivos de acidez. Tabela com diferença (Tukey,  $P < 0,05$ ) entre corretivos de acidez e adubações Anexo 10.

Comparando os corretivos, a **MS 1º corte** foi superior aplicando a calcário nos tratamentos ST (2g), ST+Micro (5g), TM (4g) e TM+Micro (6g), nos demais tratamentos não houve diferença (Figura 2 e Anexo 10). Utilizando calcário a ordem das fontes foi  $ST = TM > FNR = \text{sem P}$ . Entre os tratamentos com escória, a ordem da MS 1º corte foi  $ST = TM > FNR = \text{sem P}$  e não houve efeito da adição de micronutrientes em nenhum dos corretivos. Os resultados concordam com Costa et al. (2008) que relataram que ao final do primeiro corte, na presença da fonte de maior solubilidade (ST), a braquiária cultivada no LVdf respondeu com maior produção de biomassa da parte aérea e a aplicação de Fosfato de Araxá (FA) promoveu uma menor produção de matéria seca.

Entre os corretivos, a **MS 2º corte** foi superior aplicando calcário nos tratamentos TM+M (17g) e FNR (18g), nos demais tratamentos não se diferenciaram (Figura 2 e Anexo 10). Utilizando calcário a ordem da produção de MS foi  $ST = TM > FNR > \text{sem P}$ .

Entre os tratamentos com escória, os tratamentos ST e TM foram superiores aos demais e não houve efeito da adição de micronutrientes em nenhum corretivo. Resultados estes diferentes de Costa et al. (2008) que observaram que a partir do segundo corte da forrageira, o FR proporcionou uma maior produção de matéria seca que aplicando ST.

A produção de massa seca do capim-marandu no segundo corte foi maior em relação ao primeiro corte. Pode-se atribuir essa diferença ao fato de no primeiro crescimento a planta destinar mais energia para a formação e estabelecimento da estrutura da parte aérea e do sistema radicular. Já no segundo crescimento a planta tinha o sistema radicular formado, podendo a planta destinar energia para a produção e manutenção da parte aérea. Esse mesmo comportamento foi constatado por Santos (1999) com o capim braquiária (*Brachiaria decumbens*) e por Lavres Jr. (2001) com o capim-mombaça (*Panicum maximum*).

Entre os corretivos, a **MS no 3º e 4º corte** foi superior aplicando escória nos tratamentos sem P (17 e 20g) e FNR (11 e 21g), nos demais tratamentos não se diferenciaram. Utilizando calcário a produção de MS do 3º e 4º corte de todas fontes fosfatadas foram superiores a testemunha (sem P) e não houve efeito da adição de micronutrientes (Figura 2 e Anexo 10). Os dados corroboram Costa et al.(2008) que relataram que no terceiro corte, no LVdf corrigido com calcário dolomítico a V% igual a 55, as fontes ST e ST+FR, não apresentaram diferença significativa com relação ao tratamento com o FR.

No 3º corte, entre as fontes nos tratamentos com escória, o FNR foi superior às demais adubações e não houve efeito da adição de micronutrientes. No 4º corte, a ordem da produção de MS nos tratamentos com escória foi FNR > sem P > ST = TM e a aplicação de micronutriente diminuiu a produção de MS quando o FNR foi aplicado (Figura 2 e Anexo 10).

Independente do corretivo aplicado, a produção aplicando ST e TM provavelmente diminuiram no 3º e 4º corte (Figura 2 e Anexo 10) devido à deficiência de N e/ou K, pois as adubações complementares com N e K deveriam ser feitas de maneira diferenciadas de acordo com o crescimento da forragem em cada tratamento, já que estes tratamentos produziram grande quantidade de MS no 1º e 2º corte, porém as aplicações foram realizadas na mesma dose para todos tratamentos.

Entre os corretivos, a **MS Total** foi superior aplicando escória no tratamento sem P (39g); aplicando calcário foi superior no tratamento TM+Micro (26g) e nos

demais tratamentos não houve diferença (Figura 2 e Anexo 10). Utilizando calcário a ordem da produção de MS foi  $ST = TM > FNR > \text{sem P}$ . Nos tratamentos com escória, a produção de MS com ST foi semelhante ao TM, maior que o FNR e maior que o sem P e em ambos corretivos não houve efeito da adição de micronutrientes

Assim como o efeito da escória no Experimento 1 no diâmetro, MS Raiz (Tabela 10) e MS PA (Anexo 9) de plantas de amendoim no tratamento sem P, os maiores valores de MS de capim aplicando escória nos cortes 3º, 4º e Total provavelmente se deve ao efeito benéfico do Si em plantas estressadas. O Si tem sido relacionado à redução de efeitos prejudiciais decorrentes de agentes químicos (salinidade, toxidez causada por metal pesado, desbalanço de nutrientes) e físicos (acamamento, seca, radiação, alta e baixa temperaturas) (ZHU et al., 2004; MA; YAMAJI, 2006).

#### **6.3.1.2 Acúmulo nutricional e de Si nos quatro cortes da parte aérea de capim marandu.**

- **1º corte:** Houve interação C x F nos acúmulos de todos nutrientes analisados exceto Si (Tabela 19). As interações foram desdobrados na Tabela 20.
- **2º corte:** Houve interação C x F nos acúmulos de todos nutrientes analisados exceto P, Fe e Zn (Tabela 19). As interações foram desdobrados na Tabela 21.
- **3º corte:** Houve interação C x F nos acúmulos de N, K, S, Si, B, Cu, Fe e Mn (Tabela 22). As interações foram desdobrados na Tabela 23.
- **4º corte:** Houve interação C x F nos acúmulos de todos nutrientes analisados exceto P, K e Fe (Tabela 22). As interações foram desdobrados na Tabela 24.

**Tabela 19.** Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações no teor e acúmulo de nutricional e de Si na parte aérea do 1º e 2º CORTE de capim marandu. FCA, Botucatu, 2010.

Acúmulo 1º corte	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Calcário dolomítico	261	40,5	175	28	66,1	20,6	44	0,12	0,08	2,69	1,25	0,24
Escória de Aciaria	191	23,5	242	26	33,1	13,0	4	0,08	0,04	1,35	1,39	0,15
semP	23	0,3	5	2	1,5	1,1	4	0,01	0,00	0,19	0,09	0,00
ST	340	73,5	381	48	87,4	32,1	37	0,16	0,12	2,90	2,47	0,16
ST + Micro	395	70,9	390	48	83,2	30,7	22	0,16	0,11	3,20	2,56	0,16
TM	322	37,2	319	41	86,3	23,9	50	0,17	0,09	4,04	1,69	0,48
TM + Micro	325	38,3	308	39	79,5	24,6	50	0,16	0,09	2,85	1,91	0,53
FNR	46	1,2	15	4	3,2	2,0	1	0,02	0,01	0,45	0,19	0,01
FNR + Micro	72	2,8	40	7	6,1	3,5	4	0,03	0,01	0,52	0,31	0,03
Corretivos de Acidez (C)	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	*	ns	*
Fontes de adubação (F)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C x F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	21	24	26	28	31	23	60	27	26	54	33	27
Acúmulo 2º corte	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg na parte aérea de capim marandu – 20 plantas												
Calcário dolomítico	861	129,2	978	178	374,3	77,0	477	1,10	0,29	10,96 a	4,65	0,96
Escória de Aciaria	860	112,6	1061	208	579,6	71,8	610	0,65	0,25	8,11 b	10,73	0,94
semP	69	3,3 c	61	8	5,8	3,9	7	0,04	0,02	0,48 c	0,51	0,04 b
ST	1199	240,2 a	1259	344	881,4	119,2	677	1,36	0,42	14,46 a	15,42	0,58 b
ST + Micro	1200	238,9 a	1321	337	776,7	111,2	662	1,46	0,39	14,67 a	15,67	0,50 b
TM	1148	143,6 b	1484	246	709,9	104,3	1006	1,25	0,39	12,34 a	7,86	2,36 a
TM + Micro	1199	139,5 b	1488	242	707,6	107,7	1283	1,28	0,39	13,23 a	8,33	2,39 a
FNR	527	37,6 c	671	72	118,6	32,4	87	0,39	0,14	5,04 b	2,30	0,36 b
FNR + Micro	685	43,3 c	853	100	138,5	42,0	84	0,38	0,16	6,56 b	3,75	0,44 b
Corretivos de Acidez (C)	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	ns	*	*	ns
Fontes de adubação (F)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C x F	*	ns	*	*	*	*	*	*	*	ns	*	ns
CV (%)	24	39	27	19	23	21	43	29	26	29	29	44

Médias seguidas por letras distintas nas colunas, diferem entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.  
\*, ns = Significativo a 5% de probabilidade e não significativo pela análise de variância, respectivamente.

**Tabela 20.** Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) do acúmulo nutricional na parte aérea do 1º CORTE de capim marandu (valores representam vinte plantas por vaso).

Adubação Fosfatada	N		P		K		Ca		Mg		S	
	----- mg na parte aérea de capim marandu (vinte plantas) -----											
	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória
sem P	23 Ab	23 Ac	0,3 Ac	0,3 Ac	4 Ab	6 Ac	1 Ab	2 Ac	1,8 Ab	1,2 Ab	1,1 Ac	1,1 Ac
ST	455 Aa	344 Ba	93,2 Aa	53,8 Ba	423 Aa	339 Ba	49 Aa	47 Aa	123,6 Aa	51,3 Ba	39,6 Aa	24,6 Ba
ST + Micro	460 Aa	330 Bab	91,3 Aa	50,5 Ba	475 Aa	305 Bab	48 Aa	48 Aa	114,1 Aa	52,3 Ba	38,6 Aa	22,8 Bab
TM	376 Aa	269 Bab	44,3 Ab	30,0 Bb	360 Aa	278 Bab	42 Aa	40 Aab	103,8 Aa	68,9 Ba	27,1 Ab	20,6 Bab
TM + Micro	421 Aa	229 Bb	52,0 Ab	24,6 Bb	397 Aa	218 Bb	49 Aa	29 Bb	111,1 Aa	47,8 Ba	34,1 Aab	15,2 Bb
FNR	42 Ab	50 Ac	1,2 Ac	1,1 Ac	15 Ab	16 Ac	3 Ab	5 Ac	3,8 Ab	2,7 Ab	1,8 Ac	2,1 Ac
FNR + Micro	50 Ab	94 Ac	1,6 Ac	4,1 Ac	18 Ab	62 Ac	4 Ab	11 Ac	4,7 Ab	7,6 Ab	2,3 Ac	4,8 Ac

Adubação Fosfatada	Si		B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	----- mg na parte aérea de capim marandu (vinte plantas) -----											
	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória
sem P	2 Ac	5 Aa	0,01 Ab	0,01 Ab	0,00 Ad	0,00 Ab	0,23 Ac	0,14 Aa	0,06 Ac	0,12 Ad	0,01 Ad	0,00 Ac
ST	59 Ab	14 Ba	0,19 Aa	0,14 Ba	0,16 Aa	0,09 Ba	3,43 Ab	2,37 Aa	2,18 Aab	2,77 Aa	0,16 Ac	0,15 Ab
ST + Micro	43 Ab	0 Ba	0,20 Aa	0,13 Ba	0,15 Aab	0,08 Ba	4,23 Aab	2,18 Ba	2,46 Aa	2,66 Aa	0,18 Ac	0,15 Ab
TM	93 Aa	7 Ba	0,22 Aa	0,12 Ba	0,10 Ac	0,07 Ba	5,91 Aa	2,17 Ba	1,44 Aa	1,94 Aab	0,57 Ab	0,39 Ba
TM + Micro	101 Aa	0 Ba	0,21 Aa	0,10 Ba	0,12 Abc	0,06 Ba	4,30 Aab	1,39 Ba	2,39 Aab	1,43 Bbc	0,75 Aa	0,32 Ba
FNR	3 Ac	0 Aa	0,02 Ab	0,02 Ab	0,01 Ad	0,01 Ab	0,27 Ac	0,62 Aa	0,10 Ac	0,27 Ad	0,01 Ad	0,01 Ac
FNR + Micro	8 Ac	1 Aa	0,03 Ab	0,04 Ab	0,01 Ad	0,01 Ab	0,49 Ac	0,56 Aa	0,12 Ac	0,51 Acd	0,02 Ad	0,04 Ac

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas indicam diferença entre os corretivos de acidez na mesma fontes de adubação; e minúsculas indicam diferença entre as adubações fosfatadas, no mesmo corretivo de acidez (Tukey, P<0,05).

**Tabela 21.** Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) do acúmulo nutricional e de Si na parte aérea do 2º CORTE de capim marandu (valores representam vinte plantas por vaso).

Adubação Fosfatada	N		K		Ca		Mg		S	
	----- mg na parte aérea de capim marandu (vinte plantas) -----									
	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória
sem P	36 Ab	103 Ac	15 Ab	108 Ab	2 Ad	14 Ad	2,8 Ac	8,7 Ab	1,9 Ac	5,9 Ab
ST	1041 Ba	1357 Aa	975 Ba	1542 Aa	311 Ba	378 Aa	1141,6 Aa	621,2 Ba	116,9 Aa	121,6 Aa
ST + Micro	1146 Aa	1255 Aa	1164 Aa	1479 Aa	294 Bab	379 Aa	961,2 Aab	592,2 Ba	113,5 Aa	108,9 Aa
TM	1016 Aa	1281 Aa	1301 Aa	1667 Aa	219 Bb	273 Ab	637,2 Ab	782,6 Aa	100,5 Aa	108,2 Aa
TM + Micro	1188 Aa	1211 Aa	1375 Aa	1602 Aa	224 Ab	261 Ab	790,5 Ab	624,7 Ba	111,2 Aa	104,2 Aa
FNR	801 Aa	253 Bbc	1016 Aa	327 Bb	99 Ac	45 Bcd	188,6 Ac	48,7 Ab	47,4 Ab	17,4 Bb
FNR + Micro	804 Aa	566 Ab	1000 Aa	706 Ab	97 Ac	103 Ac	189,8 Ac	87,1 Ab	47,6 Ab	36,3 Ab

Adubação Fosfatada	Si		B		Cu		Mn	
	----- mg na parte aérea de capim marandu (vinte plantas) -----							
	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória
sem P	7 Ab	6 Ab	0,02 Ac	0,06 Ab	0,01 Ac	0,03 Ab	0,13 Ac	0,89 Ac
ST	219 Bb	1136 Aa	1,73 Aa	0,99 Ba	0,40 Aa	0,44 Aa	7,77 Ba	23,08 Aa
ST + Micro	409 Bb	916 Aa	1,81 Aa	1,11 Ba	0,38 Aa	0,40 Aa	9,36 Ba	21,97 Aa
TM	1190 Aa	823 Ba	1,55 Aa	0,95 Ba	0,37 Aab	0,42 Aa	5,36 Bab	10,36 Ab
TM + Micro	1389 Aa	1177 Aa	1,60 Aa	0,97 Ba	0,44 Aa	0,33 Ba	5,49 Bab	11,17 Ab
FNR	89 Ab	84 Ab	0,63 Ab	0,15 Bb	0,22 Ab	0,07 Bb	2,26 Abc	2,35 Ac
FNR + Micro	36 Ab	133 Ab	0,40 Abc	0,36 Ab	0,22 Ab	0,10 Bb	2,22 Abc	5,28 Ac

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas indicam diferença entre os corretivos de acidez na mesma fonte de adubação; e minúsculas indicam diferença entre as adubações fosfatadas, no mesmo corretivo de acidez (Tukey, P<0,05).

**Tabela 22.** Análise de variância em relação aos corretivos de acidez (C), fontes de adubação (F) e suas interações no acúmulo nutricional e de Si na parte aérea do 3º CORTE e 4º CORTE de capim marandu. FCA, Botucatu, 2010.

Acúmulo 3º corte	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Calcário dolomítico	248	54,0 a	285	80 b	260,4	35,1	806	0,36	0,08	10,39	1,97	0,34
Escória de Aciaria	393	57,5 a	472	118 a	219,3	40,2	370	0,40	0,15	11,17	7,35	0,42
semP	241	9,8 d	290	34 c	34,6 b	18,4	223	0,18	0,07	5,20	1,98	0,15 c
ST	261	86,5 ab	228	116 ab	295,5 a	37,5	543	0,31	0,08	9,84	8,36	0,21 c
ST + Micro	270	93,5 a	242	128 ab	344,6 a	39,0	666	0,36	0,10	10,85	9,00	0,24 bc
TM	228	56,4 bc	254	96 ab	249,0 a	35,8	938	0,35	0,09	11,36	3,22	0,61 a
TM + Micro	231	52,1 bc	248	87 b	286,8 a	34,2	908	0,34	0,11	10,38	2,50	0,57 a
FNR	642	50,1 c	827	131 a	244,7 a	56,7	381	0,62	0,20	15,26	4,03	0,47 ab
FNR + Micro	370	41,8 cd	563	102 ab	224,0 a	42,2	453	0,52	0,16	12,57	3,55	0,38 abc
Corretivos de Acidez (C)	*	ns	*	*	ns	*	*	ns	*	ns	*	ns
Fontes de adubação (F)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C x F	*	ns	*	ns	ns	*	*	*	*	*	*	ns
CV (%)	30	41	31	27	44	24	46	25	30	36	40	42
Acúmulo 4º corte	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg na parte aérea de capim marandu – 20 plantas												
Calcário dolomítico	93	25,0 b	135 b	49	89,6	19,2	219	0,22	0,03	7,31	0,88	0,14
Escória de Aciaria	146	31,9 a	205 a	81	117,3	26,8	626	0,34	0,04	8,78	4,30	0,23
semP	132	8,7 b	206 b	39	40,8	16,8	267	0,24	0,03	4,22 b	2,60	0,13
ST	100	34,9 a	125 c	68	100,2	23,8	295	0,22	0,03	8,37 ab	4,01	0,12
ST + Micro	92	33,2 a	112 c	70	108,4	22,6	303	0,24	0,03	7,02 ab	4,21	0,12
TM	91	31,1 a	134 c	55	105,1	20,1	555	0,22	0,03	7,00 ab	1,47	0,25
TM + Micro	96	33,4 a	135 c	58	107,2	20,6	596	0,33	0,03	9,93 ab	1,10	0,26
FNR	213	33,4 a	278 a	102	170,1	34,5	628	0,40	0,05	11,24 a	3,17	0,27
FNR + Micro	113	24,2 a	200 b	63	92,3	22,6	313	0,34	0,03	8,52 ab	1,64	0,16
Corretivos de Acidez (C)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns	*	*
Fontes de adubação (F)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C x F	*	ns	ns	*	*	*	*	*	*	ns	*	*
CV (%)	19	27	16	25	33	21	47	18	17	47	43	25

Médias seguidas por letras distintas nas colunas, diferem entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

\*, ns = Significativo a 5% de probabilidade e não significativo pela análise de variância, respectivamente.



**Tabela 23.** Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) do acúmulo nutricional e de Si na parte aérea do 3º CORTE de capim marandu (valores representam vinte plantas por vaso).

Adubação Fosfatada	N		K		S		Si	
	----- mg na parte aérea de capim marandu (vinte plantas) -----							
	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória
sem P	64 Bb	418 Ab	30 Bc	550 Ab	4,3 Bb	32,5 Ab	30 Bb	415 Ab
ST	243 Aab	280 Ab	231 Abc	224 Ac	38,1 Aa	37,0 Ab	193 Bb	893 Aab
ST + Micro	263 Aab	278 Ab	237 Abc	248 Ac	38,2 Aa	39,8 Ab	245 Bb	1085 Aa
TM	203 Aab	252 Ab	240 Abc	267 Ac	34,8 Aa	36,7 Ab	842 Aa	1034 Aa
TM + Micro	254 Aab	208 Ab	288 Aabc	208 Ac	38,2 Aa	30,1 Ab	949 Aa	867 Aab
FNR	364 Ba	921 Aa	511 Ba	1143 Aa	48,1 Ba	65,3 Aa	177 Bb	585 Aab
FNR + Micro	346 Aa	395 Ab	462 Bab	663 Ab	44,1 Aa	40,2 Ab	156 Bb	762 Aab
Adubação Fosfatada	B		Cu		Fe		Mn	
	----- mg na parte aérea de capim marandu (vinte plantas) -----							
	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória
sem P	0,04 Bc	0,32 Abc	0,02 Bc	0,12 Abc	1,09 Bb	9,32 Aa	0,30 Ba	3,66 Ab
ST	0,30 Ab	0,31 Ac	0,07 Aab	0,08 Ac	10,59 Aa	9,10 Aa	2,92 Ba	13,79 Aa
ST + Micro	0,37 Ab	0,35 Abc	0,08 Aab	0,12 Abc	10,64 Aa	11,05 Aa	3,67 Ba	14,33 Aa
TM	0,32 Ab	0,38 Abc	0,07 Aab	0,10 Ac	10,53 Aa	12,19 Aa	2,22 Aa	4,20 Ab
TM + Micro	0,40 Aab	0,29 Ac	0,10 Aa	0,11 Ac	9,89 Aa	10,87 Aa	1,95 Aa	3,06 Ab
FNR	0,59 Aa	0,66 Aa	0,12 Ba	0,29 Aa	18,44 Aa	12,07 Ba	1,41 Ba	6,67 Ab
FNR + Micro	0,51 Aab	0,53 Aab	0,13 Ba	0,20 Ab	11,56 Aa	13,59 Aa	1,33 Ba	5,78 Ab

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas indicam diferença entre os corretivos de acidez na mesma fontes de adubação; e minúsculas indicam diferença entre as adubações fosfatadas, no mesmo corretivo de acidez (Tukey, P<0,05).

**Tabela 24.** Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) do acúmulo nutricional e silício na parte aérea do 4º CORTE de capim marandu (valores representam vinte plantas por vaso).

Adubação Fosfatada	N		Ca		Mg		S	
	----- mg na parte aérea de capim marandu (vinte plantas) -----							
	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória
sem P	73 Ba	192 Ab	10 Bb	68 Ab	12,2 Bb	69,5 Ab	4,7 Bb	28,9 Ab
ST	91 Aa	109 Ac	58 Aa	77 Ab	97,6 Aa	102,9 Ab	22,8 Aa	24,9 Ab
ST + Micro	89 Aa	95 Ac	64 Ab	76 Ab	116,1 Aa	100,8 Ab	21,9 Aa	23,3 Ab
TM	83 Aa	99 Ac	43 Bab	68 Ab	85,7 Aab	124,6 Ab	18,3 Aa	21,9 Ab
TM + Micro	96 Aa	96 Ac	52 Ab	65 Ab	103,5 Aa	111,0 Ab	21,3 Aa	20,0 Ab
FNR	111 Ba	315 Aa	58 Bb	145 Aa	102,8 Ba	237,5 Aa	23,0 Ba	46,1 Aa
FNR + Micro	108 Aa	117 A	60 Ab	66 Ab	109,6 Aa	75,0 Ab	22,3 Aa	22,8 Ab

Adubação Fosfatada	Si		B		Cu		Mn		Zn	
	----- mg na parte aérea de capim marandu (vinte plantas) -----									
	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória
sem P	25 Bc	509 Ab	0,07 Bc	0,41 Ab	0,02 Bb	0,05 Ab	0,47 Ba	4,63 Abc	0,04 Bd	0,22 Abc
ST	76 Bc	514 Ab	0,21 Aab	0,24 Ac	0,03 Aa	0,03 Ac	1,38 Ba	6,64 Aab	0,09 Acd	0,15 Ac
ST + Micro	90 Bbc	517 Ab	0,25 Aab	0,22 Ac	0,03 Aa	0,03 Ac	1,30 Ba	7,12 Aa	0,11 Abcd	0,13 Ac
TM	525 Aab	585 Ab	0,19 Ab	0,25 Ac	0,02 Ab	0,03 Ac	0,85 Aa	2,08 Ad	0,20 Bab	0,30 Aab
TM + Micro	614 Aa	578 Ab	0,28 Bab	0,38 Ab	0,03 Aa	0,03 Ac	1,07 Aa	1,15 Ad	0,24 Aa	0,28 Ab
FNR	93 Bbc	1164 Aa	0,27 Bab	0,53 Aa	0,03 Ba	0,07 Aa	0,56 Ba	5,77 Aab	0,16 Babc	0,39 Aa
FNR + Micro	112 Bbc	514 Ab	0,31 Aa	0,37 Ab	0,03 Aa	0,03 Ac	0,54 Ba	2,75 Acd	0,16 Aabc	0,17 Ac

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas indicam diferença entre os corretivos de acidez na mesma fonte de adubação; e minúsculas indicam diferença entre as adubações fosfatadas, no mesmo corretivo de acidez (Tukey, P<0,05).

O **acúmulo de N** nos dois corretivos, nos 3 primeiros cortes foram semelhantes, sendo que nos 2 primeiros cortes o acúmulo de N (Tabela 20 e 21) seguiu a ordem da produção de MSPA (Figura 2 e Anexo 10) e no 3º corte o acúmulo de N aplicando FNR foi superior não se diferenciou das demais fontes fosfatadas e foi maior que a testemunha (Tabela 23). No 4º corte as fontes de adubação não se diferenciaram aplicando calcário e aplicando escória, seguiu a ordem  $FNR > sem P > ST = TM$  (Tabela 24).

Houve interação  $C \times F$  no acúmulo de P apenas no 1º corte (Tabela 19), onde o **acúmulo de P** foi superior aplicando calcário nos tratamentos ST, ST+Micro, TM e TM+Micro e em ambos corretivos a ordem do acúmulo de P foi  $ST > TM > FNR = sem P$  (Tabela 20).

A ordem das fontes fosfatadas no acúmulo de P na média dos corretivos no 2º corte (Tabela 19) foi  $ST > TM > FNR$ . O acúmulo de P no tratamento FNR foi semelhante ao tratamento testemunha (Tabela 19), devido a baixa produção de MS aplicando FNR (Tabela 18). No 3º corte, o acúmulo de P na média dos corretivos no 2º corte com ST foi maior que TM, maior que FNR e maior que sem P (Tabela 19). Corroborando Rossi (1995) que observou que a variação no acúmulo de fósforo pelo capim-marandu foi dependente da fonte de fósforo utilizada e das doses de calcário aplicadas. Segundo o autor, para o ST a resposta em termos de acúmulo do nutriente foi sempre superior em relação ao fosfato de Araxá, independente da dose de calcário.

De acordo com Freire et al. (2005), a utilização das fontes menos solúveis não é recomendada na fase vegetativa do estabelecimento da cultura. Para isso, recomendam-se, para o estabelecimento de pastagens, fontes solúveis de fósforo e aplicações localizadas de modo que favoreçam a alta disponibilidade de fósforo junto às raízes, para que atenda aos maiores requerimentos do nutriente na fase de crescimento da planta. O superfosfato triplo promoveria um maior incremento em relação às outras fontes utilizadas, devido à sua alta solubilidade em água, fornecendo maiores quantidades de fósforo à planta nos primeiros dias, em relação às fontes solúveis em ácido cítrico.

No 4º corte todas fontes fosfatadas resultaram em acúmulo de P superior ao tratamento testemunha (sem P) e não diferenciaram entre elas. O aumento da eficiência das fontes menos solúveis, FR e FA, com o tempo, observando os dados do último corte, corroboram informações de outros trabalhos (HOROWITZ; MEURER, 2003), que

indicam que os fosfatos naturais, notadamente os reativos, podem ser eficientes em suprir fósforo às culturas.

No 4º corte, além do efeito isolado de fontes de adubação, houve efeito isolado dos corretivos, sendo o acúmulo de P aplicando escória 28% maior que aplicando calcário (Tabela 22). A superioridade no acúmulo de P deve-se a produção de MS maior nos tratamentos com escória (Figura 2). Sabendo que o acúmulo é calculado com o teor e produção de MS, quando os dados de produção foram analisados de forma mais detalhada no Anexo 10, notou-se que em todos tratamentos a produção de MS no 4º corte foi maior aplicando escória, sendo estatisticamente maior apenas nos tratamentos sem P e FNR. O maior produção de MS do capim marandu obtido com a escória pode ser atribuído à maior elevação nos teores de Ca no solo (Tabela 7) observado após 150 DI no Experimento 1 por este corretivo. Além do cálcio contribuir para o crescimento e multiplicação das raízes das plantas (SOUZA et al. 2000), é importante na preservação da capacidade de absorção das raízes mediante a manutenção da integridade da membrana plasmática, bem como na prevenção da perda de solutos para a solução externa, aumentando o acúmulo de nutrientes pela planta (MALAVOLTA, 2006). A maior disponibilidade de P (Tabela 5) observado após 150 DI no Experimento 1 pela escória também pode ter contribuído para a maior produção de MS do capim marandu. Segundo Vitti et al. (2004) o P está relacionado com crescimento das raízes, maturação dos frutos, formação de grãos, frutos e fibras e com o vigor das plantas.

O **acúmulo de K** diferiu entre os corretivos e fontes de adubação de acordo com a produção de MS do capim marandu, ou seja, quanto maior a produção de MS (Anexo 10) no tratamento, maior foi o acúmulo de K (Tabelas 20, 21, 23 e 24).

Entre os corretivos, o **acúmulo de Ca** foi superior aplicando calcário no 1º corte no tratamento TM+M (Tabela 20) e no 2º corte no FNR (Tabela 21). Aplicando escória o acúmulo de Ca foi superior no 2º corte nos tratamentos ST, ST+M e TM (Tabela 21) e no 4º corte nos tratamentos sem P, TM e FNR (Tabela 24). A adição de Ca foi superior quando a escória foi aplicada, por isso esperava-se maior teor de Ca em todos tratamentos. Porém essa falta de relação da quantidade aplicada e acúmulo na parte aérea da planta de Ca pode ser explicado pela sua reduzida translocação via floema (MARENCO; LOPES, 2005).

O acúmulo de Ca no 1º corte nos dois corretivos seguiu a ordem ST = TM > FNR = sem P (Tabela 20); no 2º corte nos dois corretivos o ST foi maior que o TM,

maior que o FNR e maior que o sem P, porém na escória o FNR não se diferenciou do sem P (Tabela 21). Na média dos corretivos no 3º corte o acúmulo de Ca não se diferenciou entre as fontes que foram maior que a testemunha (Tabela 22). Aplicando calcário no 4º corte, o ST foi semelhante ao TM, maior que o FNR e maior que o sem P e aplicando escória foi superior no tratamento FNR (Tabela 24) devido a maior quantidade de MS produzida no tratamento FNR (Figura 2).

No 1º corte o **acúmulo de Mg** (Tabela 23) diferiu entre os corretivos e fontes de adubação de acordo com a produção de MS do capim marandu (Anexo 10). Assim como foi verificado por Hoffman (1992) para os capins Braquiária e Colonião, o total de Mg na parte aérea seguiu o comportamento da produção de massa seca.

Comparando os corretivos no 2º corte, o acúmulo de Mg foi superior aplicando a calcário nos tratamentos ST, ST+M e TM+M (Tabela 21). Entre as fontes de adubação, em ambos corretivos a ordem foi  $ST > TM > FNR = \text{sem P}$ . No 3º corte o acúmulo de Mg foi inferior no tratamento sem P (Tabela 23). No 4º corte utilizando calcário o acúmulo de Mg não se diferenciou entre as fontes fosfatadas que foram superiores a testemunha e aplicando escória o acúmulo de Mg foi superior no tratamento FNR (Tabela 24) devido a maior quantidade de MS produzida no tratamento FNR neste corte (Figura 2).

No 1º corte o **acúmulo de S** (Tabela 20) diferiu entre os corretivos e fontes de adubação de acordo com a produção de MS do capim marandu (Anexo 10). Entre os corretivos, o acúmulo de S foi superior aplicando calcário no 2º corte no tratamento FNR (Tabela 21). Aplicando escória, foi superior no 3º e 4º corte nos tratamentos sem P e FNR (Tabela 23 e 24). Com o calcário a ordem no 2º corte foi  $ST = TM > FNR > \text{sem P}$  (Tabela 21), no 3º e 4º corte o acúmulo de S no sem P foi inferior aos tratamentos fosfatados (Tabelas 23 e 24). Aplicando escória o acúmulo de S no 2º corte foi maior nas fontes ST e TM (Tabela 21), no 3º e 4º corte foi superior aplicando FNR (Tabelas 23 e 24) devido a maior quantidade de MS produzida no tratamento FNR nestes cortes (Figura 2).

Entre os corretivos, o **acúmulo de Si** foi superior aplicando calcário no 2º corte no tratamento TM (Tabela 21). Aplicando escória, foi superior no 2º corte no tratamento ST e ST+M (Tabela 21) e no 3º corte e 4º corte em todos tratamento exceto TM e TM+M (Tabela 23 e 24). Entre as fontes de adubação, com o calcário o acúmulo de Si no 2º, 3º, 4º corte foi maior aplicando TM (Tabela 21, 23 e 24). Aplicando escória, o acúmulo de Si

no 2º corte foi maior nas fontes ST e TM (Tabela 26), no 3º corte foi superior aplicando ST (Tabelas 29) e no 4º corte foi superior aplicando FNR (Tabelas 21). Devido a grande quantidade de Si fornecido pela aplicação de escória e pelo TM (Tabela 3), esperava-se maior acúmulo de Si na parte foliar do capim marandu nestes tratamentos.

O corretivo de acidez escória e a fonte de adubação TM aplicaram maiores quantidade de B, Cu, Fe, Mn e Zn (Tabela 3). Porém isso não refletiu em maiores acúmulos na parte aérea do capim marandu (Tabelas 20, 21, 23 e 24).

O **acúmulo de B** foi superior aplicando escória no 3º corte no tratamento sem P (Tabela 23) e no 4º nos tratamentos sem P, TM+M e FNR (Tabela 24). O **acúmulo de Cu** foi superior aplicando escória apenas no 4º nos tratamentos sem P e FNR (Tabela 24). O **acúmulo de Fe** foi superior aplicando escória apenas no 3º corte no tratamento FNR (Tabela 23). O **acúmulo de Mn** foi superior aplicando escória no 1º corte no tratamento TM+M (Tabela 20) e no 4º em todos tratamentos exceto TM e TM+M (Tabela 24). O **acúmulo de Zn** foi superior aplicando escória apenas no 4º nos tratamentos sem P, TM e FNR (Tabela 24).

Destacando os tratamentos que o acúmulo de micronutrientes foi maior no TM, observou-se: utilizando calcário no 1º corte, a ordem do acúmulo de Mn foi  $TM = ST > sem P = FNR$  e do acúmulo de Zn foi  $TM > ST > sem P = FNR$  (Tabela 20). Aplicando escória no 1º corte o acúmulo de Zn seguiu a ordem  $TM > ST > sem P = FNR$  (Tabela 20) e no 3º corte quando o TM foi utilizado o acúmulo de Mn foi superior as demais fontes de adubação (Tabela 23). Nos demais tratamentos os acúmulos foram mais relacionados a produção de MS que a quantidade de micronutriente aplicada pelas fontes.

A adição de micronutrientes na fontes fosfatadas não mostrou resultados consistentes nos tratamentos. Na maioria das vezes não houve efeito dos micronutrientes adicionados, e quando causou variação, esta foi instável no acúmulo de macro, micronutrientes e Si na parte aérea do capim marandu.

#### **6.3.1.3 Capim Marandu - IEA no acúmulo de P na parte aérea em cada corte e na soma dos quatro cortes (total).**

Em ambos corretivos o IEA das fontes fosfatadas no acúmulo de P na PA no 1º, 2º corte e Total dos cortes de capim marandu seguiu a ordem decrescente  $ST > TM$

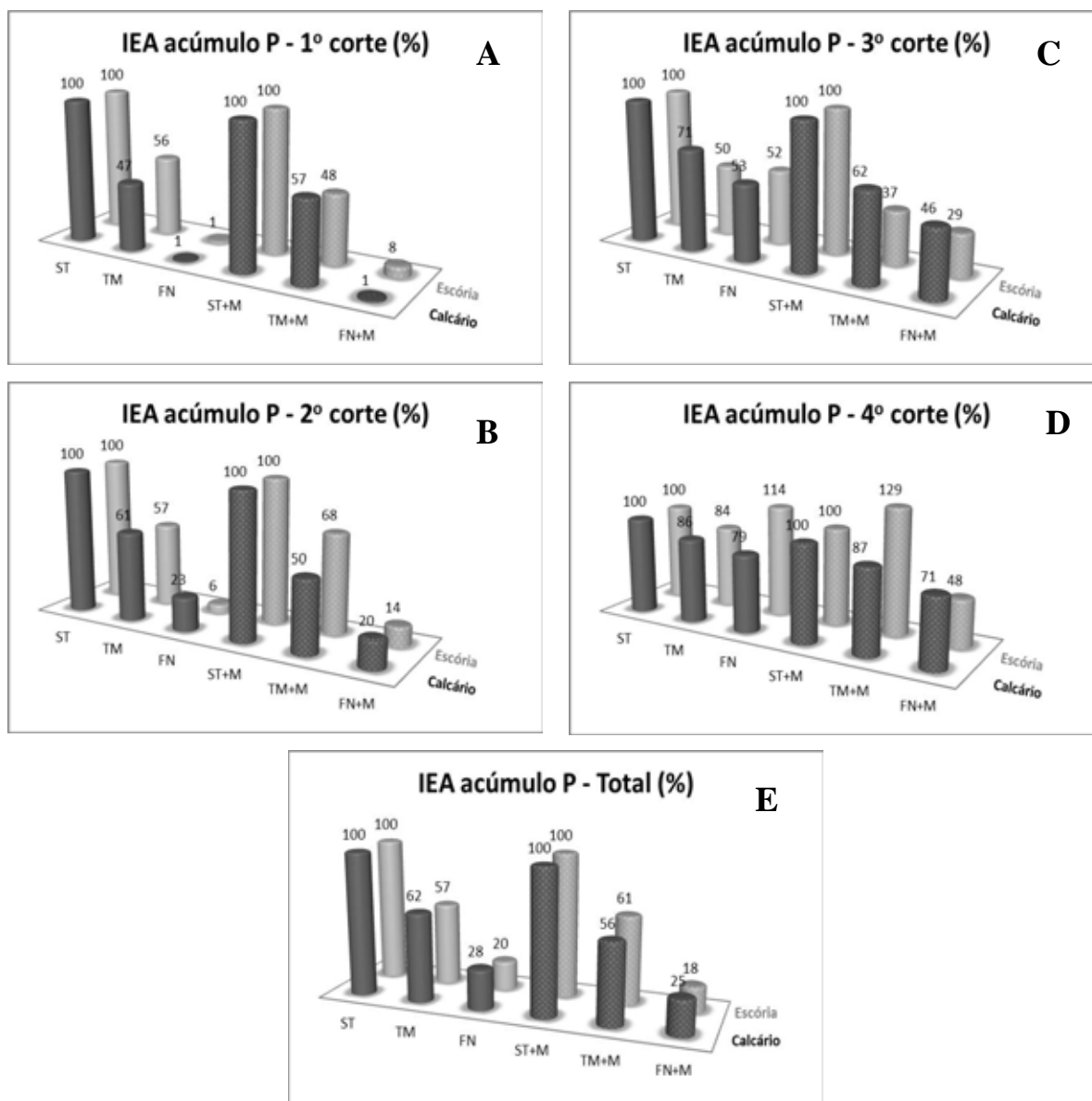
> FN com ou sem aplicação de micronutrientes (Figura 3.A, 3.B e 3.E), a mesma ordem foi observada no IEA de acúmulo de P na PA do amendoim no Experimento 2 (Figura 1.A). A solubilidade das fontes, fator determinante nos valores de MSPA no 2º corte (Tabela 18), também influenciou o IEA acúmulo de P, e de maneira geral, as fontes mais solúveis proporcionaram maiores teores de P, maior MSPA e, conseqüentemente, maior acúmulo de P e IEA. Corroborando em partes dados de Costa et al. (2008) que relataram que fontes de maior solubilidade apresentaram maior IEA para a produção de fitomassa em todos os cortes.

No 1º corte o IEA de acúmulo de P do TM na média dos corretivos com ou sem adição de micro foi de 52% e a IEA do FNR foi muito baixa, na média de 3% do acúmulo de P da fonte usada de referência (ST) (Figura 3.A).

No 2º corte o IEA no acúmulo de P das fontes aumentaram, exceto para TM+M aplicando calcário (Figura 3.B). O TM na média dos corretivos com ou sem adição de micro foi de 59% e a IEA do FNR continuou baixa, porém aumentou para 16% do acúmulo de P quando o ST foi aplicado. O aumento da IEA tanto do ST como do FNR foi devido ao aumento da MS do 1º para o 2º corte (Tabela 18).

No 3º corte o IEA das fontes TM e FNR aumentaram quando o calcário foi aplicado, e aumentaram apenas na fonte FNR escória independente da adição de micro (Figura 3.C). O IEA aplicando calcário se manteve na ordem  $ST > TM > FNR$  com e sem adição de micro. Aplicando escória e sem adicionar micro o IEA de TM e FNR foram semelhantes e representaram metade do IEA da fonte ST.

Os IEAs em ambos corretivos até o 3º corte foi maior aplicando ST, o adubo mais solúvel utilizado no experimento, concordando com Freire et al. (2005), que relatou que a utilização das fontes menos solúveis não é recomendada na fase vegetativa do estabelecimento da cultura. Para isso, recomendam-se, para o estabelecimento de pastagens, fontes solúveis de fósforo e aplicações localizadas de modo que favoreçam a alta disponibilidade de fósforo junto às raízes, para que atenda aos maiores requerimentos do nutriente na fase de crescimento da planta. O superfosfato triplo promoveria um maior incremento em relação às outras fontes utilizadas, devido à sua alta solubilidade em água, fornecendo maiores quantidades de fósforo à planta nos primeiros dias, em relação às fontes solúveis em ácido cítrico.



**Figura 3.** IEA no acúmulo de P na parte aérea do capim marandu no 1º corte (A), 2º corte (B), 3º corte (C), 4º corte (D) e na soma dos quatro cortes = total (E).

No 4º corte o IEA de acúmulo de P das fontes aumentaram ainda mais em ambos corretivos e foi independente da aplicação de micronutriente (Figura 3.D). A ordem  $ST > TM > FNR$  do IEA com e sem adição de micro foi mantida aplicando calcário e ficou  $FNR > ST > TM$  sem micro e  $TM > ST > FNR$  com adição de micronutrientes quando a escória foi aplicada. Segundo Costa et al. (2008) para os fosfatos de média e baixa solubilidade, os rendimentos de matéria seca foram aumentando com o tempo, sendo



verificados melhores rendimentos no último corte da forrageira, mesmo comportamento ocorreu nos valores de IEA do acúmulo de P do capim marandu (Figura 3).

Se correlacionar o 1º e 2º corte realizados aos 40 e 80 dias após a emergência, que corresponde aos 77 e 117 dias após a aplicação dos corretivos no solo respectivamente, aos resultados da análise de solo do Experimento 1, sem Planta, por exemplo aos 60 DI (Tabela 5) cujos teores de P extraído pelo método de resina na média dos corretivos nas fontes ST, FN e TM foram respectivamente 339, 223 e 184 mg dm<sup>-3</sup>, erroneamente poderia concluir-se que o método de extração escolhido superestimou o considerado P disponível principalmente no caso do FNR, pois com IEA tão baixo quando comparado tanto ao ST como o TM e teor de P no solo semelhante ao TM, poderia ser um indício de que o fósforo extraído por resina era muito superior ao realmente disponível para a absorção da planta. Porém observando os demais cortes, foi observado que essa diferença entre de IEA entre as fontes é diminuída de um corte para o outro. Indicando que provavelmente este P poderia estar disponível, porém a planta com limitações físicas (quantidade reduzida de raízes) não conseguia absorver esse P.

A disponibilidade de P pelas fontes pode influenciar diretamente no crescimento das raízes nos vasos, aumentando a área de absorção de P ao longo do tempo, já que o corte foi feito da parte aérea e a raiz foi mantida intacta nos vasos. O contato entre o P na solução do solo e a raiz se faz quase que exclusivamente por difusão, processo segundo o qual o elemento caminha a curtas distâncias numa fase aquosa estacionária, denominada solução do solo, a favor do gradiente de concentração. Em um trabalho clássico, Barber (1966) apresentou dados de quantidade de P fornecida ao milho sendo 93% por difusão, 4% por fluxo de massa e 3% por interceptação radicular.

Conforme relatado por Moura et al. (2001) e Procópio et al. (2005), qualquer diferença no comportamento entre plantas em relação à absorção de P pode ser atribuída à baixa mobilidade desse elemento no solo, de modo que plantas de maior sistema radicular apresentam vantagem na sua captura. Devido a maior solubilidade de ST, essa fonte forneceu prontamente o P e permitiu o rápido desenvolvimento radicular e com as demais fontes essa disponibilidade foi gradual assim como o crescimento radicular. Conforme o volumes das raízes foram se equiparando em ambas fontes, a diferença no IEA do acúmulo de P na parte aérea foi diminuindo.

O termo absorção indica a entrada do nutriente, no caso o fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), da solução do solo para a raiz da planta, atingindo o citoplasma. O caminho percorrido pelo íon na absorção radicular é, resumidamente: P solução do solo  $\rightarrow$  P apoplasto  $\rightarrow$  P citoplasma. A ocupação do apoplasto (espaços intercelulares de células epidérmicas e corticais) se dá por processos físicos e físico-químicos, com difusão e trocas iônicas, processo esse chamado absorção passiva. Já para a ocupação do simplasto, o nutriente deve atravessar a membrana celular (plasmalema) contra um gradiente de concentração e com gasto de energia metabólica (ATP), sendo o processo denominado absorção ativa. O plasmalema é uma fina membrana constituída de proteínas e lipídeos em proporções iguais, apresentando uma espessura de 7 nm a 10 nm, e uma barreira à livre passagem dos íons do apoplasto para o simplasto (MENDEL e KIRKBY, 2001).

### **6.3.2 No solo**

#### **6.3.2.1 Atributos químicos e macronutrientes no solo após o 3º corte de capim marandu**

Como descrito no Material e Métodos (item 5.3.4) após o 3º corte do capim marandu (157 dias após a aplicação dos corretivos) o solo foi analisado quimicamente. Houve interação C x F em todos atributos químicos e macronutrientes no solo, exceto no teor de P (Tabela 25). As interações foram desdobrados na Tabela 26.

##### **• Interação corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F)**

Entre os corretivos, o **pH** foi superior aplicando escória nos tratamentos sem P, ST+M e TM e nos demais os corretivos não se diferenciaram (Tabela 26).

Em ambos corretivos o **pH** seguiu a ordem TM > FNR > ST = sem P. Aplicando calcário a adição de micronutriente aumentou o pH quando o TM foi utilizado e aplicando escória não teve efeito (Tabela 26).

**Tabela 25.** Análise de variância dos atributos químicos, macro, micronutrientes e silício do solo após o 3º CORTE de capim marandu.

Corretivos de Acidez	pH	Presina CaCl <sub>2</sub> mg dm <sup>-3</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V (%)	mg dm <sup>-3</sup>					
										Si	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Calcário dolomítico	6,1	162	21	0,8	44	21	66	86	75	3,9	0,17	0,9	27	0,9	4,9
Escória de Aciaria	6,3	166	18	0,7	65	13	79	96	80	7,7	0,21	1,0	36	9,3	5,3
Fontes de adubação															
sem P	5,6	12 c	26	2,6	36	15	53	78	67	4,3	0,17	0,8	31	5,2	0,2
ST	5,8	191 ab	25	0,3	43	10	53	78	68	3,4	0,18	0,8	37	8,0	0,3
ST + Micro	5,7	238 a	26	0,3	44	10	54	81	67	3,6	0,17	0,9	36	7,7	1,1
TM	6,9	126 b	11	0,3	63	26	90	101	88	9,5	0,20	1,1	31	3,8	14,1
TM + Micro	7,1	177 ab	10	0,3	71	31	102	113	91	12,0	0,24	1,2	30	3,7	18,4
FNR	6,1	209 ab	19	0,7	64	14	78	97	80	3,8	0,15	0,8	27	3,8	0,6
FNR + Micro	6,2	199 ab	19	0,6	60	13	74	93	79	3,9	0,18	0,9	29	3,5	0,9
Causas da Variação															
Corretivos de Acidez (C)	*	ns	*	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns
Fontes de adubação (F)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C x F	*	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	2	33	10	57	9	17	9	8	2	13	23	8	10	31	36

Médias seguidas por letras distintas nas colunas, diferem entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

\*, ns = Significativo a 5% de probabilidade e não significativo pela análise de variância, respectivamente.

**Tabela 26.** Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) dos atributos químicos do solo o 3º CORTE de capim marandu.

Adubação Fosfatada	pH		H + Al		K		Ca		Mg	
	CaCl <sub>2</sub>						mmolc dm <sup>-3</sup>			
	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória
sem P	5,4 Bd	5,8 Ad	28 Aa	23 Bab	3,4 Aa	1,8 Ba	26 Bd	46 Ac	21 Abc	8 Bb
ST	5,7 Ad	5,8 Ad	25 Aa	25 Aa	0,3 Ab	0,3 Ab	33 Bd	54 Ac	14 Ad	6 Bb
ST + Micro	5,6 Bd	5,9 Acd	29 Aa	24 Ba	0,4 Ab	0,3 Ab	36 Bcd	53 Ac	13 Ad	6 Bb
TM	6,7 Bb	7,1 Aa	13 Ac	10 Bd	0,3 Ab	0,3 Ab	46 Bbc	80 Aa	26 Ab	26 Aa
TM + Micro	7,1 Aa	7,0 Aa	10 Ac	10 Ad	0,3 Ab	0,3 Ab	63 Ba	80 Aa	37 Aa	26 Ba
FNR	6,1 Ac	6,2 Ab	20 Ab	19 Abc	0,5 Ab	0,9 Aab	53 Bab	74 Aab	18 Acd	10 Bb
FNR + Micro	6,1 Ac	6,2 Abc	20 Ab	18 Ac	0,5 Ab	0,7 Ab	52 Bab	68 Ab	17 Acd	10 Bb

Adubação Fosfatada	SB		CTC		V%		Si (mg/kg)	
	mmolc dm <sup>-3</sup>							
	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória
sem P	50 Ac	56 Ac	78 Abc	79 Ad	64 Bd	71 Ac	2,2 Bc	6,4 Ab
ST	47 Bc	60 Ac	72 Bc	84 Acd	65 Bd	71 Ac	1,8 Bc	5,1 Ab
ST + Micro	50 Ac	59 Ac	79 Abc	83 Acd	64 Bd	71 Ac	2,0 Bc	5,2 Ab
TM	73 Bb	107 Aa	86 Bbc	117 Aa	85 Bb	91 Aa	6,4 Bb	12,7 Aa
TM + Micro	100 Aa	106 Aa	110 Aa	116 Aa	91 Aa	92 Aa	10,9 Ba	13,1 Aa
FNR	71 Bb	85 Ab	91 Bb	104 Aab	78 Bc	82 Ab	1,9 Bc	5,7 Ab
FNR + Micro	69 Ab	79 Ab	90 Ab	97 Abc	77 Bc	82 Ab	1,9 Bc	5,9 Ab

Adubação Fosfatada	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	mg/kg									
	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória	Calcário	Escória
sem P	0,16 Ab	0,19 Aa	0,7 Bc	0,9 Ab	23 Bc	40 Aab	0,3 Ba	10,1 Ab	0,2 Ac	0,3 Ab
ST	0,14 Bb	0,22 Aa	0,8 Bbc	0,9 Ab	30 Bab	44 Aa	0,7 Ba	15,3 Aa	0,3 Ac	0,4 Ab
ST + Micro	0,15 Ab	0,19 Aa	1,0 Ab	0,9 Ab	34 Ba	39 Aab	0,5 Ba	14,9 Aa	0,4 Ac	1,8 Ab
TM	0,18 Ab	0,23 Aa	1,0 Bb	1,2 Aa	27 Bbc	35 Aabc	1,5 Ba	6,1 Ac	11,5 Bb	16,8 Aa
TM + Micro	0,28 Aa	0,20 Ba	1,3 Aa	1,2 Ba	30 Aab	30 Ac	2,7 Aa	4,8 Ac	20,8 Aa	16,1 Ba
FNR	0,12 Bb	0,19 Aa	0,8 Abc	0,8 Ab	24 Bbc	31 Ac	0,3 Ba	7,4 Abc	0,5 Ac	0,7 Ab
FNR + Micro	0,14 Bb	0,22 Aa	0,8 Abc	0,9 Ab	26 Bbc	33 Abc	0,3 Ba	6,7 Abc	0,8 Ac	1,0 Ab

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas indicam diferença entre os corretivos de acidez na mesma fontes de adubação; e minúsculas indicam diferença entre as adubações fosfatadas, no mesmo corretivo de acidez (Tukey, P<0,05).

Entre os corretivos, o **H+Al** foi superior aplicando escória nos tratamentos sem P, ST+M e TM, e os corretivos não se diferenciaram nos demais (Tabela 26). Aplicando calcário o H+Al seguiu a ordem sem P = ST > FNR > TM. Com a escória o H+Al o ST foi semelhante ao sem P, maior que o FNR e maior que o TM. Não houve efeito da adição de micronutrientes em nenhum corretivo.

Comparando os corretivos, o **teor de K** foi superior aplicando calcário no tratamento sem P e os corretivos não se diferenciaram nos demais (Tabela 26). Aplicando calcário o teor de K foi maior no tratamento sem P que nos demais. Com a escória o teor de K no tratamento testemunha não se diferenciou de FNR, e foi maior que os demais. Não houve efeito da adição de micronutrientes.

Entre os corretivos, o **teor de Ca** foi superior aplicando escória em todos tratamentos (Tabela 26). Aplicando calcário o teor de Ca com TM não se diferenciou de FNR e foi superior ao ST e sem P e a aplicação de micronutriente aumentou o teor de Ca quando o TM foi aplicado. Com a escória o teor de Ca com TM não se diferenciou de FNR e foi maior que os demais. Não houve efeito da adição de micronutrientes.

Comparando os corretivos, o **teor de Mg** foi superior aplicando calcário em todos tratamentos exceto TM, no qual os corretivos não se diferenciaram (Tabela 26). Aplicando calcário o teor de Mg aplicando TM não se diferenciou do tratamento sem P e foi superior as demais fontes fostatadas (FNR e ST) e a aplicação de micronutriente aumentou o teor de Mg quando o TM foi aplicado. Aplicando escória o teor de Mg foi maior no tratamento TM que nos demais e não houve efeito da adição de micronutrientes.

Entre os corretivos, a **SB** e a **CTC** foram superiores aplicando escória nos tratamentos ST, TM e FNR e nos demais os corretivos não se diferenciaram (Tabela 26). Aplicando calcário a **SB** foi maior nos tratamentos TM e FNR que nos tratamentos sem P e ST, e a aplicação de micronutriente aumentou a SB quando o TM foi aplicado. Com a escória a SB seguiu a ordem TM > FNR > sem P = ST e não houve efeito da adição de micronutrientes.

Aplicando calcário, a **CTC** no tratamento com FNR foi superior ao tratamento com ST e não se diferenciou dos demais e a aplicação de micronutrientes, aumentou a CTC somente quando o TM foi aplicado. Com a escória, a CTC nos tratamentos

TM e FNR foram superiores ao sem P e ST e não houve efeito da aplicação de micronutrientes (Tabela 26).

Comparando os corretivos, o **V%** foi superior aplicando escória em todos tratamentos exceto TM+M, no qual os corretivos não se diferenciaram (Tabela 26). Em ambos corretivos o V% seguiu a ordem TM > FNR > sem P = ST. Aplicando calcário a aplicação de micronutriente aumentou o V% quando o TM foi aplicado e aplicando escória não houve efeito da adição de micronutrientes.

• Efeito isolado das fontes de adubação (F)

Não houve interação no teor de P mas houve diferença entre as fontes de adubação isoladamente (Tabela 25). Todas fontes fosfatadas resultaram em maior **teor de P** que a testemunha e não se diferenciaram entre si. Não houve efeito da adição de micronutrientes no teor de P no solo.

**6.3.2.2 Teores de silício e micronutrientes no solo após o 3º corte de capim marandu**

• Interação corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F)

Houve interação C x F nos teores de todos micronutrientes e Si no solo (Tabela 25). As interações foram desdobrados na Tabela 26.

Comparando os corretivos, o **teor de Si** foi superior aplicando escória em todos tratamentos (Tabela 26). Em abos corretivos o teor de Si foi maior na fonte TM que nas demais. Aplicando calcário, a aplicação de micronutriente aumentou o teor de Si quando o TM foi aplicado e aplicando escória não houve efeito da adição de micronutrientes no teor de Si. O maior teor de Si nos tratamentos com escória e TM se deve a quantidade superior de Si aplicada por estas fontes devido o alto teor de Si na sua constituição química.

Entre os corretivos, o **teor de B** foi superior aplicando calcário no tratamento TM+M, superior aplicando escória nos tratamentos ST, FNR e FNR+Micro, e os corretivos não se diferenciaram nos demais (Tabela 26). Nos dois corretivos de acidez o teor de B não se diferenciou nos tratamentos. Aplicando calcário a adição de micronutrientes na fonte TM elevou o teor de B e com escória, não houve efeito da adição de micronutrientes.

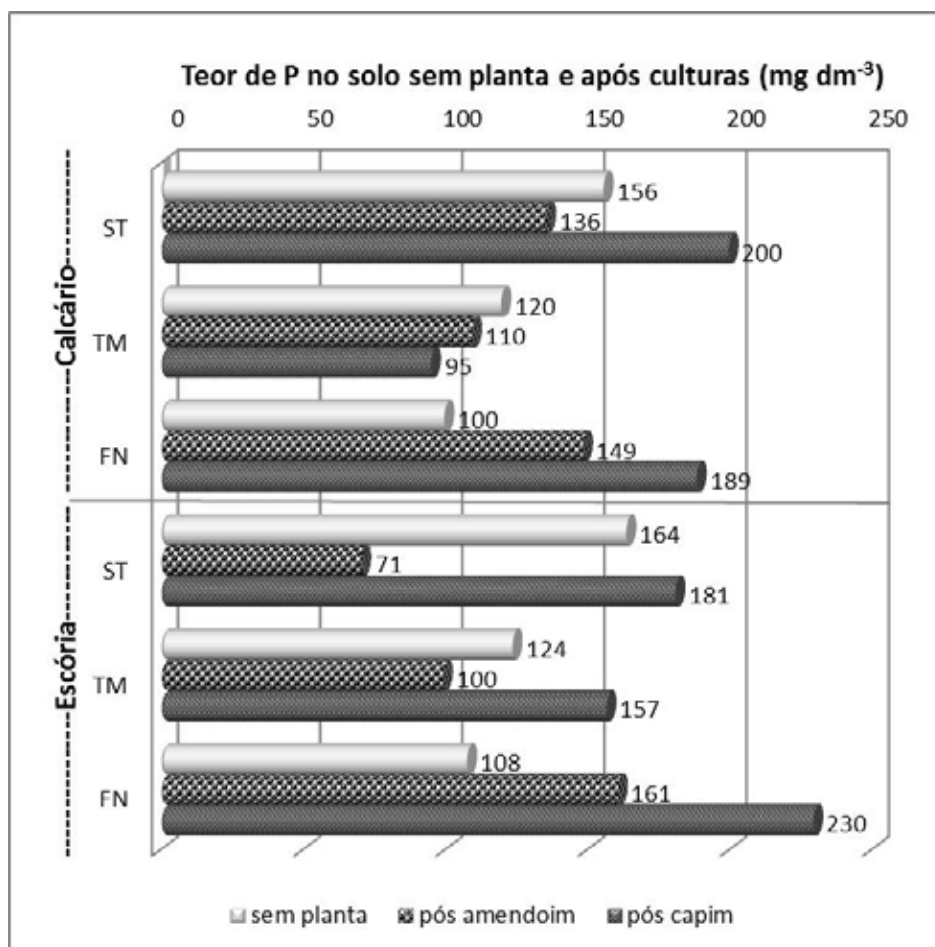
Comparando os corretivos, o **teor de Cu** foi superior aplicando calcário no tratamento TM+M, superior aplicando escória nos tratamentos sem P, ST e TM, e os corretivos não se diferenciaram nos demais (Tabela 26). Aplicando calcário, o teor de Cu não se diferenciou entre as fontes fosfatadas e, aplicando TM o teor de Cu foi maior que sem P e nesta fonte a aplicação de micronutriente aumentou o teor de Cu. Aplicando escória o teor de Cu foi maior no tratamento TM que nos demais e não houve efeito da adição de micronutrientes.

Entre os corretivos, o **teor de Fe e Mn** foram superiores aplicando escória em todos tratamentos, exceto TM+M no qual os corretivos não se diferenciaram (Tabela 26). Aplicando calcário, o teor de Fe não se diferenciou entre as fontes fosfatadas e, aplicando ST o teor de Fe foi maior que sem P não houve efeito da adição de micronutrientes. Aplicando escória o teor de Fe no tratamento ST não se diferenciou do sem P e foi superior aos demais (TM e FNR) e não houve efeito da adição de micronutrientes. Aplicando calcário não houve diferença entre as adubações no **teor de Mn** nem efeito da adição de micronutrientes. Aplicando escória o teor de Mn foi superior aplicando ST e não houve efeito da adição de micronutrientes.

Comparando os corretivos, o **teor de Zn** foi superior aplicando calcário no tratamento TM+M, superior aplicando escória no tratamento TM e não se diferenciaram nos demais (Tabela 26). Em ambos corretivos o teor de Zn foi maior na fonte TM que nas demais. Aplicando calcário a aplicação de micronutriente aumentou o teor de Zn quando o TM foi aplicado e aplicando escória não houve efeito da adição de micronutrientes.

### **6.3.2.3 Teores de P no solo sem planta e após colheita de amendoim e do 3º corte de capim marandu**

Para comparar o teor de P nos solos dos 3 primeiros experimentos, foi feita a Figura 4. Houve diferença da ordem do teor de P entre as culturas somente quando o TM foi aplicado, sendo com calcário: sem planta > pós amendoim > pós capim e com escória: pós capim > sem Planta > pós amendoim.



**Figura 4.** Teor de P no solo sem Planta – Experimento 1 (150 após a aplicação dos corretivos); no solo após o cultivo do amendoim – Experimento 2 (184 dias após aplicação dos corretivos) e após o 3º corte de capim marandu – Experimento 3 (157 dias após a aplicação dos corretivos).

Independente do corretivo, a ordem do teor de P aplicando ST foi pós capim > sem planta > pós amendoim e aplicando FN foi pós capim > pós amendoim > sem planta. Devido à diferença entre as culturas no tempo de interação planta-solo, pois a interação amendoim-solo foi 27 dias a mais que o capim-solo (amostragem foi feita 147 dias após a emergência do amendoim e 120 dias após a emergência do capim - sendo feitos 3 cortes consecutivos no intervalo de 40 dias) e conseqüentemente uma provável diferença de exportação de P da solução, não foi possível nesse trabalho avaliar se plantas acumuladoras de Si, como as gramíneas, diferem no teor de P no solo das plantas exclusoras de Si, como as leguminosas.



Comparando os corretivos nos solos sem Planta, a escória resultou em maior teor de P que o calcário em todas as fontes fosfatadas (Figura 4), porém estes valores não diferiram estatisticamente, como apresentado no Experimento 1 (Tabela 5). Nos solos após o cultivo do amendoim, a escória resultou em maior teor de P que o calcário apenas aplicando FNR, nas demais fontes o maior teor de P foi maior aplicando calcário. E após o capim marandu, a escória resultou em maior teor de P que o calcário aplicando TM e FNR (Figura 4).

Esperava-se que todos tratamentos conduzidos com escória, independente da fonte utilizada e o cultivo no solo, resultassem em maior teor de P que nos solos corrigidos com calcário devido ao efeito do Si nos sítios de adsorção, porém os resultados mostraram que o teor de P no solo dependeu ainda da cultura e da solubilidade da fonte de P (Figura 4).

### 6.3.3 Considerações finais Experimento 3

Entre os corretivos de acidez, a produção de MS Total foi maior aplicando escória no tratamento sem P e aplicando calcário no tratamento TM+Micro.

Com calcário a ordem da produção de MS Total do capim marandu foi  $ST = TM > FNR > \text{sem P}$  e com escória o ST foi semelhante ao TM, foi maior que FNR e maior que sem P.

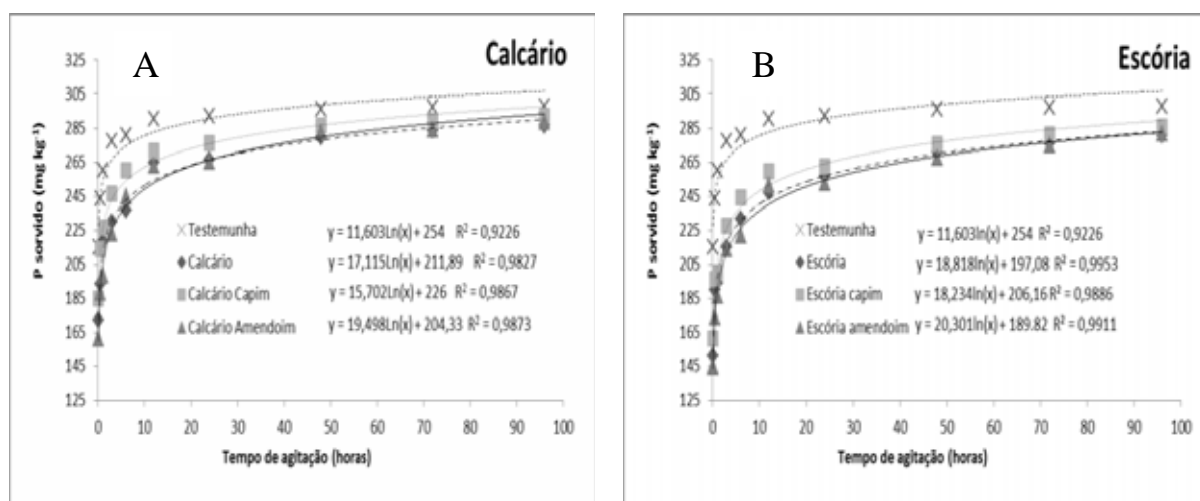
O acúmulo de P na PA foi 28% maior aplicando escória no 4º corte. O IEA em ambos corretivos no 1º, 2º corte e Total seguiu a ordem  $ST > TM > FNR$ , no 4º corte aplicando escória a ordem foi  $FNR > ST > TM$ .

No solo após capim, o pH foi superior aplicando escória nos tratamentos sem P, ST+M e TM e não houve diferença entre os corretivos no teor de P no solo. Todas as fontes fosfatadas resultaram no teor de P no solo maior que a testemunha, porém não se diferenciaram entre si. O teor de Si foi maior nos tratamentos com escória e entre as fontes de adubação, foi maior quando o TM foi aplicado.

## 6.4 EXPERIMENTO 4: Sorção e dessorção de P.

### 6.4.1 Cinética de sorção de P

Os sete tratamentos se ajustaram a equações logarítmicas (Figura 5). No tratamento *Testemunha* o P sorvido estabilizou após 12 horas de agitação; nos tratamentos *Calcário*, *Calcário após capim*, *Calcário após amendoim*, *Escória* e *Escória após capim* estabilizou após 48 horas de agitação e no tratamento *Escória após amendoim* estabilizou após 72 horas (Figura 5.A e B, e Anexo 12). Desta forma o tempo de 72 horas, no qual o P sorvido estava estabilizado em todos tratamentos, foi escolhido como tempo ótimo de sorção a ser usado nos experimentos onde o tratamento escória após amendoim estivesse presente e o tempo de 48 horas como ótimo onde este tratamento não estivesse sendo analisado.



**Figura 5.** Cinética de sorção de P no solo testemunha, aplicando calcário (A) e aplicando escória (B) como corretivos de acidez. UF, Quincy, 2011. Diferença entre tempos de agitação e tratamentos (Tukey,  $P < 0,05$ ) nos Anexos 10 e 11.

Em todos os tempos de agitação, observando apenas os tratamentos sem Planta, o P sorvido seguiu a ordem decrescente Testemunha > Calcário > Escória, sendo após 72 horas de agitação (estabilidade em todos tratamentos) os valores de P sorvido iguais a 297, 283 e 276  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente (Figura 5.A e B e Anexo 12).

A maior sorção de P no solo testemunha (pH 4.2) que nos solos corrigidos com calcário (pH 6.1) ou escória (pH 5.9) confirmam resultados de estudos de

sorção de P que suportam a hipótese de que, nestes solos (Latosolos), a sorção de P diminui com aumento do pH. Esse resultado tem sido creditado pela repulsão eletrostática aumentada devido ao aumento da superfície de carga negativa (BOWDEN et al., 1980, HAYNES, 1982) que acompanha o aumento do pH.

Um fator contribuinte é que as concentrações mais elevadas de hidroxilas, que podem ser de 10 a 1000 vezes maiores que a níveis mais baixos de pH, competem efetivamente com íons de fosfatos para sítios específicos de sorção nas superfícies minerais (SMYTH; SANCHES, 1980). Esse resultado pode também ser assistido pela redução no número de sítios de sorção de P. A níveis mais altos de pH os polímeros de hidróxidos de Al podem neutralizar sítios onde superfícies mais reativas de Al estiveram presentes (SANCHEZ; UEHARA, 1980). Solos dominados por caolinita, goetita e gibsitita, como o solo usado no presente experimento, são particularmente susceptíveis a cada um dos mecanismos citados acima. Empiricamente, os valores do parâmetro K de Langmuir, que será discutido no item 6.4.2, reforçam essa explicação.

Comparando os tratamentos com planta, o P sorvido em todos os tempos no solo após o 3º corte do capim marandu foi maior que após a colheita do amendoim, em ambos corretivos de acidez. No tempo ótimo de sorção (72 horas) os valores de P sorvido no solo corrigido com calcário após o 3º corte do capim foi igual a 289 mg kg<sup>-1</sup> (pH 5,4) e após amendoim igual a 284 mg kg<sup>-1</sup> (pH 5,4) (Figura 5.A, Anexo 11 e 12) e no solo corrigido com escória após capim foi igual a 281 mg kg<sup>-1</sup> (pH 5,8) e após amendoim igual a 275 mg kg<sup>-1</sup> (pH 5,6) (Figura 5.B e Anexo 12).

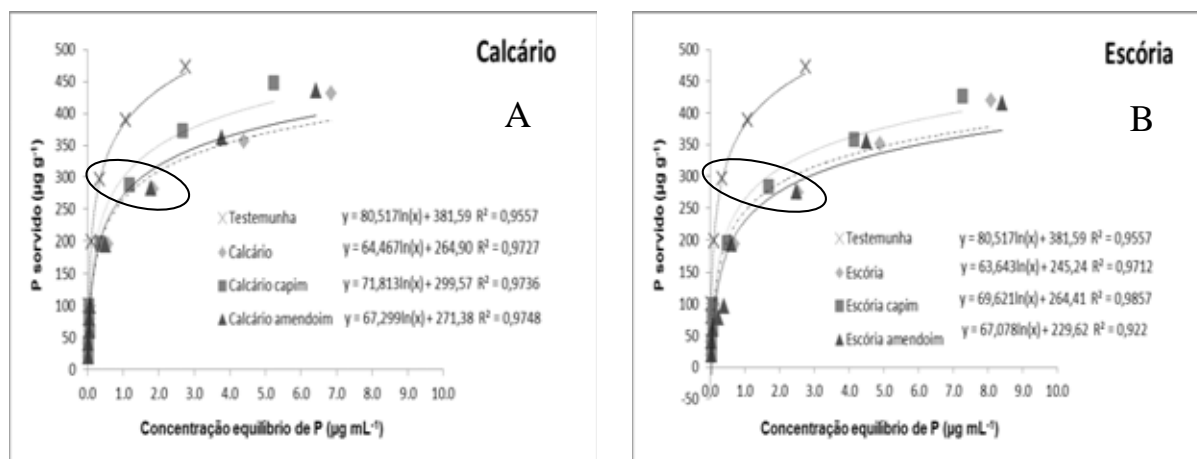
Independente do corretivo, o P sorvido após a colheita do amendoim foi menor que no solo após os cortes do capim. Isolando o fator pH, pois este foi semelhante nos solos nas duas culturas, essa diferença (5 mg kg<sup>-1</sup> aplicando calcário e 6 mg kg<sup>-1</sup> aplicando escória) pode ser devido ao maior tempo de interação planta-solo, pois a interação amendoim-solo foi 27 dias a mais que o capim-solo (amostragem foi feita 147 dias após a emergência do amendoim e 120 dias após a emergência do capim - sendo feitos 3 cortes consecutivos no intervalo de 40 dias). Com maior tempo nesta interação, provavelmente houve maior exportação de P da solução, gerando desequilíbrio na solução que resultará na dessorção do P. Outra hipótese influenciada pelo tempo da planta no solo seria a exsudação das raízes de ácidos orgânicos, fosfatases e carboxilatos (citrato), que solubilizam P complexado com Fe, Al

e Ca, diminuindo o P sorvido. Os grupamentos carboxílicos dos ácidos orgânicos estão envolvidos em muitos processos do solo, especialmente naqueles da interface raiz-solo-microrganismo. Muitos destes ácidos orgânicos são liberados pelas raízes ou por microrganismos para solubilizar ou para imobilizar íons metálicos e nutrientes (Zn, Al, P, Fe) (JONES; BRASSINGTON, 1998). Ânions capazes de adsorção específica tornam a superfície das partículas mais negativas (BOWDEN et al., 1980), liberando íons hidroxila (HINGSTON et al., 1967), tendo um efeito significativo nas cargas superficiais (IYAMUREMYE; DICK 1996), influenciando a mobilidade de outros ânions (EVANS; ANDERSON, 1990) e aumentando a capacidade de retenção de cátions.

Solos corrigidos com escória resultaram em menor sorção de P que com calcário tanto após amendoim como após capim. Confirmando os resultados dos tratamentos sem Planta, nos quais o P sorvido seguiu a ordem decrescente Testemunha > Calcário > Escória. Com ou sem Planta, os resultados reforçam a hipótese de Volkweiss e Raij (1976) de que a correção da acidez do solo com silicatos, além de elevar o pH, poderia disponibilizar o P, pelo efeito adicional de deslocar o P adsorvido para a solução.

#### 6.4.2 Isotermas da sorção de P

A quantificação da relação de P na solução e P na fase sólida pode ser obtida em laboratório por meio de isotermas (Figura 6).



**Figura 6.** Isotermas de sorção de P na testemunha (sem corretivos e sem Planta) e dos três tratamentos (sem Planta, amendoim e capim) em solo corrigido com calcário (A) e corrigido com escória (B). Pontos dentro do círculo representam os valores de P sorvido no solo a dose de 30 mg/L que corresponde aos 300 mg P Kg<sup>-1</sup> de solo aplicado nos Experimentos 1, 2 e 3. UF, Quincy, 2011.

Aplicando a dose de  $30 \text{ mg l}^{-1}$  que corresponde aos  $300 \text{ mg P Kg}^{-1}$  de solo aplicado nos Experimentos 1, 2 e 3 (por ser a dose aplicada usualmente), o P sorvido foi 297 no tratamento Testemunha, 282 aplicando calcário e  $275 \mu\text{g g}^{-1}$  de solo aplicando escória (valores circulos na Figura 6.A e B). Isso representa 5,1% e 7,4% de redução na sorção aplicando calcário (pH 6,1) e escória (pH 5,9) respectivamente, comparado ao tratamento Testemunha (pH 4,2) (Anexo 13). Esses dados mostraram a diminuição da sorção de P com o aumento de pH sob prática comum de adubação fosfatada. Ou seja, essas porcentagens representam o aumento da quantidade de fertilizante P disponível na solução, pronta para a absorção das plantas, devido ao aumento do pH pelos corretivos. E ainda, essas porcentagens representam que a escória reduziu a sorção 2,3% a mais que o calcário.

Os dados de sorção de P se ajustaram a equação de Langmuir para todos tratamentos ( $r^2 = 0,91$  a  $0,99$ , Tabela 27), com parâmetros de Langmuir como valores de  $K$  e  $b$  sendo afetados pela aplicação de corretivos e em alguns casos, pela planta cultivada no solo suportam a hipótese de que, nestes solos (Latosolos), a sorção de P diminui com aumento do pH. Apoiando a hipótese de que a sorção de P diminui com aumento do pH, discutido no item 6.4.1, a aplicação de calcário diminuiu o valor de  $K$  em 52 % e a aplicação de escória diminuiu o valor de  $K$  em 61 % (Tabela 27). A redução deste parâmetro sugere a redução da afinidade de P pela superfície de sorção. Sendo assim, esses valores reforçam os resultados discutidos na cinética e na isoterma de sorção de P, onde a escória apresentou menores valores que o calcário e o amendoim menores valores que o capim marandu.

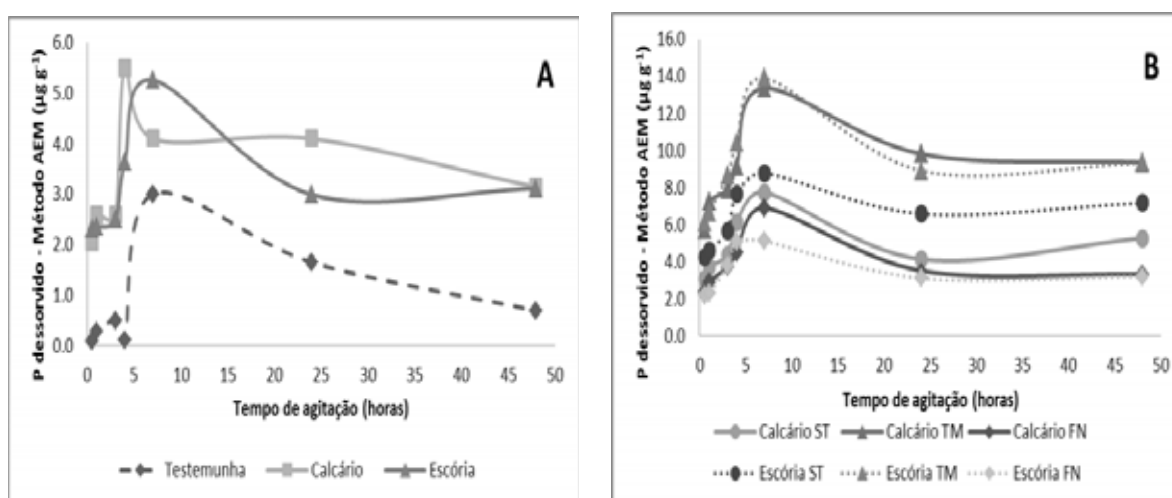
**Tabela 27.** Parâmetros de Langmuir para isotermas de sorção de P dos sete tratamentos no solo. UF, Quincy, 2011.

Tratamentos	Parâmetros da equação de Langmuir		
	$K$ ( $\text{ml } \mu\text{g}^{-1}$ )	$b$ ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	$r^2$
Testemunha	4,48 a	513,16 a	0,9612
Calcário	2,15 bc	434,78 c	0,9798
Calcário capim	2,63 b	465,39 b	0,9838
Calcário amendoim	2,19 bc	439,72 bc	0,9813
Escória	1,75 bc	425,72 c	0,9791
Escória capim	1,97 bc	434,78 c	0,9868
Escória amendoim	1,35 c	425,72 c	0,9071
CV	19	3	-

$K$  é o índice de afinidade expressa em  $\text{mL } \mu\text{g}^{-1}$  de P; e  $b$  é a sorção máxima em unidade de  $\mu\text{g P g}^{-1}$  de solo. Letras distintas indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey,  $P < 0,05$ .

### 6.4.3 Cinética de dessorção de P

Para definir o tempo de agitação foram feitos os gráficos da Figura 7. A quantidade de P dessorvido pela AEM diminuiu com os tempos de agitação acima de 7 horas para os tratamentos sem ou com adição prévia de P (Figura 7.A e B), exceto para o tratamento Calcário sem adição prévia de P, no qual houve diminuição do P dessorvido a partir das 4 horas (Figura 7.A). Portanto, 4 horas foi escolhida como o melhor tempo para o Calcário sem adição de P e 7 horas para os demais tratamentos.

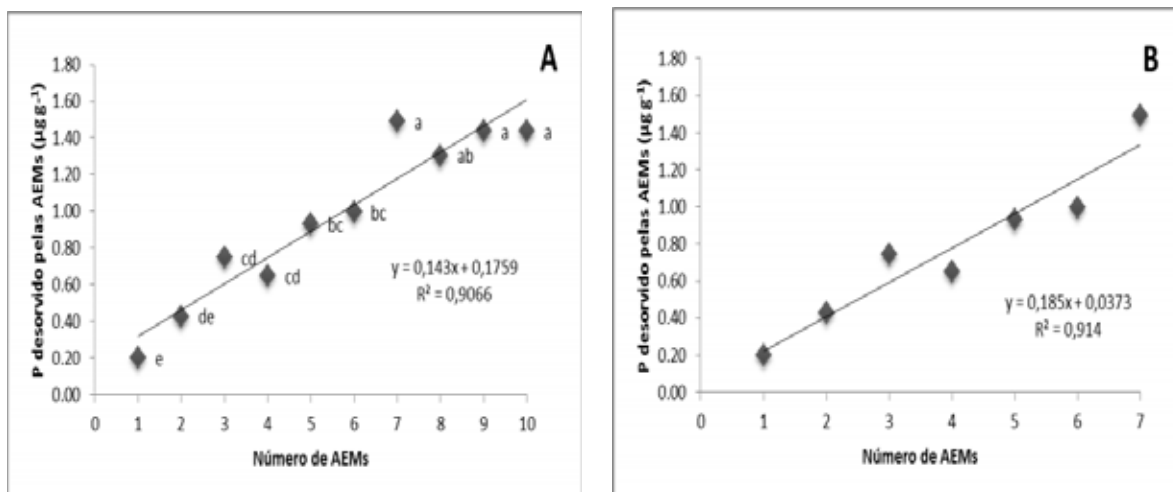


**Figura 7.** Cinética de dessorção de P usando uma membrana de troca aniônica (AEM) nos tratamentos sem fontes de adubação prévia (A) e nos demais tratamentos previamente fosfatados com as respectivas fontes (B). UF, Quincy, 2011. Os gráficos estão em escalas diferentes.

### 6.4.4 Isotermas de dessorção de P

#### a. Definição do número de tiras de AEMs

Sendo a superfície da AEM aumentada, a dessorção de P aumentou conforme foi aumentado o número de tiras AEM em contato com o solo (Figura 8), com relação linear maior entre 1 e 7 tiras ( $R^2 = 0,914$ ) (Figura 8.B). Quando a oitava tira foi adicionada, houve um decréscimo no P dessorvido (Figura 8.A). Desta forma optou-se por utilizar 7 tiras de AEM.



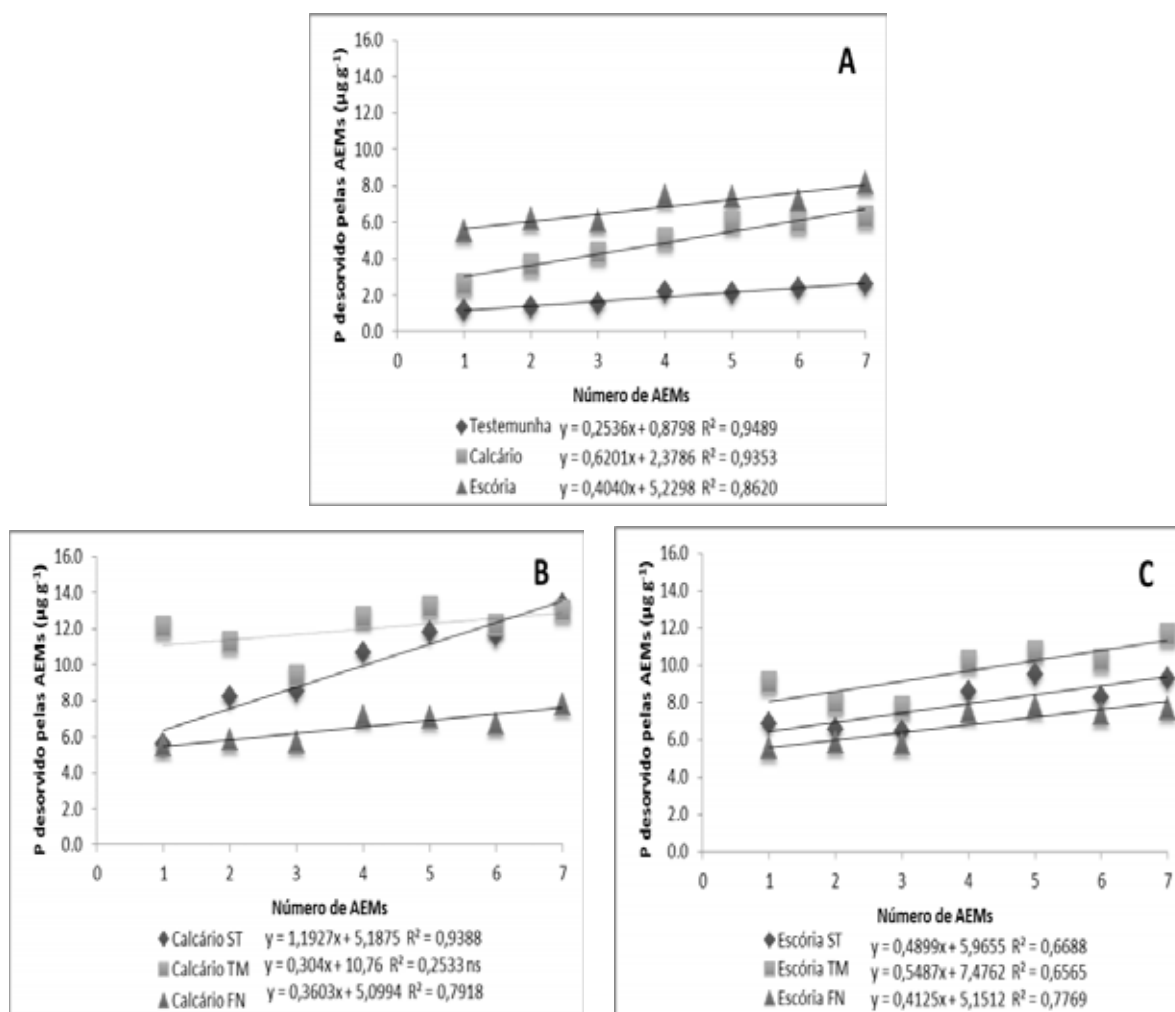
**Figura 8.** Efeito do aumento do número de tiras de Membranas de Trocas Aniônicas (AEMs) na dessorção de P para o solo testemunha. O tempo de agitação foi de 7 horas com as membranas. Equação linear de uma a dez tiras de AEMs (A) e equação linear de uma a sete tiras de AEMs (B). UF, Quincy, 2011. Médias seguidas por letras distintas, diferem pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade

#### **b. Isotermas de dessorção de P com Método de Múltiplas AEMs**

A dessorção de P é um controle primário na biodisponibilidade de P, mesmo que ainda não se saiba praticamente nada sobre a natureza da dessorção de P para solos tropicais intemperizados, ácidos.

Infelizmente, não há uma metodologia padrão para desenvolver isotermas de dessorção. Os resultados alcançados por Sato e Comerford (2006a) utilizando essa metodologia desenvolvida pelos autores, foram consistente o suficiente para incentivar que este método fosse testado no presente experimento com o objetivo de investigar possível superioridade da escória ao calcário na dessorção de P no solo.

Nos tratamentos sem adição prévia de P, os resultados se ajustaram bem as equações lineares conforme o número de tiras adicionados ( $R^2$  de 0,69 a 0,95; Figura 9.A). Quando o calcário foi aplicado como corretivo e o P adicionado, os resultados se ajustaram linearmente quando a fonte ST e FNR foram utilizadas, mas não se ajustaram quando o TM foi aplicado (Figura 9.B). Aplicando escória, o P dessorvido se ajustou a equações lineares independente da fonte fosfatada utilizada (Figura 9.C).



**Figura 9.** Efeito do aumento do número tiras de Membranas de Trocas Aniônicas (AEMs) na dessorção de P para tratamentos sem fontes de adubação prévia (A) e nos demais tratamentos previamente fosfatados com as respectivas fontes em solos corrigidos com calcário (B) e corrigidos com escória (C). UF, Quincy, 2011

A presente etapa do experimento mostrou que o Método de Múltiplas AEMs foi adequado para o desenvolvimento das isotermas sobre os níveis de sorção de P, permitindo dessa forma o avanço para etapas subsequentes a fim de verificar a diferença de dessorção de P entre os corretivos de acidez.

Na Figura 9.A foi observado que os valores de P dessorvidos foram maiores nos solos onde a acidez foi corrigida, seguindo a ordem decrescente na dessorção máxima (7 tiras): Escória ( $8 \mu\text{g g}^{-1}$ ) > Calcário ( $6 \mu\text{g g}^{-1}$ ) > Testemunha ( $3 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Os resultados confirmam a hipótese do aumento de dessorção de P com aumento de pH, pois o pH



da Testemunha de 4,2 aumentou para 5,9 quando a escória foi aplicada e para 6,1 quando o calcário foi usado (Anexo 13).

He et al. (1989) e De Smet et al. (1998) concordam que o aumento da dessorção de P com o aumento de pH é devido ambos aumentarem a competição com íons hidroxilas e mudarem o potencial eletrostático da superfície. Embora hidroxila possa ser um bom competidor com fosfato por sítios de ligação metal na superfície (McBRIDE, 1994), essa teoria continua não testada porque não foi mostrado de maneira convincente que a repulsão eletrostática afeta especificamente esses ânions sorvidos.

Porém, não explica como mesmo com pH semelhantes nos dois corretivos o P dessorvido foi maior no tratamento com escória. A razão da eficiência da escória no aumento de P disponível vem sendo debatida ao longo do tempo. O ânion silicato pode ser adsorvido à fase sólida do solo, competindo pelos mesmos sítios de adsorção que o fósforo, impedindo ou dificultando a adsorção deste, ficando disponível em solução (OBIHARA e RUSSEL, 1972). Assim, a correção da acidez do solo com silicatos, além de elevar o pH, poderia disponibilizar o P, pelo efeito adicional de deslocar o P adsorvido para a solução (VOLKWEISS e RAIJ, 1976). Lopes (1977) ressalta que a eficiência do silicato em aumentar o P disponível do solo não está na capacidade de troca dos ânions silicato pelo fosfato no solo e, sim, na saturação ou bloqueio de adsorção de P pelo ânion silicato.

Aplicando escória (Figura 9.C) o P dessorvido quando a fonte TM foi aplicada foi superior as demais fontes em todos pontos do gráfico, sendo o P máximo dessorvido: TM ( $12\mu\text{g g}^{-1}$ ) > ST ( $9\mu\text{g g}^{-1}$ ) e FNR ( $8\mu\text{g g}^{-1}$ ). Analisando o pH no solo nestas fontes: TM = 6,9 > ST = 6,0 e FNR = 6,1 (Anexo 13), confirmando a hipótese do aumento de dessorção de P com aumento de pH.

No calcário a diferença entre as fontes não foi clara como na escória, pois o TM não se ajustou a equação linear e em alguns pontos apresentou resultado semelhante ao ST (Figura 9.B). Analisando apenas possível efeito do pH nos tratamentos com calcário onde foi ST = 5,7; TM = 7,0 e FNR = 6,5 esperava-se então que a dessorção máxima de TM fosse superior as demais fontes, e contraditoriamente a essa hipótese os valores de P dessorvido foram ST e TM =  $13\mu\text{g g}^{-1}$  e FNR =  $8\mu\text{g g}^{-1}$ . Indicando que além do fator pH outros fatores influenciam direta/indiretamente a dessorção, podendo a solubilidade das fontes fosfatadas ser um desses fatores.

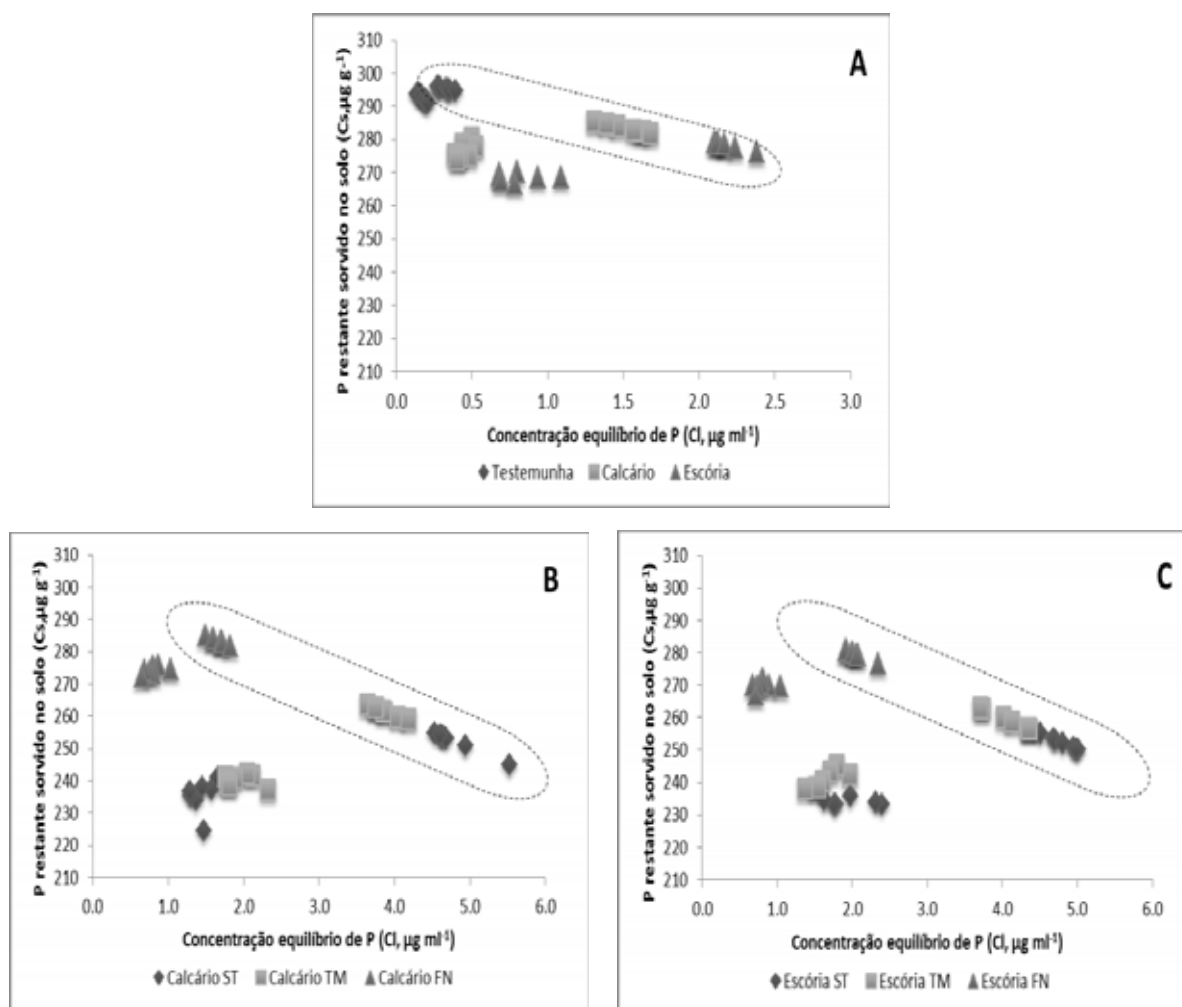
Comparando os tratamentos que receberam a adubação fosfatadas no solo corrigido com calcário (Figura 9.B) com o solo corrigido com escória (Figura 9.C), esperava-se que os tratamentos com escória mostrassem maior dessorção de P independente da fonte aplicada, levando em consideração a conclusão da Figura 9.A, onde o solo que recebeu escória dessorveu mais P que o solo que corrigido com calcário. Porém, o máximo P dessorvido aplicando calcário e escória foi respectivamente ST = 13 e 9; TM = 13 e 12 e FNR = 8 e 8  $\mu\text{g g}^{-1}$ , sendo assim maior com calcário nas fontes ST e TM e igual com FNR. Uma possível explicação seria que a competição do Si pelos mesmos sítios de adsorção que o fósforo, impedindo ou dificultando a adsorção deste, seja mais efetivo quando há baixa disponibilidade de P na solução no solo. Porque da forma como este experimento foi conduzido, os solos da Figura 9.A foram incubados durante 150 dias sem corretivo (Testemunha), com calcário e com escória; já nos tratamentos das Figuras 9.B e C, além dos corretivos, foram aplicadas as respectivas fontes fosfatadas na dose de 300 mg de P  $\text{dm}^{-3}$ , aumentando significativamente a quantidade de P na solução do solo. Após o período de incubação, em todos tratamentos da Figura 9, foi seguida a metodologia descrita no item 5.4.4b onde foi adicionado 300 mg de P  $\text{dm}^{-3}$  para analisar a dessorção de P pelas AEMs, sendo assim, os tratamentos com as fontes fosfatadas já tinham considerada quantidade de P na solução, sendo o efeito de Si na concentração de P na solução muito pequena comparada a quantidade fornecida diretamente pela adição das fontes.

A discussão do parágrafo anterior é confirmada na Figura 10, onde foi mostrado a relação da concentração de equilíbrio de P ( $C_s$ ) no solo com a quantidade de P restante sorvido no solo ( $C_l$ ) antes e após a adição das AEMs. Observando o eixo x da Figura 10.A com as Figuras 10.B e C, nota-se que a concentração de equilíbrio de P no solo foi praticamente o dobro quando as fontes fosfatadas foram aplicadas. Os sete pontos representam os valores utilizando 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 tiras de AEMs (valores médios das 3 repetições).

Nos tratamentos sem adição prévia de P (Figura 10.A),  $C_s$  e  $C_l$  mantiveram a mesma ordem antes (dentro da linha pontilhada) e após a agitação com AEMs no solo (fora da linha pontilhada), sendo na  $C_s$  Escória > Calcário > Testemunha e o inverso para  $C_l$  sendo: Testemunha > Calcário > Escória.

Combinando todos resultados desse solo desde o Experimento 1, concluiu-se que a aplicação de escória pode aumentar o P no solo (P resina – Tabela 5, 30 dias

após incubação) comprovado no menor  $K$ , parâmetro sugere a redução da afinidade de P pela superfície de sorção (Tabela 27) e maior concentração de equilíbrio de P no solo ( $C_s$ ) antes da agitação com AEMs (Figura 10.A), o que permitiu maior dessorção de P pelas AEMs (Figura 9.A).



**Figura 10.** Isothermas de dessorção de P usando o Método de Múltiplas Membranas de Trocas Aniônicas (AEMs) nos tratamentos sem fontes de adubação prévia (A) e nos demais tratamentos previamente fosfatados com as respectivas fontes em solos corrigidos com calcário (B) e corrigidos com escória (C). Pontos dentro da linha pontilhada representam valores de P adsorvido no solo antes da adição das AEMs. UF, Quincy, 2011. No gráfico A o eixo “x” está em escala diferente.

Aplicando ambos corretivos, a ordem das fontes fosfatadas antes da dessorção pelas AEMs no solo foi na  $C_s$  igual a  $FNR > TM > ST$  e  $Cl$  igual a  $ST > TM > FNR$  (Figura 10.B e C, dentro da linha pontilhada). No calcário após as AEMs, a  $C_s$

modificou-se, continuando o FNR maior que os demais, mas os valores de ST e TM não se diferenciaram e na CI o TM resultou valores um pouco maiores que ST, enquanto FNR manteve-se bem menor que as demais fontes (Figura 10.B, fora da linha pontilhada). Na escória após as AEMs, a Cs se manteve  $FNR > TM > ST$  e na CI o ST resultou valores um pouco maior que TM, enquanto FNR manteve-se bem menor que aplicando as outras fontes (Figura 10.C, fora da linha pontilhada). Esses dados confirmam a discussão da Figura 9, onde foi comentado que além do fator pH outros fatores influenciam direta/indiretamente a dessorção, podendo a solubilidade das fontes fosfatadas ser um desses fatores, já que o TM apesar de promover pH mais elevado que as demais fontes, resultou em dessorção de P (Figura 9.B) e concentração equilíbrio de P (Figura 10.B e C) semelhante a fonte ST. Uma observação interessante desses dados foi o fato do FNR apresentar valores tão superiores de P restante sorvido no solo (Cs), sendo esse um indicativo de que talvez os 150 dias de incubação não tenham sido suficientes para disponibilizar o P aplicado através dessa fonte menos solúvel, sugerindo dessa forma uma maior quantidade de P residual.

Sendo a sorção de P em função do pH inicial do solo e outros fatores comentados anteriormente, as isotermas de dessorção de P começaram de diferentes pontos dependendo do pH e da quantidade de P inicialmente adicionada, foi feita a razão de P dessorvido pelo P sorvido inicialmente no solo a fim de eliminar essa possível diferença do ponto inicial (Tabela 28).

Comparando apenas os tratamentos onde o P não foi adicionado no período de incubação, a razão P sorvido e P dessorvido nos solos que receberam os corretivos de acidez foram superiores a Testemunha (1,27), sendo que a razão aplicando escória (3,80) foi maior que usando o calcário (3,07) (Tabela 28). Os corretivos resultaram em pH semelhantes (6,1 calcário e 5,9 escória), superiores a Testemunha (4,2) confirmando a hipótese do que o aumento do pH eleva também a dessorção de P. Já entre os corretivos, o pH não diferiu e a escória resultou em maior razão P sorvido e P dessorvido nos solos que o calcário, corroborando Smyth e Sanchez (1980) que afirmam que o aumento do P disponível do solo realmente deve-se mais ao efeito do silicato contido na escória do que ao efeito do pH propriamente dito, e que isto se deve a competição dos ânions de silicato com o P pelos mesmos sítios de adsorção. Smyth e Sanchez (1980), comparando a ação do  $CaCO_3$  em relação ao  $CaSiO_3$ , em amostras de um Latossolo caulínico do Cerrado brasileiro (pH 4,8),

mostraram redução na retenção de P da ordem de 18 e 24 % para o  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaSiO}_3$ , respectivamente. Segundo Matichenkov e Bocharnikova (2001) a reação de dessorção do ânion fosfato leva ao incremento da disponibilidade de P em solução, criando um novo equilíbrio entre ânions silicato e fosfato no solo.

**Tabela 28.** Quantidade total e razão do P dessorvido pelo P sorvido nos diferentes tratamentos do solo. UF, Quincy, 2011.

Tratamento	pH solo após incubação	P sorvido inicialmente	Total P dessorvido	Razão do P dessorvido pelo P sorvido inicialmente
		( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		(%)
<b>Testemunha</b>	4,2	295,37	3,73	1,27 c
<b>Calcário</b>	6,1	283,48	8,72	3,07 bc
Calcário ST	5,7	252,21	20,96	8,31 a
Calcário TM	7,0	261,61	23,23	8,88 a
Calcário FNR	6,5	283,44	10,38	3,66 b
<b>Escória</b>	5,9	278,26	10,56	3,80 b
Escória ST	6,0	252,16	18,92	7,51 a
Escória TM	6,9	259,28	20,80	8,02 a
Escória FNR	6,1	279,63	10,83	3,88 b
CV	-	-	-	15

Letras distintas indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey,  $P < 0,05$ .

Nos tratamentos que foram incubados com P, independente do corretivos aplicado, a razão P sorvido e P dessorvido foi bem menor na fonte FNR que nas demais fontes, razão esta tão baixa sendo próxima ao valor dos tratamentos que não receberam P, só receberam os corretivos calcário ou escória (Tabela 28). Apesar de não significativo, foi observada uma maior razão no TM, que resultou também em maior pH, lembrando também que o TM possui Si em sua composição, sendo assim esperava-se um valor bem superior as demais fontes. O fato da razão de TM ser bem próximo a razão de ST, reforça a hipótese da solubilidade da fontes também deve ser um fator de efeito na dessorção e sorção de P no solo.

Restrições ambientais e socioeconômicas como baixo pH, alta capacidade de fixação de P, alto custo de fertilizantes fosfatados e necessidade corretivos de acidez torna o manejo de P em solos tropicais ácidos problemáticos. Estratégias de manejos que mostrem mais eficiência no uso de P e corretivos são requeridos. Para finalizar a discussão

desse experimento, é importante frisar que o maior objetivo foi elevar a concentração de P na solução do solo, uma vez que isso é diretamente relacionado com a absorção de P pelas plantas. Um pequeno incremento na concentração de P na solução do solo induzido pelo aumento da dessorção de P pelo corretivo aplicado, pode influenciar significativamente o crescimento da planta. Por exemplo, Jones e Benson (1975) mostraram correlação do P em folhas de milho doce com equilíbrio de P na solução e Fox e Kamprath (1970) observaram essa relação entre P nas plantas e equilíbrio das concentrações de P entre 0,01 a 1,8  $\mu\text{g P ml}^{-1}$ .

Devido à falta de referência sobre os mecanismos de dessorção de P, sugere-se mais trabalhos nessa promissora linha de pesquisa.

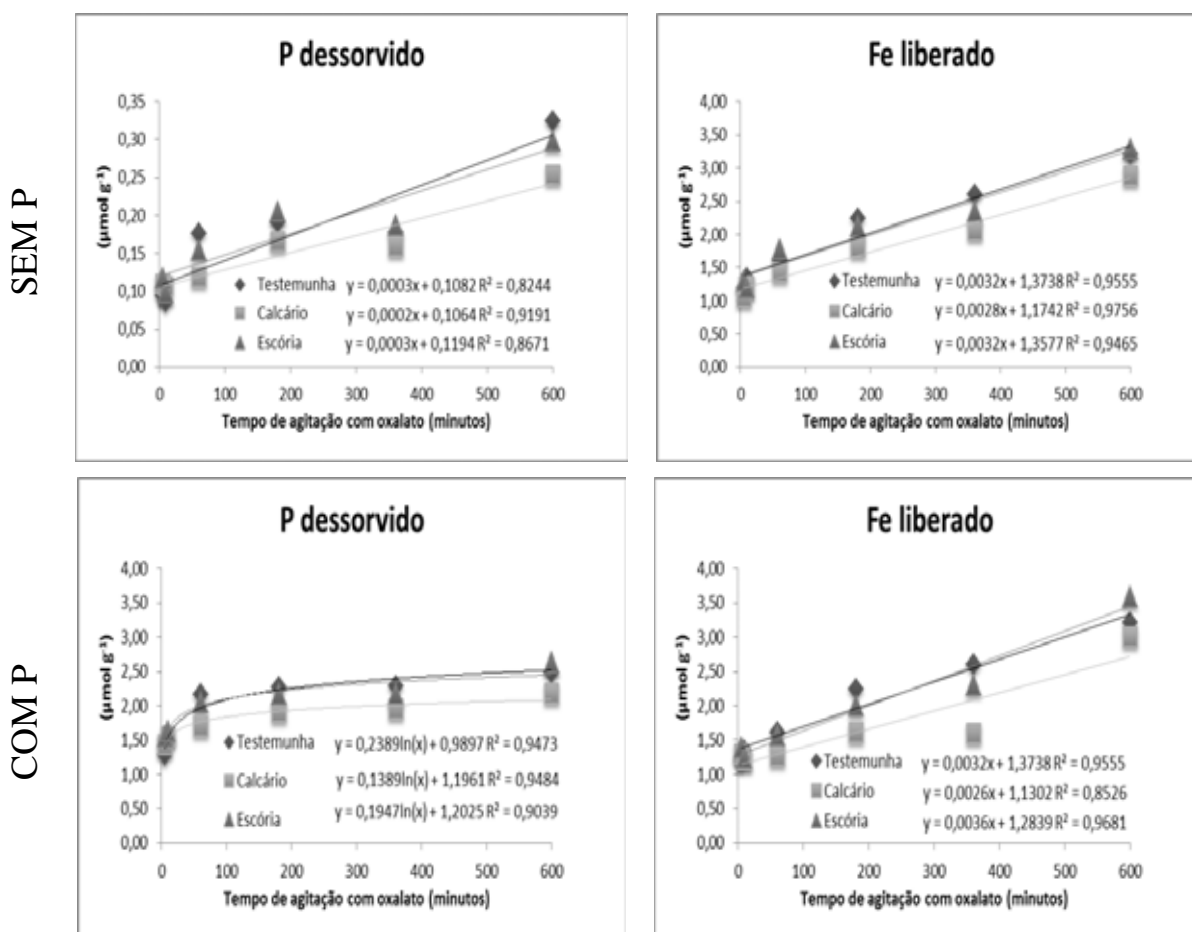
#### **6.4.5 Considerações finais Experimento 4:**

Combinando os resultados de ambas partes do Experimento 4 foi concluído que a aplicação de corretivos de acidez tem um efeito positivo duplo, pois reduz a quantidade de P sorvida e aumenta a quantidade de P dessorvida pelo solo. Essas duas mudanças induzem o aumento da concentração de P na solução e biodisponibilidade de P. Tendo a escória de aciaria efeito superior ao calcário nestas mudanças, o uso desse corretivo silicatado mostrou-se promissor no uso mais eficiente de P na agricultura principalmente nas áreas tropicais.

## 6.5 EXPERIMENTO 5: Ânion orgânico e dessorção de P

### 6.5.1 Padrão temporal do P dessorvido por ânion orgânico

Em todos os tratamentos com a dose zero de P adicionada (sem P) o P dessorvido pelo oxalato se ajustou a equação linear, com o maior valor nos 600 minutos de agitação (Figura 11). Nos tempos de agitação testados, não foi possível encontrar o ponto máximo ou de estabilização de dessorção de P, sendo assim, para experimentos futuros com esse tipo de solo é recomendado tempos de agitação mais longos.



**Figura 11.** Padrão temporal de extração do P dessorvido por ânion orgânico (oxalato) na concentração de  $20 \mu\text{mol}$  de ânion  $\text{g}^{-1}$  de solo (solução corrigida a pH 4,0 antes da adição oxalato) e o Fe liberado. Os gráficos estão em escalas diferentes. UF, Quincy, 2011.

Todos tratamentos Com P, onde foi aplicado  $9,689 \mu\text{mol P g}^{-1}$  de solo ( $300 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo), o P dessorvido se ajustou a equações logarítmicas e com 180 minutos de agitação se estabilizou, alcançando no tratamento Testemunha 91%, no calcário 88% e na escória 83% do P dessorvido após 600 minutos de agitação (Figura 11). Porém devido os 600 minutos ser o tempo com maior dessorção de P nos tratamentos sem P, esse foi o tempo usado nas etapas seguintes (Figura 11).

O Fe liberado foi muito semelhante nos tratamentos Sem e Com P. O aumento de Fe foi proporcional ao aumento do tempo de agitação com oxalato, exceto para o solo corrigido com calcário, que no tempo 360, o Fe liberado foi menor que no tempo de 180 minutos (Figura 11). O P é fortemente sorvido por óxidos de Al e Fe portanto apenas uma porção permanece biodisponível (McLEAN, 1976; HSU, 1982).

O P inorgânico que permanece biodisponível é liberado para a solução do solo através da dessorção da superfície do solo e dissolução dos componente relativamente solúveis de P (WOLF e LONDON, 1994). Dessorção/dissolução, combinadas com adsorção/precipitação controlam as reações de concentração de P na solução do solo, sua mobilidade química, e sua biodisponibilidade (HINSINGER, 2001). O processo de adsorção/precipitação são comumente combinados dentro do termo sorção porque é difícil distinguir um do outro. Dessorção/dissolução apresentam a mesma dificuldade, mas não há um termo comparável para esses processos. Então, nesse experimento foi usado o termo dessorção para representar ambas reações de troca e dissolução que envolvem dessorção/dissolução.

Segundo Prado e Fernandes (2001) tratando-se a escória de um produto conhecido como corretivo de acidez, torna-se difícil afirmar se os ganhos na redução da adsorção de P são uma ocorrência apenas do incremento do H ou do efeito do silicato em deslocar ou saturar os sítios de adsorção de P do solo; havendo, portanto, a necessidade de isolar o efeito do pH do efeito do silicato.

O pH da solução foi corrigido a 4 antes da adição do oxalato eliminando assim esse fator no efeito do P dessorvido. O efeito do Si foi evidenciado no tratamento com escória (Tabela 29) onde o P dessorvido foi maior que com calcário em  $0,05 \mu\text{g g}^{-1}$  ( $1,55 \text{ mg P kg}^{-1}$  de solo) nos tratamentos sem adição de P e  $0,40 \mu\text{g g}^{-1}$  ( $12,39 \text{ mg P kg}^{-1}$  de solo) nos tratamentos com a adição de P.



**Tabela 29.** P dessorvido nos diferentes tratamentos do solo, após 600 minutos de agitação com oxalato (solução corrigida a pH 4,00 antes da adição oxalato). UF, Quincy, 2011.

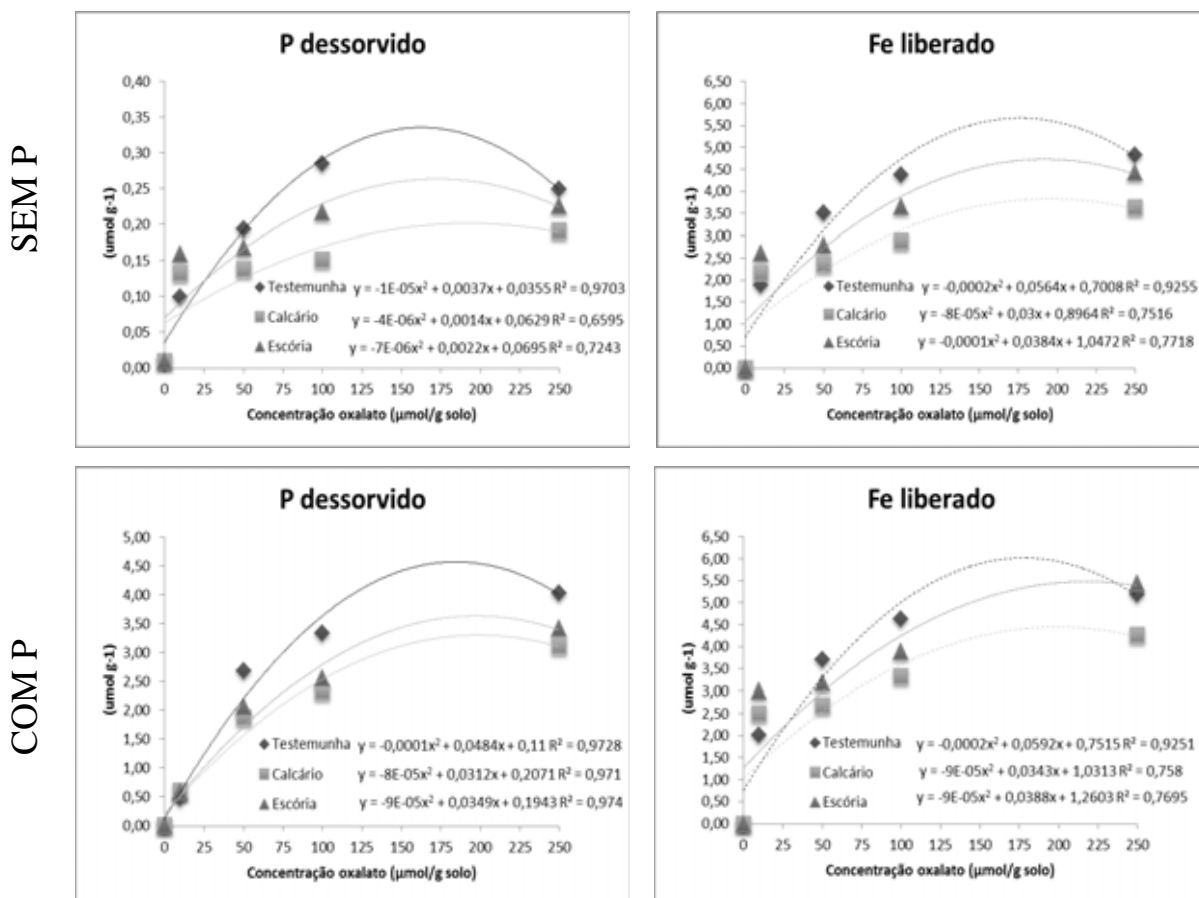
Tratamentos	P dessorvido Sem Adição P	P dessorvido Com Adição P
	----- $\mu\text{g g}^{-1}$ -----	
Testemunha	0,32	2,48
Calcário	0,25	2,18
Escória	0,30	2,63

Nas recomendações práticas de P, usualmente calcula-se a adubação com aproveitamento de P de 20 a 30%. Utilizando dados do P dessorvido com adição de P o aproveitamento dos  $9,689 \mu\text{mol P g}^{-1}$  de solo foi de 22,5% aplicando calcário e 27,2% aplicando escória. Sendo então a escória uma ótima alternativa de corretivo de acidez e melhora no aproveitamento de P.

### 6.5.2 Concentração aniônica ótima para a extração do P dessorvido

Em todos os tratamentos, sem P e com P, o P dessorvido e o Fe liberado pelo oxalato se ajustaram a equação quadrática (Figura 12). Quando não houve aplicação de P, a dose que proporcionou maior valor de P dessorvido no tratamento Testemunha foi  $100 \mu\text{mol de ânion g}^{-1}$  de solo, aplicando Calcário não se diferiu nas últimas duas doses ( $100$  e  $250 \mu\text{mol de ânion g}^{-1}$  de solo) e aplicando Escória o valor foi maior com  $250 \mu\text{mol de ânion g}^{-1}$  de solo. As equações indicam o ponto máximo entre  $150$  e  $175 \mu\text{mol de ânion g}^{-1}$  de solo, sendo assim, para experimentos futuros com esse tipo de solo é recomendado incluir essas doses de oxalato para mensurar mais precisamente nestes pontos.

Aplicando P (com P), a dose de oxalato que proporcionou maior valor de P dessorvido nos três tratamentos foi  $250 \mu\text{mol de ânion g}^{-1}$  de solo. Sem ou Com P, a partir da dose de  $50 \mu\text{mol de ânion g}^{-1}$  de solo, os valores de P dessorvido e Fe liberado seguiram a ordem decrescente Testemunha > Escória > Calcário, exceto Fe liberado, Com P na concentração  $250 \mu\text{mol de ânion g}^{-1}$  de solo que os valores da Testemunha e da Escória foram semelhantes e maiores que aplicando Calcário. O Fe liberado foi muito semelhante nos tratamentos Sem e Com P, a dose de oxalato que proporcionou maior valor de Fe liberado nos três tratamentos foi  $250 \mu\text{mol de ânion g}^{-1}$  de solo (Figura 12).



**Figura 12.** Concentração aniônica ótima de oxalato para a extração do P desorvido e o Fe liberado. UF, Quincy, 2011. Os gráficos estão em escalas diferentes.

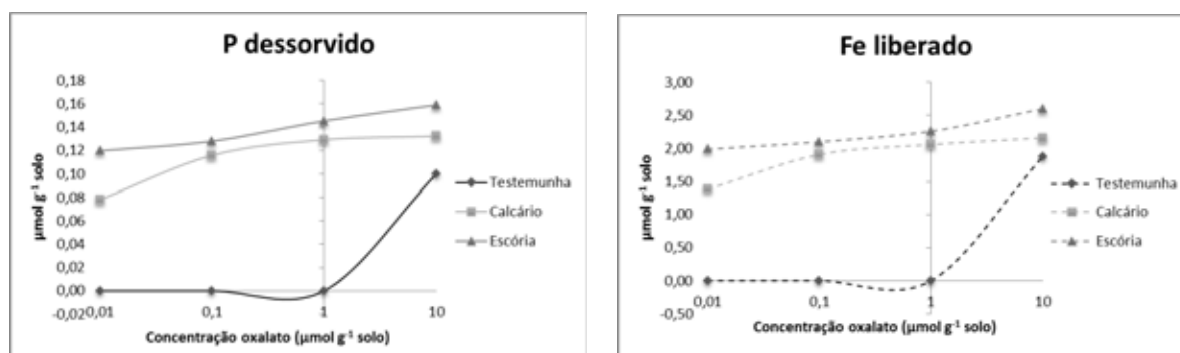
Assim como no item 6.5.1, sabendo que o pH da solução foi corrigido a 4 antes da adição do oxalato eliminando assim esse fator do efeito do P desorvido, o efeito do Si foi evidenciado no tratamento com escória (Tabela 30) onde o P desorvido foi maior que com calcário em  $0,04 \mu\text{g g}^{-1}$  ( $1,24 \text{ mg P kg}^{-1}$  de solo) no tratamento sem adição de P e  $0,26 \mu\text{g g}^{-1}$  ( $8,05 \text{ mg P kg}^{-1}$  de solo) no tratamento com adição de P. Utilizando dados do P desorvido com adição de P o aproveitamento dos  $9,689 \mu\text{mol P g}^{-1}$  de solo foi de 32,2% aplicando calcário e 35,5% aplicando escória. É importante lembrar que este valor é referente a concentração de oxalato a  $250 \mu\text{mol de ânion g}^{-1}$  de solo, e no item anterior a concentração do oxalato foi de apenas  $20 \mu\text{mol de ânion g}^{-1}$  de solo e já foi suficiente para mostrar a diferença entre os corretivos de acidez utilizados.

**Tabela 30.** P dessorvido nos diferentes tratamentos do solo por ânion orgânico (oxalato) na concentração de 250  $\mu\text{mol}$  de ânion  $\text{g}^{-1}$  de solo (solução corrigida a pH 4,00 antes da adição oxalato). UF, Quincy, 2011.

Tratamento	P dessorvido	P dessorvido
	Sem Adição P	Com Adição P
	----- $\mu\text{g g}^{-1}$ -----	
Testemunha	0,25	4,04
Calcário	0,19	3,12
Escória	0,23	3,42

### 6.5.3 Dez horas de extração com oxalato a baixas concentrações de aniônicas em solos com e sem corretivos de acidez, sem adição de fósforo.

O oxalato foi efetivo na dessorção de P mesmo em baixas concentrações (Figura 13). Comparando os valores dessorvidos com 1  $\mu\text{mol}$  de ânion  $\text{g}^{-1}$  de solo (0,13 com calcário e 0,15  $\mu\text{mol}$  de ânion  $\text{g}^{-1}$  no solo com escória), os valores foram apenas 0,06 e 0,08  $\mu\text{mol}$  de ânion  $\text{g}^{-1}$  no solo inferiores respectivamente aos valores no solo sem adição de P agitado pelas mesmas dez horas porém com oxalato na concentração de 250  $\mu\text{mol}$  de ânion  $\text{g}^{-1}$  de solo (Tabela 30).



**Figura 13.** P dessorvido e Fe liberado após dez horas de agitação com concentrações baixas de oxalato, sem adição de P. Os gráficos estão em escalas diferentes. UF, Quincy, 2011.

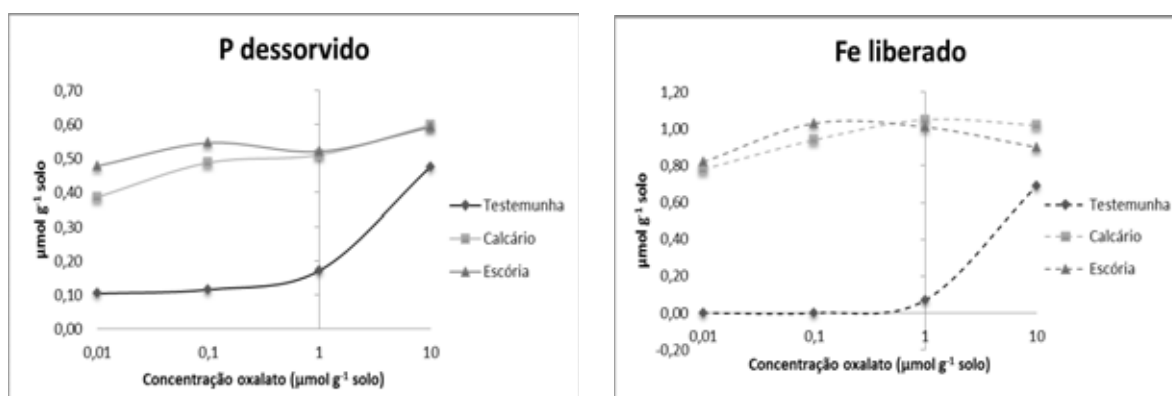
Mesmo aumentando a dose de oxalato em 100 vezes (0,01 a 1  $\mu\text{mol g}^{-1}$  de solo), o P dessorvido e o Fe liberado no tratamento testemunha mantiveram-se estáveis, aumentando drasticamente da dose 1 para 10  $\mu\text{mol g}^{-1}$  de solo. Concordando com Sato e

Comerford (2006b) que observaram a mesma estabilidade em solo Argissolo vermelho/vermelho-amarelo distrófico segundo classificação de Oliveira et al. (1992), no qual como no solo testemunha neste experimento, não houve adição de fertilizantes ou corretivos.

Nos tratamentos que receberam corretivos de acidez, o aumento da dose de ânions orgânicos resultou em aumento gradativo de P dessorvido e Fe liberado (Figura 13), como observado por Sato e Comerford (2006b). A ordem do P dessorvido e do Fe liberado seguiu a ordem Escória > Calcário > Testemunha em todas doses aplicadas de oxalato (Figura 13). A escória foi superior ao calcário em 0,04; 0,01; 0,02 e 0,03  $\mu\text{mol}^{-1}$  g de solo nas concentrações 0,01; 0,1; 1 e 1  $\mu\text{mol}^{-1}$  g de solo respectivamente. Como explicado no material e métodos desse experimento, o pH da solução foi corrigido a 4,0 antes da adição do oxalato, assim, a diferença entre os corretivos tendeu-se então ao efeito do silício na ocupação dos sítios de absorção.

#### 6.5.4 Um minuto de extração com oxalato a baixas concentrações aniônicas em solos com e sem correção de acidez, com adição de P.

O oxalato foi efetivo na dessorção de P mesmo agitado com o solo em apenas um minuto, porém dessorveu muito menos que quando agitado por longo períodos (Figura 14). Comparando os valores dessorvidos com 1  $\mu\text{mol}$  de ânion  $\text{g}^{-1}$  de solo (0,52  $\mu\text{mol}$  de ânion  $\text{g}^{-1}$  no solo com ambos corretivos), os valores foram cerca de 6 vezes inferiores aos valores no solo com adição de P agitado por dez horas com oxalato na concentração de 250  $\mu\text{mol}$  de ânion  $\text{g}^{-1}$  de solo (Tabela 30).



**Figura 14.** P dessorvido e Fe liberado após um minuto de agitação com concentrações baixas de oxalato, com adição de P. UF, Quincy, 2011. Os gráficos estão em escalas diferentes.

Agitando as soluções por curto período e adicionando 9,689  $\mu\text{mol}$  de P  $\text{g}^{-1}$  de solo, o P dessorvido e o Fe liberado no tratamento testemunha mantiveram-se estáveis entre as doses de 0,01 e 0,1  $\mu\text{mol g}^{-1}$  de solo, teve um pequeno aumento de 0,1 a 1  $\mu\text{mol g}^{-1}$  de solo, e aumentou drasticamente a partir da dose 1  $\mu\text{mol g}^{-1}$  de solo (Figura 14). Concordando com Sato e Comerford (2006b) que observaram o mesmo comportamento em solo Argissolo vermelho/vermelho-amarelo distrófico fertilizado com 5,81  $\mu\text{mol}$  de P  $\text{g}^{-1}$  de solo.

Nos tratamentos que receberam corretivos de acidez, o aumento da dose de ânions orgânicos resultou em aumento gradativo de P dessorvido e Fe liberado (Figura 14), como observado por Sato e Comerford (2006b). A ordem do P dessorvido seguiu a ordem Escória > Calcário > Testemunha apenas nas duas menores doses de oxalato (Figura 14), evidenciando o efeito do silício, sendo superior ao calcário em 0,09 e 0,06  $\mu\text{mol}$  de P  $\text{g}^{-1}$  de solo nas concentrações 0,01 e 0,1  $\mu\text{mol g}^{-1}$  de solo respectivamente. A partir de 1  $\mu\text{mol g}^{-1}$  solo não houve diferença entre os corretivos e o P dessorvido por ambos foi maior que o dessorvido no tratamento testemunha.

O P dessorvido nas concentrações menores de oxalato (de 0,01 a 1  $\mu\text{mol g}^{-1}$  solo) nos solos que receberam calcário e escória foi bem maior (de 3 a 5 vezes) que o solo testemunha, essa diferença diminuiu para 23% com de 10  $\mu\text{mol l}^{-1}$  de solo.

### 6.5.5 Considerações finais Experimento 5

O P dessorvido foi maior aplicando escória que aplicando calcário em 0,05  $\mu\text{g g}^{-1}$  nos tratamentos sem adição de P e 0,40  $\mu\text{g g}^{-1}$  nos tratamentos com adição de P.

A ordem do P dessorvido seguiu a ordem Escória > Calcário > Testemunha em todas as doses aplicadas de oxalato.

Nos tratamentos que receberam corretivos de acidez, o aumento da dose de ânions orgânicos resultou em aumento gradativo de P dessorvido. A ordem do P dessorvido seguiu a ordem Escória > Calcário > Testemunha nas duas menores doses de oxalato, evidenciando o efeito do silício na ocupação dos sítios de adsorção, sendo superior ao calcário em 0,09 e 0,06  $\mu\text{mol}$  de P  $\text{g}^{-1}$  de solo nas concentrações 0,01 e 0,1  $\mu\text{mol g}^{-1}$  de solo respectivamente.

## 7. CONCLUSÕES

Sem planta: os corretivos de acidez tiveram mesmo efeito na elevação de pH do solo. A escória de aciaria resultou em maior teor de P apenas 30 dias após incubação.

Amendoim: a aplicação de escória resultou em plantas mais altas e com maior produção de MSPA, porém a MS grãos por vaso foi maior com a calagem, corretivo em que seguiu a ordem  $TM = FNR > ST > \text{sem P}$ .

Capim marandu: a MS Total aplicando escória foi superior no sem P e com calcário no  $TM+M$ . A produção de MS Total com calcário foi  $ST = TM > FNR > \text{sem P}$  e com escória o  $ST = TM$ ,  $ST > FNR$  e  $ST > \text{sem P}$ . O teor de P no solo não se diferenciou entre os corretivos após o 3º corte e nas fontes fostadas foram maiores que sem P.

A aplicação de corretivos de acidez teve efeito positivo duplo, pois reduziu a quantidade de P sorvida e aumentou a quantidade de P dessorvida pelo solo; tendo a escória efeito superior ao calcário nestas mudanças.

Tratamentos com escória de aciaria dessorveram mais P que com calcário nas doses altas (250  $\mu\text{mol}$  de ânion por g de solo) e baixas de oxalato (0,01 e 0,1  $\mu\text{mol}$  de ânion  $\text{g}^{-1}$  de solo) em soluções previamente corrigidas a pH 4, evidenciando o efeito da escória (silicato) na dessorção de P.

## 8. REFERÊNCIAS

ABDALLA, S. R. S.; PROCHNOW, L. I. Uso racional de fósforo na agricultura com ênfase na cultura do milho. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 122, p. 8-12, jun. 2008.

ABREU, C. A.; BERTON, R. S.; KOEKKOED, E. P. J. Validation of annual and total cumulative loading limits stipulated by USEPA for Zn on oxisol. In: **WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE**, 16., 1998, Montpellier. **Summaries...** Montpellier: International Society of Soil Science, 1998. 5 p. 1 CD-ROM.

AGRIANUAL. **AGRIANUAL 2007**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria, 2007. p. 183-186.

ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. 2. ed. São Paulo: ANDA, 1992. 26 p. (Boletim Técnico, 6).

ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. 2. ed. São Paulo: ANDA, 1991. 35 p.

ALCARDE, J. C.; PROCHNOW, L. I. Metodologias de extração para avaliar a eficiência de fertilizantes. In: **SIMPÓSIO DE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA**, 1., São Pedro, 2003. **Anais...** São Pedro: POTAFOS; ANDA, 2003. 1 CD-ROM.

ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 291-334.

ALMEIDA, J. C. R. de. **Combinação de doses de fósforo e magnésio na produção e nutrição de duas braquiárias**. 1998. 81 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

AMARAL SOBRINHO, N. M. et al. Aplicação de resíduo siderúrgico em um Latossolo: efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 299-304, 1993.

AQUINO, B. F. **Conceitos fundamentais em fertilidade do solo**. Fortaleza: UFC, 2004. 182 p. Apostilas didáticas.

BAHIA, V. G. Escórias de siderurgia como corretivos da acidez do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 4, p. 489-494, 1989.

BALDEÓN, J. R. M. **Efeito da ação alcalinizante e da competição entre silicato e fosfato na eficiência do termofosfato magnesiano em solos ácidos**. 1995. 88 f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: Funep, 1989. 247 p.

BARBER, S. A. The role of root interception, mass flow and diffusion in regulating the uptake of ions by plants from soil. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Limiting steps in ion uptake by plants from soil**. proceedings...Vien: FAO/IAEA, 1966. P. 39-45. (Technical Report Series, 65).

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability**: a mechanistic approach. 2nd. ed. New York. John Wiley & Sons, 1995. 414 p.

BARBOSA FILHO, M. P. et al. Interações entre calagem na absorção de nutrientes e produção de arroz sequeiro em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 355-360, 1992.

BARNES, J. S.; KAMPRATH, E. J. **Availability of North Carolina rock phosphate applied to soils**. Raleigh: North Carolina State University. Agricultural Experiment Station, 1975. 23 p. (Technical Bulletin, n. 229).

BAR-YOSEF, B.; FISHMAN, S.; TALPAZ, H. A model of zinc movement to single roots in soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 44, p. 1272-1279, 1980.



- BIELESKI, R. L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 24, p. 225-252, 1973.
- BOWDEN, J. W. et al. Describing the adsorption of phosphate, citrate and selenite on a variable-charge mineral surface. **Australian Journal Soil Research**, Melbourne, v. 18, p. 49-60, 1980.
- BRAGA, J. M.; AMARAL, F. A. Efeito de fontes de fósforo na variação de pH e disponibilidade de fósforo, cálcio e magnésio. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 17, p. 325-335, 1971.
- BRASSIOLI, F. B.; SILVA, M. L. S.; FERNANDES, F. M. Efeito da aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez em alguns atributos químicos do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.
- BRAY, R. H.; KURTZ, L. T. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. **Soil Science**, Philadelphia, v. 59, p. 39-45, 1945.
- CAMPBELL, K. L.; EDWARDS, D. R. Phosphorus and water quality. In: RITTER, W. F.; SHIRMONHAMMADI, A. (Ed.). **Agricultural nonpoint source pollution: watershed management and hydrology**. Boca Raton: Lewis, 2001. p. 91-107.
- CAMPELLO, M. R. et al. Avaliação da reversibilidade de fósforo não lábil para lábil em solos com diferentes características. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 157-165, 1994.
- CARVALHO, R. et al. Dessorção de fósforo por silício em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p. 69-74, 2000.
- CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 12, p. 1213-1218, 2004.
- CARVALHO-PUPATTO, J. G. et al. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 12, p. 1323-1328, 2003.
- CARVALHO, W. A.; ESPINDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. Levantamento de solos da Fazenda Experimental "Presidente Médici". **Boletim Científico da Faculdade de Ciências Agrônomicas UNESP**, Botucatu, n.1, 1983. 95 p.
- CASAGRANDE, J.C.; CAMARGO, O. A. Adsorção de fosfato em solos com caráter ácrico avaliada por um modelo de complexação de superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 353-360, 1997.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, v. 41, n. 2, p. 227-234, 1995.

COELHO, F. A. S.; TELLA, R. de. Absorção de nutrientes pela planta de amendoim em cultura de primavera. **Bragantia**, Campinas, v. 26, p. 393-408, 1967.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2012/13: intenção de plantio: primeiro levantamento – Outubro/2012. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlaCMS/uploads/arquivos/12\\_10\\_09\\_15\\_59\\_18\\_boletim\\_portugues\\_outubro\\_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlaCMS/uploads/arquivos/12_10_09_15_59_18_boletim_portugues_outubro_2012.pdf)> . Acesso em: 12 dez. 2012.

CORREA, J. C. et al. Aplicação superficial de calcário e diferentes resíduos em soja cultivada no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 1059-1068, 2009.

CORREA, J. C. et al. Aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 9, p. 1209-1219, set. 2008.

CORREA, J. C. et al. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 9, p. 1307-1317, set. 2007.

COSTA, S. E. V. G de A. et al. Crescimento e nutrição da braquiária em função de fontes de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 32, n.5, p. 1419-1427, set/out., 2008.

COUTO, W.; LEITE, G. G.; KORNELIUS, E. The residual effect of phosphorus and lime on the performance of four tropical grasses in a high P fixing Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, n. 4, p. 539, 1985.

DELISTOIANOV, J.; MATTOS, H. B.; MONTEIRO, F. A. Aplicação de fontes de fósforo e gesso em uma pastagem consorciada estabelecida em um Latossolo Vermelho-Escuro. **Brazilian Industrial Animal**, Nova Odessa, v. 49, n. 2, p. 83-90, jul./dez. 1992.

DE SMET, J.; VANDERDEELEN, J.; HOFMAN, G. Effect of soil properties on the kinetics of phosphate release. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 29, p.2135-2147, 1998.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF, 1999. 412 p.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50. p. 641-664, 1999.

ESPIRONELO, A. Contribuição do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) para nutrição e adubação de cana-de-açúcar. II. Fósforo em cana-planta. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 8, n. 2, p. 14-21, 1989.

- EVANS, A.; ANDERSON, T. J. Aliphatic acids: influence on sulfate mobility in a forested Cecil soil. **Soil Science of American Journal**, Madison, v. 54, p. 1136-1139, 1990.
- FARIA, L. A. et al. Efeito residual da silicatagem no solo e na produtividade do capim-marandu sob pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 1209-1216, 2008.
- FASSBENDER, H. W. **Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina**. 2. ed. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para Agricultura, 1987. 420 p.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar**: versão 4.2. Lavras: UFLA, 2003.
- FORTES, C. A. **Correção do solo com silicato de cálcio e magnésio para produção de gramíneas forrageiras**. 2006. 137 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- FORTES, J. L. O. **Eficiência de duas escórias de siderurgia, do Estado do Maranhão, na correção da acidez do solo**. 1993. 66 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1993.
- FOX, R. L.; KAMPRATH, D. E. J. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 34, p. 902–907, 1970.
- FREIRE, F. M.; FONSECA, D. M.; CANTARUTTI, R. B. Manejo da fertilidade do solo em pastagens. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 226, p. 44-53, 2005.
- FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/ FAEPE, 2001. 261 p.
- GEELHOED, J. S.; HIEMSTRA, T.; VAN RIEMSDIJK W. H. Competitive interaction between phosphate and citrate on goethite. **Environmental Science & Technology**, Iowa City, v. 32, p. 2119–2123, 1998.
- GERIN, M. A. N. Adubação do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) em reforma de canavial. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 53, n. 1, Jan./Apr. 1996.
- GOEDERT, W. J. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1986. 422 p.
- GOMES, A. G.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H. G. Comportamento de tipos de escórias de siderurgia como corretivo da acidez do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 24, p. 173-179, 1965.
- GUÉVEL, M. H.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. **European Journal of Plant Pathology**, London, v. 118, p. 115-123, 2007.

- HAYNES, R. J. Effects of liming on phosphate availability in acid soils – A critical review. **Plant and Soil**, The Hague, v. 68, p. 289–308, 1982.
- HE, Z. L. et al. Determination of soluble phosphorus in the presence of organic ligands or fluoride. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 62, p.1538–1541, 1998.
- HE, Z. L.; ZHU, Z. X.; YUAN, K. N. Desorption of phosphate from some clay minerals and typical soil groups of China: II. Effect of pH on phosphate desorption. **Acta Agriculturae Universitatis Zhejiangensis**, Zhejiang, v. 15, p. 441-448, 1989.
- HIPPLER, F. W. R. et al. Fungos micorrízicos arbusculares nativos e doses de fósforo no desenvolvimento do amendoim RUNNER IAC 886. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 605-610, 2011.
- HINGSTON, F. J. et al. The specific adsorption of anions. **Nature**, London, v. 215, p. 1459-1461, 1967.
- HINGSTON, F. J.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 23, p. 177-191, 1972.
- HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, The Hague, v. 237, p. 173–195, 2001.
- HOFFMANN, C. R. **Nutrição mineral e crescimento da braquiária e do colônio, sob influência das aplicações de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre em latossolo da região do Paraná**. 1992. 204 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1992.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 665-688.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agronômica de fosfatos naturais. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos/ANDA, 2003. 1 CD-ROM.
- HSU, P. H. Crystallization of iron (III) phosphate at room temperature. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 46, p. 928–932, 1982.
- IYAMUREMYE, F.; DICK, R. P. Organic amendments and phosphorus sorption by soil. **Advances in Agronomy**, New York, v. 56, p. 139-185, 1996.
- JONES, J. P.; BENSON, J. A. Phosphate sorption isotherms for fertilizer P needs of sweet corn (*Zea mays*) grown on a high phosphorus fixing soil **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 6, p. 465–477, 1975.

- JONES, D. L.; BRASSINGTON, D. S. Sorption of organic acids in acid soils and its implications in the rhizosphere. **European Journal of Soil Science**, Dorchester, v. 49, p. 447-455, 1998.
- JONES, D. L.; DARRAH, P. R.; KOCHIAN, D. L. V. Critical evaluation of organic acid mediated iron dissolution in the rhizosphere and its potential role in root iron uptake. **Plant and Soil**, The Hague, v. 180, p. 57–66, 1996.
- KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Santa Maria: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1997. 31 p. (Boletim Técnico, 3).
- KHASAWNEH, F. E.; DOLL, E. C. The use of phosphate rock for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 30, p. 159-206, 1978.
- KLEINMAN, P. J. A. et al. Interlaboratory comparison of soil phosphorus extracted by various soil test methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York,, v. 32, p. 2325-2345, 2001.
- KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A. Efeito do silício no crescimento e desenvolvimento de plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE SÍLÍCIO NA AGRICULTURA, 2., Lavras, 2003. **Anais...** Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2003. 1 CD-ROM.
- KORNDÖRFER, G. H. et al. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 50 p. (Boletim Técnico, 2).
- KORNDÖRFER, G. H. et al. Efeito da aplicação de silicato de cálcio em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 623-629, 1999.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de Cálcio e magnésio na agricultura**. 3. ed. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 23 p. (Boletim Técnico, 1).
- LARSEN, S. Soil phosphorus. **Advances in agronomy**, San Diego, v. 19, p. 151-210, 1967.
- LEITE, P. C. Interação **silício-fósforo em Latossolo Roxo cultivado com sorgo em casa-de-vegetação**. 1997. 84 f. Tese (Doutorado em Agronomia)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.
- LAVRES JUNIOR, J. **Combinações de doses de nitrogênio e potássio para o capim-mombaça**. 2001. 115 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.
- LOBO, D. M. et al. Características de deficiência nutricional do amendoineiro submetido à omissão de N, P K. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 69-76, Jan./Feb. 2012.

LOPES, A. S. (Trad.). **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa de Potassa e Fósforo, 1998. 177 p.

LOPES, M. S. **Relações entre o pH e a adsorção de fósforo e silício em solos**. 1977. 45 f.. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1977.

LUDWIG, C.; DEVIDAL, J. L.; CASEY, W. H. The effect of different functional groups on the ligand-promoted dissolution of NiO and other oxide minerals. **Geochimica et Cosmochimica. Acta**, London, v. 60, p. 213–224, 1996.

MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science & Plant Nutrition**, Tokyo, v. 50, p. 11-18, 2004.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 11, p. 342-397, 2006.

MACEDO, M. C. M. Adubação fosfatada em pastagens cultivadas com ênfase na Região do cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 2004. p. 359-400.

MACIEL, G. A. et al. Efeito de diferentes fontes de fósforo na *Brachiaria Brizantha* cv. Marandu cultivada em dois tipos de solos. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 8, n. 2, p. 227-233, abr./ jun. 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARCOLAN, A. L. **Suprimento e absorção de fósforo em solos submetidos a diferentes sistemas de preparo**. 2006. 124 p. Tese (Doutorado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa, UFV, 2005. p. 283-285.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARSHALL, C.; WARDLAW, I. F. A comparative study of the distribution and speed of movement of <sup>14</sup>C assimilates and foliar-applied <sup>32</sup>P-labelled phosphate in wheat. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 26, p. 1-13, 1973.

MARUBAYASHI, O. M. et al. Efeito da fontes de adubação na produção e na qualidade da semente de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 16, n. 1, p. 85-89, 1994.

MATICHENKOV, V. V.; BOCHARNIKOVA, E. A. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 133-147. (Studies in Plant Science, 8).

MATOS, A. T. et al. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 379-386, 1996.

McBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. New York: University Press, 1994. 406 p.

McKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in soils. II. The adsorption of monosilicic acid by soil and by other substances. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 43, n. 1, p. 83-95, 1963.

McLEAN, E. O. Chemistry of soil aluminum. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 7, p. 619-636, 1976.

MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na, and NH<sub>4</sub>**. Raleigh: Department of Agriculture, 1953. 53 p.

MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. **Soil Science of Plant Analysis**, New York, v. 15, p. 1409-1416, 1984.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. London: Kluwer Academic, 2001. 849 p.

MITANI, N.; MA, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 56, p. 1255-1261, 2005.

MOURA FILHO, G. **Manejo de fósforo na cana-de-açúcar**. In: SEMINÁRIO REGIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL SOBRE CANA-DE-AÇÚCAR, 7, 2002, Recife. **Palestra...** Recife: STAB, 2002.

MOURA, W. M. et al. Eficiência nutricional para fósforo em linhagens de pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, p. 174-180, 2001.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 27, p. 31-36, 1962.

NAKAGAWA, J. et al. Efeitos de adubos fosfatados e de métodos de aplicação na cultura do amendoim. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 12, n. 3, p. 28-39, 1990.

NAKAGAWA, J. et al. Efeitos de fontes de fósforo e da calagem na produção de amendoim. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 4, p. 421-431, 1993.

NAKAGAWA, J. et al. Efeitos de doses crescentes de adubo fosfatado na cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Experimento V. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 5, n. 2, p. 119-123, 1981a.

NAKAGAWA, J. et al. Efeitos de doses crescentes de adubo fosfatado na cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Experimento IV. **Científica**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 227-234, 1981b.

NAKAGAWA, J. et al. Efeitos de doses crescentes do adubo fosfatado na cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Experimento I. **Botucatu Científica**, Série A, v. 2, n. 1, p. 57-66, 1977a.

NAKAGAWA, J. et al. Efeitos de doses crescentes de adubo fosfatado na cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Experimento II. **Botucatu Científica**, Série A, v. 2, n. 2, p. 129-136, 1977b.

NAKAGAWA, J. et al. Efeitos de doses crescentes de adubo fosfatado na cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Experimento III. **Científica**, São Paulo, v.8, n.1/2, p.35-44, 1980a.

NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. [viii], 1017 p.

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

NYLE, C. B. **The nature and properties of soils**. 13<sup>th</sup> ed. New Jersey: Pearson, 2001. 960 p.

OBIHARA, C. H.; RUSSEL, E. W. Specific adsorption of silicate and phosphate by soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 23, n. 1, p. 105-117, 1972.

OLDEMAN, L. R.; LYNDEN, G. W. J. van. Revisiting the GLASOD methodology. In: LAL, R. et al. (Ed.) **Methods of assessment of soil degradation**. New York: CRC, 1998. p. 423-440.

OLIVEIRA, J. B.; HACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992.



OLIVEIRA, M. G. A. **Determinação, adsorção e deslocamento recíprocos de silício e fósforo em latossolo do triângulo mineiro.** 1984. 88f. Dissertação (Mestrado)-Curso Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1984.

OLSEN, S. R.; WATANABE, F. S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v. 21, p. 144-149, 1954.

PEREIRA, H. S. et al. Fontes de silício para a cultura do arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 522-528, 2004.

PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C.; KONDORFER, G. H. Comportamento de diferentes fontes de Silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, n. 27, p. 101-108, 2003.

PEREIRA, J. R.; FARIA, C. M. B. Sorção de fósforo em alguns solos do semi-árido do nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, p. 1179-1184, 1998.

PIAU, W. C. **Efeitos de escórias de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays L.*)** 1995. 124 f. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo-Cena, Piracicaba, 1995.

PRADO, R. M. et al. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 4, p. 539-546, 2002.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Brasília, DF, v. 59, n. 1, p. 129-135, 2002.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 287-296, 2003.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na correção de acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agricola**, Brasília, DF, v. 57, n. 4, p. 739-744, out./dez. 2000.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 9, p. 1199-1204, set. 2001.

PRADO, R. M.; LEAL, R. M. Desordens nutricionais por deficiência em girassol var. catissol-01. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiania, v. 3, n. 36, p. 187-193, 2006.

- PROCHNOW, L. I. **Disponibilidade do fósforo da fração solúvel em citrato neutro de amônio e insolúvel em água de fosfatos acidulados**. 1996. 160 f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- PROCÓPIO, S. O. et al. Absorção e utilização do fósforo pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 911-921, 2005.
- PULZ, A. L.; CRUSCIOL, C. A. C.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1651-1659, 2008.
- QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111 p.
- QUEIROZ, A. A. **Reação de fontes de silício em quatro solos do cerrado**. 2003. 39 f. Monografia (Graduação em Agronomia)-Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.
- RAIJ, B. van et al. **Análise química da fertilidade dos solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285 p.
- RAIJ, B. van et al. **Recomendações de calagem e adubação para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).
- REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Eficiência agronômica do fosfato natural Carolina do Norte em solo de Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., Petrolina, 1994. **Anais...** Petrolina, SBCS/ EMBRAPA CPATSA, 1994. p. 38-40.
- RESENDE, A. V. et al. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 453-466, 2006.
- RIBEIRO, A. C.; FIRME, D. J.; MATTOS, A. C. M. Avaliação da eficiência de uma escória de aciaria como corretivo da acidez do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 33, n. 187, p. 242-248, 1986.
- RICHART, A. et al. Disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 695-705, 2006.
- ROSSI, C. **Crescimento e nutrição do braquiário em latossolos dos campos vertentes (MG) sob influência da calagem e fontes de fósforo**. 1995. 65 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

SANCHEZ, P. A.; UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. p. 471–514. In: KHASAWNEH, F. E. et al. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA, 1980.

SANTOS, I. P. A. **Resposta a fósforo, micorriza e nitrogênio de braquiário e amendoim forrageiro consorciados**. 1999. 158 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

SATO, S.; COMERFORD, N. B. Assessing methods for developing phosphorus desorption isotherms from soils using anion exchange membranes. **Plant and Soil**, The Hague, v. 279, p. 107–117, 2006a.

SATO, S.; COMERFORD, N. B. Organic anions and phosphorus desorption and bioavailability in a Humid Brazilian Ultisol. **Soil Science**, Baltimore, v. 171, p. 695-705, 2006b.

SCHIMANN, W.; NEPTUNE, A. M. L.; SABINO, N. P. Acumulação de macronutrientes pelo amendoim (*Arachis hypogaea* L.) cultivado em outono, na época da seca. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.27, p.393-409, 1970.

SHUMA, L. M.; LI, Z. B. Amelioration of zinc in cotton using lime or mushroom compost. **Journal of Soil Content**, New York, v. 6, p. 425-438, 1997.

SMYTH, T. J.; SANCHES, P. A. Effects of lime, silicate, and phosphorus applications to na oxisol on phosphorus sorption and ion retention. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, n. 3, p. 500-505, 1980.

SOBRAL, M. F. et al. Escória de siderurgia e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais pesados em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.8, p. 867-872, 2011.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. Informações Agrônomicas, Piracicaba, v. 102, p. 1-16, 2003. (Encarte Técnico).

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Fontes de adubação em solos da região do cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (ed.). SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2004, São Pedro – SP. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 157-200.

SOUZA, L. F. Da; TRINDADE, A. V.; OLIVEIRA, A. M. G. **Calagem, exigências nutricionais e adubação**. In: MAMÃO, PRODUÇÃO: ASPECTOS TÉCNICOS. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 26-34.

SILVA, J. **Avaliação do potencial agrônomo e de contaminação ambiental decorrente do uso de uma escória de aciaria como corretivo e fertilizante de solos**. 2003. 134 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

TAKAHASHI, E.; MA, J. F.; MIYAKE, Y. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. **Comments on Agricultural and Food Chemistry**, London, v. 2, p. 99-122. 1990.

TSAI, S. M.; ROSSETTO, R. Transformações microbianas do fósforo. In: CARDOSO, J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 231-242.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e Fertilidade do Solo**. São Paulo: Organização Andrei Editora LTDA, 2007. p. 219-228.

VITTI, G. C.; WIT, A.; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agrônômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 689-723.

VOLKWEISS, S. J.; RAIJ, B. Van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., 1976, Brasília, DF: Bases para utilização agropecuária, 1976, p. 317-332.

WOLF, M. B.; LONDON, D. Apatite dissolution into peraluminous haplogranitic melts - an experimental study of solubilities and mechanisms. *Geochim. Cosmochim. Acta*. v. 58, p. 4127-4145, 1994.

XIANG, H. F.; TANG, H. A.; YING, Q. H. **Transformation and distribution of forms of zinc in acid, neutral and calcareous soils of China**. *Geoderma*, Amsterdam, v.66, p.121-135, 1995.

YOST, R. S. et al. Residual effects of phosphorus adsorbing Oxisol of Central Brazil. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 45, p. 540-543, 1981.

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. Adubação da cana-de-açúcar na região centro-Sul do Brasil. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, v.3, n.3, p.5-26, 1981.

ZHU, Z. et al. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus L.*). **Plant Science**, Limerick, v. 167, p.527-533, 2004.

ZINDER, B.; FURRER, G.; STUMM, W. The coordination chemistry of weathering. II. Dissolution of Fe (III) oxides. **Geochimica et Cosmochimica. Acta**, London, v. 50, p. 1861-1869, 1986.

## ANEXOS

### Anexo 1. Tratamentos analisados para cinética de sorção de P.

Tratamentos	Experimento proveniente	Corretivos	Fósforo	Planta	Rep	Tempo agitação	Solo/amostra (g)
Solo natural	-	Sem	sem	Sem	4	10	1
Test. Relativa	1	Calcário	sem	Sem	4	10	1
Test. Relativa	1	Escória	sem	Sem	4	10	1
Test. Relativa	2	Calcário	sem	Amendoim	4	10	1
Test. Relativa	2	Escória	sem	Amendoim	4	10	1
Test. Relativa	3	Calcário	sem	Capim	4	10	1
Test. Relativa	3	Escória	sem	Capim	4	10	1

### Anexo 2. Tratamentos analisados para isotermas de sorção de P.

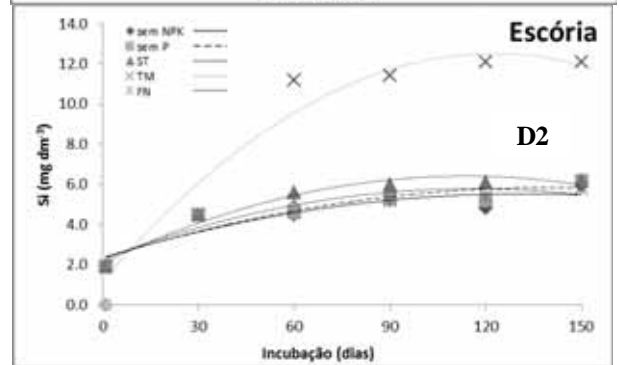
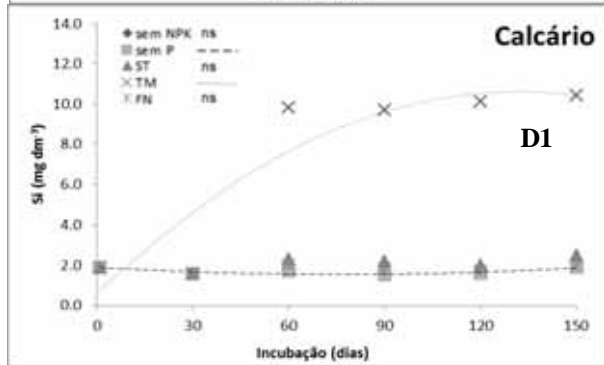
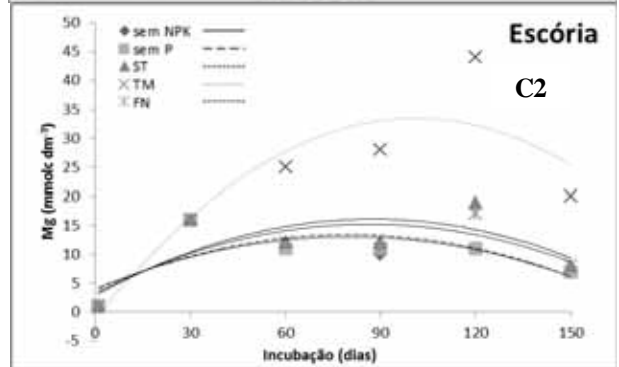
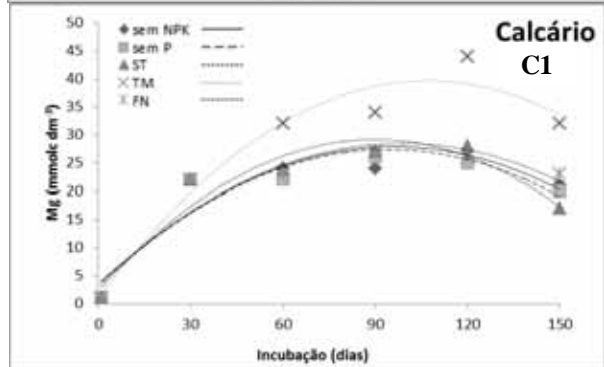
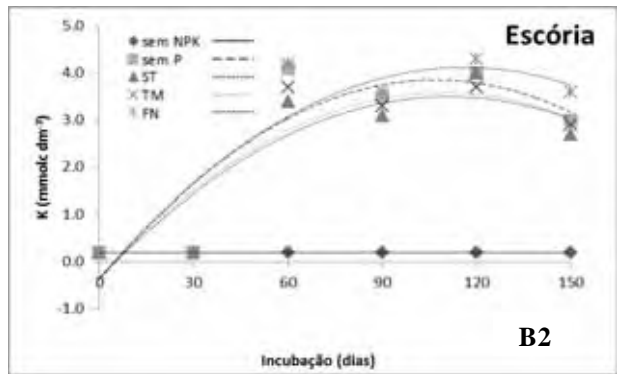
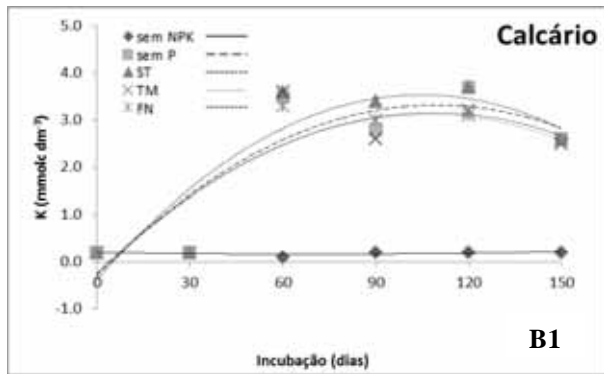
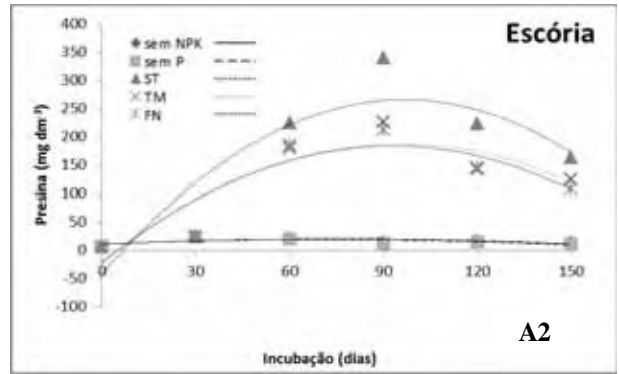
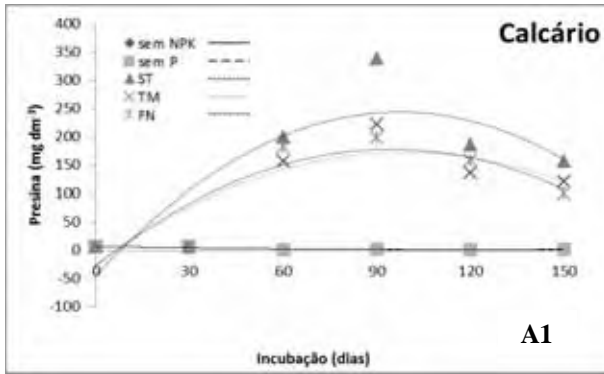
Tratamentos	Experimento proveniente	Corretivos	Fósforo	Planta	Rep	Soluções fosfatada	Solo/amostra (g)
Solo natural	-	sem	sem	Sem	4	10	1
Test. Relativa	1	calcário	sem	Sem	4	10	1
Test. Relativa	1	escória	sem	Sem	4	10	1
Test. Relativa	2	calcário	sem	Amendoim	4	10	1
Test. Relativa	2	escória	sem	Amendoim	4	10	1
Test. Relativa	3	calcário	sem	Capim	4	10	1
Test. Relativa	3	escória	sem	Capim	4	10	1

### Anexo 3. Tratamentos analisados para cinética de dessorção de P.

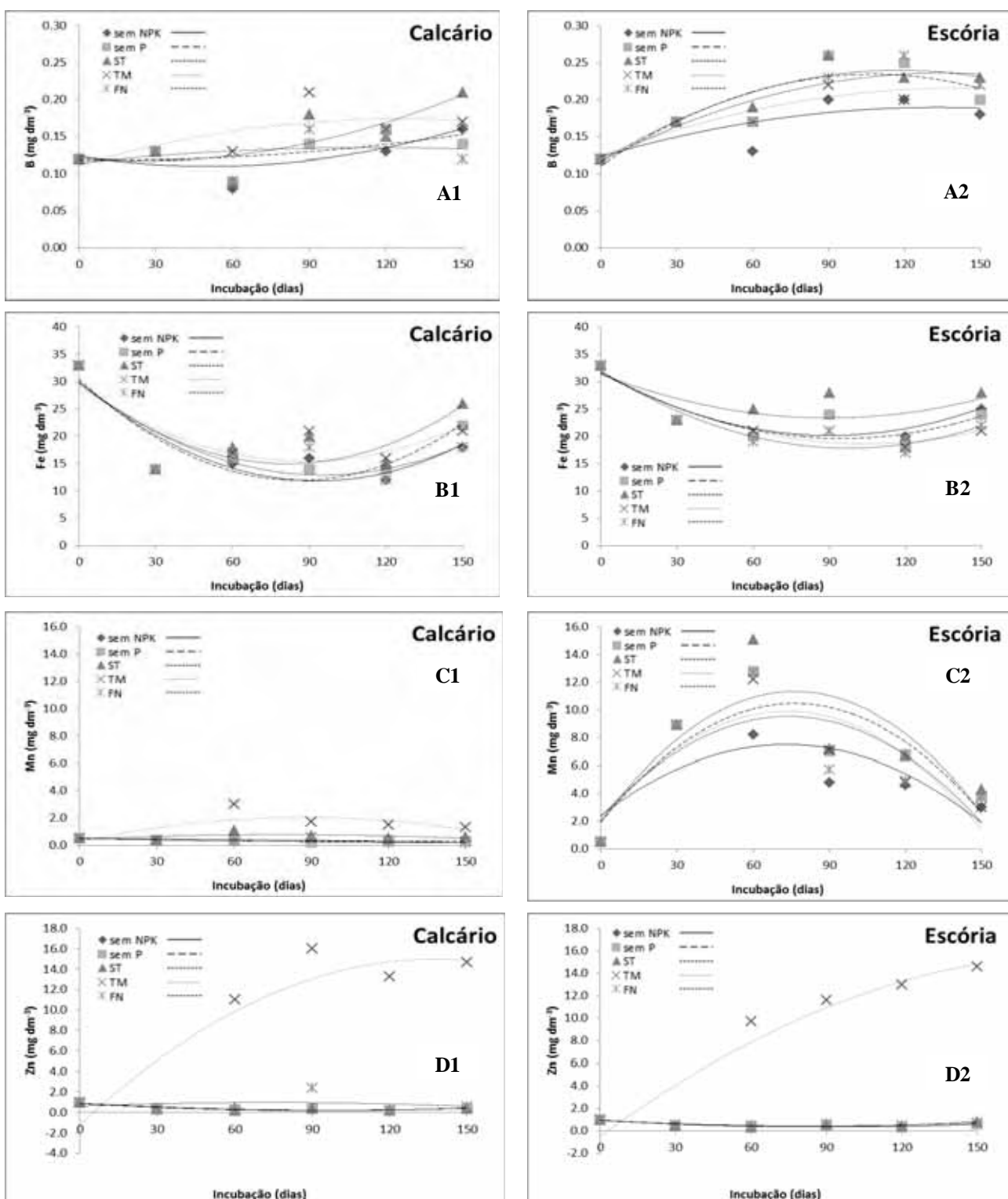
Tratamentos	Experimento proveniente	Corretivos	Fósforo	Planta	Rep	Tempos agitação AEM	Solo/ amostra (g)
Solo natural	-	sem	sem	sem	3	7	1
Test. relativa	1	calcário	sem	sem	3	7	1
Test. relativa	1	escória	sem	sem	3	7	1
ST	1	calcário	com	sem	3	7	1
ST	1	escória	com	sem	3	7	1
TM	1	calcário	com	sem	3	7	1
TM	1	escória	com	sem	3	7	1

### Anexo 4. Tratamentos analisados para isotermas de dessorção de P.

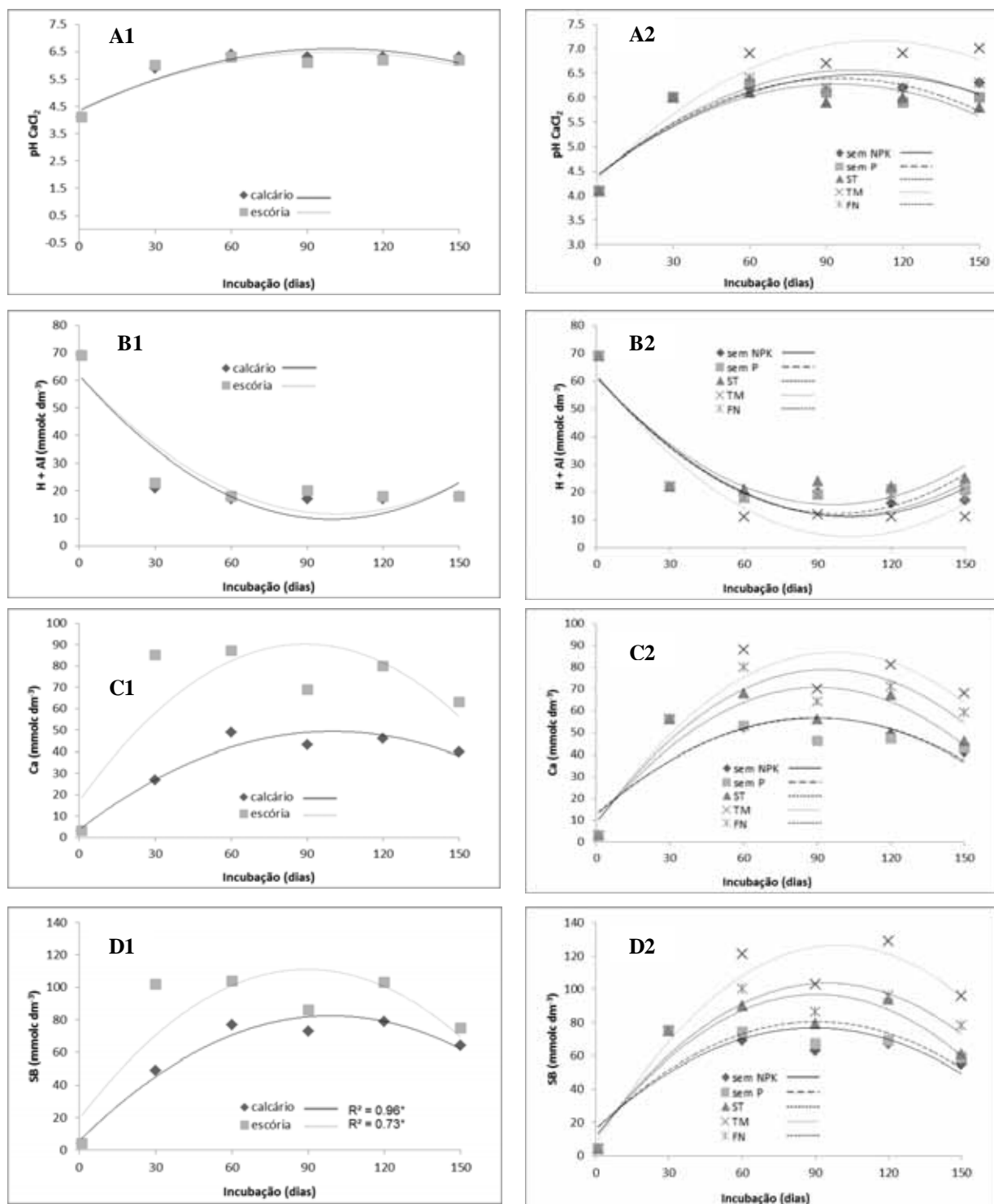
Tratamentos	Experimento proveniente	Corretivos	Fósforo	Planta	Rep	Conjuntos de tiras de AEM	Solo/ amostra (g)
Solo natural	-	sem	sem	sem	3	7	1
Test. Relativa	1	calcário	sem	sem	3	7	1
Test. Relativa	1	escória	sem	sem	3	7	1
ST	1	calcário	com	sem	3	7	1
ST	1	escória	com	sem	3	7	1
TM	1	calcário	com	sem	3	7	1
TM	1	escória	com	sem	3	7	1



**Anexo 5.** Regressão dos teores de P, K e Mg nos tempos de incubação de cada fonte de adubação em cada corretivo de acidez (C x F) no solo.

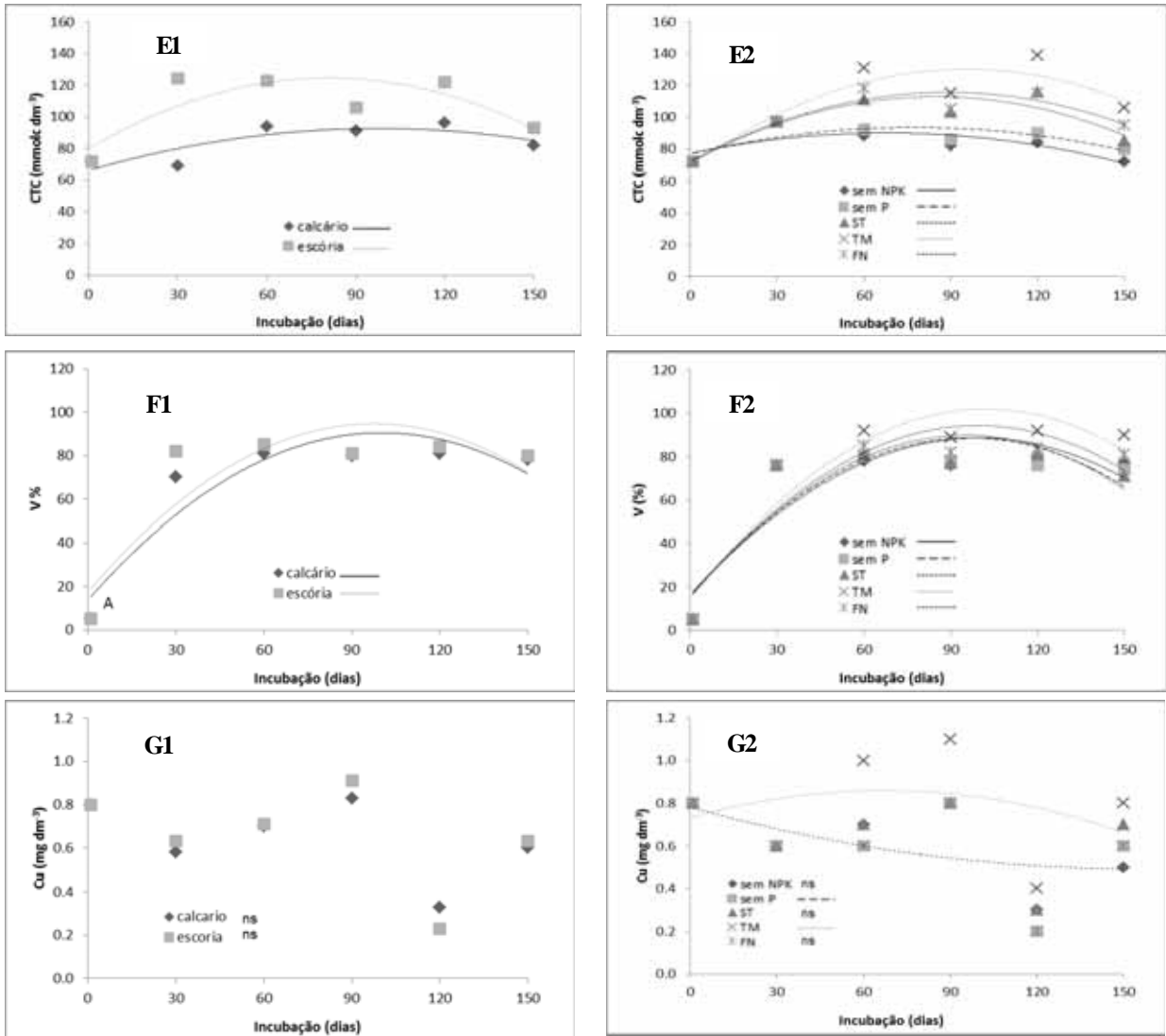


**Anexo 6.** Regressão de micronutrientes nos tempos de incubação de cada fonte de adubação em cada corretivo de acidez (C x F) no solo.



**Anexo 7.** Regressão de tempo de incubação em cada corretivo de acidez (A1, B1, C1, D1) e em cada fonte de adubação (A2, B2, C2, D2) no solo.





**Anexo 8.** Continuação regressão de tempo de incubação em cada corretivo de acidez (E1, F1,G1) e em cada fonte de adubação (E2, F2, G2) no solo.

**Anexo 9.** Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) da produção de matéria massa na parte aérea (MSPA) de plantas de amendoim.

Fontes de adubação	MS PA (g) 5 plantas	
	Calcário	Escória
sem P	8,18 Bc	40,60 Ac
ST	106,34 Ba	146,52 Aa
ST + Micro	113,22 Ba	136,03 Aa
TM	62,80 Bb	86,74 Ab
TM + Micro	62,97 Bb	86,06 Ab
FNR	65,47 Ab	74,82 Ab
FNR + Micro	59,10 Bb	78,00 Ab

**Anexo 10.** Desdobramento da interação de corretivos de acidez e fontes de adubação (C x F) da produção de matéria massa (MS), teor e acúmulo de P por vaso (20 plantas) nos quatro cortes de capim marandu.

Fontes de adubação	Cortes do capim marandu				TOTAL		
	1º corte	2º corte	3º corte	4º corte			
<b>MS</b> (g por vaso)	Calcário - semP	0,40 Ab	0,76 Ac	1,66 Bb	2,40 Bb	5,21 Bc	
	Calcário - ST	12,10 Aa	78,09 Aa	23,03 Aa	11,39 Aa	124,62 Aa	
	Calcário - ST+M	12,95 Aa	76,04 Aa	24,73 Aa	12,48 Aa	126,19 Aa	
	Calcário - TM	10,97 Aa	76,71 Aa	24,26 Aa	11,27 Aa	123,10 Aa	
	Calcário - TM+M	11,41 Aa	79,94 Aa	28,67 Aa	13,41 Aa	133,43 Aa	
	Calcário - FNR	0,82 Ab	27,30 Ab	34,82 Ba	15,08 Ba	78,01 Ab	
	Calcário - FNR+M	0,98 Ab	27,47 Ab	34,01 Aa	14,70 Aa	77,16 Ab	
	Escória - semP	0,42 Ac	2,75 Ab	19,14 Ab	22,16 Ab	44,46 Ad	
	Escória - ST	9,92 Ba	79,46 Aa	26,58 Ab	14,08 Ac	130,04 Aa	
	Escória - ST+M	7,99 Bab	65,47 Aa	28,81 Ab	13,30 Ac	115,57 Aab	
	Escória - TM	7,39 Bab	64,38 Aa	30,35 Ab	14,20 Ac	116,32 Aab	
	Escória - TM+M	5,65 Bb	63,40 Ba	25,29 Ab	13,51 Ac	107,86 Babc	
	Escória - FNR	0,97 Ac	9,00 Bb	46,03 Aa	36,03 Aa	92,03 Abc	
	Escória - FNR+M	2,06 Ac	20,35 Ab	32,58 Aab	16,74 Abc	71,73 Acd	
	<b>Acumulo P</b> (mg/vaso)	Calcário - semP	0,3 Ac	1,8 Ac	1,2 Ab	1,5 Bb	
		Calcário - ST	93,2 Aa	235,8 Aab	81,5 Aa	31,6 Aa	
Calcário - ST+M		91,3 Aa	272,4 Aa	92,8 Aa	34,1 Aa		
Calcário - TM		44,3 Ab	145,2 Abc	58,0 Aa	27,5 Aa		
Calcário - TM+M		52,0 Ab	137,8 Abc	57,8 Aa	29,9 Aa		
Calcário - FNR		1,2 Ac	56,4 Acd	43,8 Aab	25,4 Ba		
Calcário - FNR+M		1,6 Ac	54,7 Acd	43,1 Aab	24,6 Aa		
Escória - semP		0,3 Ac	4,8 Ab	18,4 Ab	15,9 Ac		
Escória - ST		53,8 Ba	244,5 Aa	91,5 Aa	38,2 Aab		
Escória - ST+M		50,5 Ba	205,3 Aa	94,2 Aa	32,2 Aabc		
Escória - TM		30,0 Bb	142,0 Aa	54,9 Aab	34,7 Aab		
Escória - TM+M		24,6 Bb	141,1 Aa	46,4 Aab	36,9 Aab		
Escória - FNR		1,1 Ac	18,8 Ab	56,5 Aab	41,4 Aa		
Escória - FNR+M		4,1 Ac	32,0 Ab	40,6 Ab	23,8 Abc		

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas indicam diferença entre os corretivos de acidez na mesma fontes de adubação; e minúsculas indicam diferença entre as adubações fosfatadas, no mesmo corretivo de acidez (Tukey, P<0,05).

**Anexo 11.** Análise de variância em relação aos tempos de agitação (A), tratamentos (T) e interação A x T no P sorvido. UF, Quincy, 2011.

Tempo de agitação (A) (horas)	P sorvido (mg Kg <sup>-1</sup> )
0,1	170,18 h
0,5	199,88 g
1	211,90 f
3	233,33 e
6	245,86 d
12	264,02 c
24	267,48 c
48	279,74 b
72	283,75 ab
96	287,77 a
<b>Tratamentos (T)</b>	
Testemunha	275,10 a
Calcário capim	254,69 b
Calcário	243,16 c
Calcário amendoim	239,95 cd
Escória capim	239,47 d
Escória	231,46 e
Escória amendoim	226,91 f
<b>Causas da variação</b>	
Tempo de agitação (A)	*
Tratamentos (T)	*
A x T	*
CV	2

Letras distintas indicam diferença significativa entre as linhas pelo teste Tukey, P<0,05.

**Anexo 12.** Desdobramento da interação de tempos de agitação e tratamentos (A x T) do teor de P sorvido pelo solo.

Tempo agitação (horas)	P sorvido (mg kg <sup>-1</sup> )						
	Testemunha	Calcário	Calcário capim	Calcário amendoim	Escória	Escória Capim	Escória amendoim
0,1	215,00 Af	172,50 Cf	185,00 Bh	161,25 Df	151,25 Def	161,25 Df	145,00 Eg
0,5	243,75 Ae	193,33 Ce	213,75 Bg	188,33 Ce	190,00 Ce	196,25 Ce	173,75 Df
1	260,00 Ad	218,75 Bd	226,25 Bf	198,33 Ce	193,75 Cde	200,00 Ce	186,25 De
3	277,50 Ac	230,00 Ccd	246,25 Be	223,33 CDd	215,00 Dd	227,50 Cd	213,75 Dd
6	280,65 Abc	236,97 CDc	260,28 Bd	244,97 Cc	231,84 Dec	244,39 Cc	221,94 Ed
12	290,62 Aab	264,48 BCb	271,50 Bcd	263,04 BCb	247,20 Eb	259,86 CDb	251,49 Dec
24	292,23 Aa	266,58 BCb	275,89 Bbc	265,29 Cb	257,03 CDb	262,67 CDb	252,65 Dc
48	296,29 Aa	279,41 BCDA	286,26 ABab	282,18 BCa	271,07 DEa	275,66 CDEa	267,33 Eb
72	297,29 Aa	283,30 BCa	289,33 ABa	283,98 Ca	276,44 Ca	281,02 Bca	274,86 Cab
96	297,68 Aa	286,28 BCa	292,40 ABa	288,81 ABCa	281,01 Ca	286,10 Bca	282,08 BCa

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas indicam diferença entre os tratamentos no mesmo tempo de agitação; e minúsculas indicam diferença entre os tempos de agitação, no mesmo tratamento (Tukey, P<0,05).

**Anexo 13.** Valores de pH dos solos utilizados no Experimento 4. FCA-UNESP, Botucatu, 2010. (Como o pH solo não foi desdobrado em todos experimentos por não ter interação significativa, os valores de pH citados no Experimento 4 foram reunidos neste anexo).

Tratamentos	pH (CaCl <sub>2</sub> )
Testemunha	4,2
Calcário	6,1
Calcário após capim	5,4
Calcário após amendoim	5,4
Calcário e ST	5,7
Calcário e TM	7,0
Calcário e FNR	6,5
Escória	5,9
Escória após capim	5,8
Escória após amendoim	5,6
Escória e ST	6,0
Escória e TM	6,9
Escória e FNR	6,1