DISPONIBILIDADE DO FÓSFORO DA FRAÇÃO SOLÚVEL EM CITRATO NEUTRO DE AMÔNIO E INSOLÚVEL EM ÁGUA DE FOSFATOS ACIDULADOS

LUÍS IGNÁCIO PROCHNOW
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. JORGE DE CASTRO KIEHL

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, da
Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em
Agronomia, Área de Concentração:
Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro - 1996

**DISPONIBILIDADE DO FÓSFORO DA FRAÇÃO SOLÚVEL EM
CITRATO NEUTRO DE AMÔNIO E INSOLÚVEL EM ÁGUA DE
FOSFATOS ACIDULADOS**

LUÍS IGNÁCIO PROCHNOW

Aprovada em: 04.03.1996

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Jorge de Castro Kiehl

ESALQ/USP

Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti

ESALQ/USP

Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira

ESALQ/USP

Prof. Dr. Júlio Nakagawa

FCA/UNESP

Prof. Dr. Valdemar Faquim

UFLA/MG

Prof. Dr. JORGE DE CASTRO KIEHL
Orientador

Aos meus queridos pais,
João e Laura Prochnow

e ao meu irmão
Carlos

OFEREÇO

À minha amada esposa, amiga e
companheira, Rosemarí, pelo
apoio e compreensão, e aos
nossos filhos, Thaís, Thiago e
Thamires,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Mais uma etapa foi finalizada.

Este também é o momento de agradecer.

Assim, **AGRADEÇO**

- A DEUS, pela presença constante em minha vida.
- À minha esposa, pela paciência, compreensão e amizade.
- Ao Dr. Bernardo van Raij, Pesquisador Científico do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), pela orientação até o término da fase experimental deste trabalho.
- Ao Prof. Dr. Jorge de Castro Kiehl, pela orientação na etapa de avaliação dos resultados e redação deste trabalho.
- À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) pela oportunidade da realização do Curso de Doutorado, e aos professores pelos ensinamentos.
- Aos colegas do Departamento de Ciência do Solo, e em especial à Prof^a Dr^a. Elke J. B. N. Cardoso, pelo incentivo para a realização deste trabalho.

- Aos funcionários dos laboratórios de Fertilidade do Solo, Tecidos Vegetais e Fertilizantes do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, e em especial aos químicos Luiz A. Silva Júnior, Antonio Carlos Ferreira e Mirian Volpato, pelo auxílio prestado para a execução do trabalho.
- Ao Prof. Dr. José Eduardo Corrente, do Departamento de Matemática e Estatística da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pelo auxílio nas análises estatísticas e, principalmente, pela amizade com que sempre me distinguiu.
- À Arafértil S.A., e em especial aos colegas Rogério Contato Guimarães e Cláudio Fernandes, pela doação de matéria-prima para fabricação de alguns dos fertilizantes fosfatados acidulados utilizados no estudo e pelas informações prestadas.
- À Manah S.A. pelo fornecimento de material utilizado no estudo.
- Ao Sr. Dorival Grisotto, funcionário do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pelo auxílio na montagem e condução de todos os experimentos realizados no trabalho.
- Às funcionárias da Biblioteca Central da ESALQ, e em especial à Kátia Maria de Andrade Ferraz e Eliana Maria Garcia Sabino, pelo auxílio na revisão bibliográfica e gentileza em todos os momentos.
- A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xix
SUMMARY	xxii
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1. A produção de fertilizantes fosfatados solúveis e o problema da presença de impurezas na rocha fosfórica	04
2.2. Avaliação dos fertilizantes fosfatados através de extratores químicos	15
2.3. Eficiência da fração solúvel apenas em citrato neutro de amônio em fornecer P às plantas	22
2.4. Manejo de fertilizantes fosfatados acidulados	30
3. MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1. Escolha do solo utilizado nos experimentos	34
3.2. Solo	35
3.3. Fosfatos	36
3.4. Experimentos	39
3.4.1. Experimentos envolvendo a avaliação da disponibilidade do fósforo da fração solúvel em citrato neutro de amônio e insolúvel em água de fosfatos acidulados experimentais.....	39

3.4.1.1. Experimento I	39
a) Tratamentos	39
b) Instalação, condução e obtenção dos resultados	41
c) Análise estatística dos resultados	42
3.4.1.2. Experimento II	43
3.4.1.3. Experimento III	44
3.4.2. Experimentos envolvendo a avaliação da disponibilidade do fósforo da fração solúvel em citrato neutro de amônio e insolúvel em água de fosfatos comerciais.....	44
3.4.2.1. Experimento IV	44
3.4.2.2. Experimento V	46
3.4.2.3. Experimento VI	47
3.4.2.4. Quantidade total de P acumulado pelas plantas nos experimentos IV, V e VI	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1. Características gerais das fontes de fósforo utilizadas nos experimentos I, II e III e efeitos da lavagem	49
4.2. Características gerais das fontes de fósforo utilizadas nos experimentos IV, V e VI e efeitos da lavagem	51
4.3. Experimentos envolvendo a avaliação da disponibilidade de fósforo da fração solúvel em citrato neutro de amônio e insolúvel em água de fosfatos acidulados experimentais	52
4.3.1. Experimento I	52
4.3.1.1. Produção de matéria seca	53
4.3.1.2. Quantidade de fósforo acumulado	59
4.3.1.3. Teor de P-resina das amostras de terra	65
4.3.2 Experimento II	70
4.3.2.1. Produção de matéria seca	70
4.3.2.2. Quantidade de P acumulada	79

4.3.3. Experimento III	88
4.3.3.1. Produção de matéria seca	88
4.3.3.2. Quantidade de P acumulado	95
4.4. Experimentos envolvendo a avaliação da disponibilidade do fósforo da fração solúvel em citrato neutro de amônio e insolúvel em água de fosfatos acidulados comerciais	99
4.4.1.. Experimento IV	99
4.4.1.1. Produção de matéria seca	101
4.4.1.2. Quantidade de P acumulado	108
4.4.1.3. Teor de P-resina das amostras de terra	113
4.4.2. Experimento V.....	115
4.4.2.1. Produção de matéria seca	115
4.4.2.2. Quantidade de P acumulado	116
4.4.3. Experimento VI	119
4.4.3.1. Produção de matéria seca	119
4.4.3.2. Quantidade de P acumulado	121
4.4.3.3. Teor de P-resina das amostras de terra.....	122
4.4.4. Quantidade total de P acumulado pelas plantas nos experimentos IV, V e VI	125
5. CONCLUSÕES	130
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
APÊNDICE.....	142

LISTA DE FIGURAS

- 1 - Produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em volume total da terra do vaso
..... 78
- 2 - Produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em 1% do volume total da terra do vaso
..... 78
- 3 - Quantidade de fósforo acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em volume total da terra do vaso
..... 86
- 4 - Quantidade de fósforo acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em 1% do volume total da terra do vaso
..... 86
- 5 - Produção de matéria seca (efeito residual em primeiro plantio) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em volume total da terra do vaso
..... 94
- 6 - Produção de matéria seca (efeito residual em primeiro plantio) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em 1% do volume total da terra do vaso
..... 94

- 7 - Quantidade de fósforo acumulado (efeito residual em primeiro plantio) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em volume total da terra do vaso
..... 100
- 8 - Quantidade de fósforo acumulado (efeito residual em primeiro plantio) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em 1% do volume total da terra do
..... 100

LISTA DE TABELAS

1 - Teores de P_2O_5 total , P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O , P_2O_5 solúvel em água, P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2% (A.C.), e % de fração solúvel em água em relação ao solúvel em CNA + H_2O (fi) ⁽²⁾ , das fontes de P utilizadas no estudo	37
2 - Teores de Fe_2O_3 total, Al_2O_3 total e R_2O_3 total das fontes de fósforo utilizados no estudo	38
3 - Teores de P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O e solúvel em H_2O , encontrados nos superfosfatos após lavagem com água.	40
4 - Teores de P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O e solúvel em H_2O após a primeira lavagem para eliminação do P_2O_5 solúvel em H_2O dos fosfatos acidulados utilizados no experimento IV	46
5 - Teores de P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O e solúvel em H_2O após a segunda lavagem para eliminação do P_2O_5 solúvel em H_2O de alguns fosfatos acidulados utilizados no Experimento IV	47
6 - Valores de F e coeficientes de variação (C.V.) para as variáveis matéria seca, fósforo acumulado e teor de P-resina referentes ao experimento I considerando-se os fatores: 4 superfosfatos simples, 2 modos de preparo dos fosfatos (original e lavado) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1 % do volume)	54
7 - Efeito do modo de preparo e de aplicação de 50 mg kg^{-1} de P de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições)	55

- 8 - Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas), aplicados na dose de 50 mg kg^{-1} de P em diferentes modos de preparo e de aplicação na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições)
..... 57
- 9 - Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca, fósforo acumulado e teor de P-resina referentes ao experimento I considerando-se os fatores: 9 fontes de fósforo (4 superfosfatos simples originais, 4 superfosfatos simples lavados e o fosfato monocálcico p.a.) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1 % do volume)
..... 59
- 10 - Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, e de fosfato monocálcico p.a.), aplicados na dose de 50 mg kg^{-1} de P, e do modo de aplicação, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições)
..... 60
- 11 - Efeito do modo de preparo e de aplicação de 50 mg kg^{-1} de P de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições)
..... 61
- 12 - Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas), aplicados na dose de 50 mg kg^{-1} de P em diferentes modos de preparo e de aplicação na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições)
..... 62
- 13 - Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, e de fosfato monocálcico p.a.), aplicados na dose de 50 mg kg^{-1} de P, e do modo de aplicação, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições)
..... 64

- 14 - Efeito do modo de preparo e de aplicação de 50 mg kg⁻¹ de P de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, no teor de P-resina de amostras de terra coletadas após a colheita do milho do experimento I, no qual avaliou-se a produção de matéria seca das plantas e P acumulado por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições)
..... 66
- 15 - Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas) aplicados na dose de 50 mg kg⁻¹ de P em diferentes modos de preparo e de aplicação, no teor de P-resina em amostras de terra coletadas após a colheita do milho do experimento I, no qual avaliou-se a produção de matéria seca das plantas e P acumulado por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições)
..... 67
- 16 - Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, e de fosfato monocálcico p.a.), aplicados na dose de 50 mg kg⁻¹ de P, e do modo de aplicação, no teor de P-resina em amostras de terra coletadas após a colheita do milho do experimento I, no qual avaliou-se a produção de matéria seca das plantas e P acumulado por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições)
..... 69
- 17 - Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca e fósforo acumulado referentes ao experimento II considerando-se os fatores: 4 superfosfatos simples, 2 modos de preparo dos fosfatos (original e lavado), 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1 % do volume) e 3 doses (0, 50 e 100 mg kg⁻¹)
..... 71
- 18 - Efeito do modo de preparo e de aplicação das doses 50 e 100 mg kg⁻¹ de P de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições)
..... 72
- 19 - Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas), aplicados nas doses 50 e 100 mg kg⁻¹ de P em diferentes modos de preparo e de aplicação, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições)
..... 74

- 20 - Equações de regressão polinomial e coeficientes de determinação para produção de matéria seca (y) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo, em função de doses de fósforo (x) provenientes de diferentes fontes, submetidas a dois modos de preparo e de aplicação 76
- 21 - Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca e fósforo acumulado referentes ao experimento ■ considerando-se os fatores: 9 fontes de fósforo (4 superfosfatos simples originais, 4 superfosfatos simples lavados e o fosfato monocálcico p.a.), 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1 % do volume) e 3 doses (0, 50 e 100 mg kg⁻¹) 80
- 22 - Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, e de fosfato monocálcico p.a.) aplicados nas doses de 50 e 100 mg kg⁻¹ de P, e do modo de aplicação, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 2 repetições) 81
- 23 - Efeito do modo de preparo e de aplicação de 50 e 100 mg kg⁻¹ de P de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 2 repetições) 82
- 24 - Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas), aplicados nas doses de 50 e 100 mg kg⁻¹ de P em diferentes modos de preparo e de aplicação, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 2 repetições) 84
- 25 - Equações de regressão polinomial e coeficientes de determinação para fósforo acumulado (y) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo, em função de doses de fósforo (x) provenientes de diferentes fontes, submetidas a dois modos de preparo e de aplicação 85

- 26 - Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, e de fosfato monocálcico p.a.) aplicados nas doses de 50 e 100 mg kg⁻¹ de P, e de modo de aplicação, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 2 repetições)
..... 87
- 27 - Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca e fósforo acumulado referentes ao experimento III (avaliação do efeito residual dos fosfatos aplicados no experimento II) considerando-se os fatores: 4 superfosfatos simples, 2 modos de preparo dos fosfatos (original e lavado), 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1 % do volume) e 3 doses (0, 50 e 100 mg kg⁻¹)
..... 89
- 28 - Efeito residual (primeiro plantio) de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, aplicados nas doses de 50 e 100 mg kg⁻¹ de P, na média dos resultados de modo de preparo e de aplicação, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 8 repetições)
..... 90
- 29 - Equações de regressão polinomial e coeficientes de determinação para produção de matéria seca (y) por plantas de milho (efeito residual em primeiro plantio) cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo, em função de doses de fósforo (x) provenientes de diferentes fontes, na média do modo de preparo e de aplicação
..... 91
- 30 - Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca e fósforo acumulado referentes ao experimento III (avaliação do efeito residual dos fosfatos aplicados no experimento II) considerando-se os fatores: 9 fontes de fósforo (4 superfosfatos simples originais, 4 superfosfatos simples lavados e o fosfato monocálcico p.a.), 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1 % do volume) e 3 doses (0, 50 e 100 mg kg⁻¹)
..... 92
- 31 - Efeito do modo de aplicação de amostras de fosfatos acidulados nas doses de 50 e 100 mg kg⁻¹ de P, na produção de matéria seca por plantas de milho (efeito residual em primeiro plantio) cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo e equações de regressão polinomial ajustadas para matéria seca (y) em função de doses (x) para cada modo de aplicação ⁽¹⁾
..... 93

- 32 - Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas) e do modo de preparo dos fosfatos, na quantidade de P acumulado (efeito residual em primeiro plantio) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 12 repetições)
..... 96
- 33 - Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas) e do modo de aplicação dos fosfatos, na quantidade de P acumulado (efeito residual em primeiro plantio) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 12 repetições)
..... 97
- 34 - Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, e de fosfato monocalcico p.a.), e do modo de aplicação, na quantidade de P acumulado (efeito residual em primeiro plantio) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 4 repetições)
..... 98
- 35 - Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca, fósforo acumulado e teor de P-resina referentes ao experimento IV considerando-se os fatores: 6 fosfatos acidulados comerciais, 2 modos de preparo dos fosfatos (original e lavado) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1 % do volume)
..... 102
- 36 - Efeito do modo de preparo e de aplicação de 70 mg kg^{-1} de P de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 3 repetições)
..... 103
- 37 - Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas), aplicados na dose de 70 mg kg^{-1} em diferentes modos de preparo e de aplicação, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 3 repetições)
..... 104

- 38 - Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca, fósforo acumulado e teor de P-resina referentes ao experimento IV considerando-se os fatores: 17 fontes de fósforo (6 fosfatos acidulados originais, 6 fosfatos acidulados lavados, 1 termofosfato, 3 fosfatos naturais e o fosfato monocálcico p.a.) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1 % do volume)⁽¹⁾
..... 106
- 39 - Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, termosfosfato, fosfatos naturais e fosfato monocálcico p.a.) aplicados na dose de 70 mg kg^{-1} de P, e do modo de aplicação, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 3 repetições)
..... 107
- 40 - Efeito de modos de preparo e de aplicação de 70 mg kg^{-1} de P de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 3 repetições)
..... 109
- 41 - Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas), aplicados na dose de 70 mg kg^{-1} de P em diferentes modos de preparo e de aplicação, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 3 repetições)
..... 111
- 42 - Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, termofosfato, fosfatos naturais e fosfato monocálcico p.a.) aplicados na dose de 70 mg kg^{-1} de P, e do modo de aplicação, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo⁽¹⁾
..... 112
- 43 - Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, termofosfato, fosfatos naturais e fosfato monocálcico p.a.), e do modo de aplicação, nos teores de P-resina de amostras de terra coletadas após a colheita do milho no experimento IV (média de 6 repetições)
..... 114

- 44 - Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca e fósforo acumulado referentes ao experimento V (primeira avaliação do efeito residual dos fosfatos aplicados no experimento IV) considerando-se os fatores: 6 fosfatos acidulados comerciais, 2 modos de preparo dos fosfatos (original e lavado) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1 % do volume)
..... 116
- 45 - Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca e fósforo acumulado referentes ao experimento V (primeira avaliação do efeito residual dos fosfatos aplicados no experimento IV) considerando-se os fatores: 17 fontes de fósforo (6 fosfatos acidulados originais, 6 fosfatos acidulados lavados, 1 termofosfato, 3 fosfatos naturais e o fosfato monocálcico p.a.) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1 % do volume)
..... 117
- 46 - Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, termofosfato, fosfatos naturais e fosfato monocálcico p.a.), na quantidade de fósforo acumulado por plantas de milho (efeito residual em primeiro plantio) cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 6 repetições)
..... 118
- 47 - Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca, fósforo acumulado e teor de P-resina referentes ao experimento VI (segunda avaliação do efeito residual dos fosfatos aplicados no experimento IV) considerando-se os fatores: 6 fosfatos acidulados comerciais, 2 modos de preparo dos fosfatos (original e lavado) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1 % do volume)
..... 120
- 48 - Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca, fósforo acumulado e teor de P-resina referentes ao experimento VI (segunda avaliação do efeito residual dos fosfatos aplicados no experimento IV) considerando-se os fatores: 17 fontes de fósforo (6 fosfatos acidulados originais, 6 fosfatos acidulados lavados, 1 termofosfato, 3 fosfatos naturais e o fosfato monocálcico p.a.) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1 % do volume)
..... 121
- 49 - Efeito de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas nos teores de P-resina de amostras de terra coletadas após o experimento VII (média de 17 repetições)
..... 123

- 50 - Efeito de amostras de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, termofosfato, fosfatos naturais e fosfato monocálcico p.a.), no teor de P-resina de amostras de terra coletadas após o experimento VII (média de 6 repetições)
..... 124
- 51 - Valor de F e coeficiente de variação (CV) para a variável fósforo acumulado referente aos experimentos IV, V e VI (somatória do P acumulado nos três) considerando-se os fatores: 6 fosfatos acidulados comerciais, 2 modos de preparo dos fosfatos (original e lavado) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1 % do volume)
..... 126
- 52 - Valor de F e coeficiente de variação (CV) para a variável fósforo acumulado referente aos experimentos IV, V e VI (somatória do P acumulado nos três) considerando-se os fatores: 17 fontes de fósforo (6 fosfatos acidulados originais, 6 fosfatos acidulados lavados, 1 termofosfato, 3 fosfatos naturais e o fosfato monocálcico p.a.) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1 % do volume)
..... 128
- 53 - Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, termofosfato, fosfatos naturais, e fosfato monocálcico p.a.) aplicados na dose de 70 mg kg^{-1} de P, e do modo de aplicação, na quantidade de P acumulado em três experimentos (o original - IV, e dois de efeito residual - V e VI) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 3 repetições)
..... 129

DISPONIBILIDADE DO FÓSFORO DA FRAÇÃO SOLÚVEL EM CITRATO NEUTRO DE AMÔNIO E INSOLÚVEL EM ÁGUA DE FOSFATOS ACIDULADOS

Autor: LUÍS IGNÁCIO PROCHNOW

Orientador: Prof. Dr. JORGE DE CASTRO KIEHL

RESUMO

Uma das conseqüências do emprego de matérias-primas com baixas concentrações de apatita para a produção de fertilizantes fosfatados acidulados é o aumento da fração do fósforo solúvel em citrato neutro de amônio (CNA), em detrimento da fração solúvel em água. No Brasil, onde as rochas fosfáticas são extremamente pobres, nenhum esforço tem sido feito para avaliar a eficiência dos fosfatos obtidos a partir dessas rochas, nem para verificar se o método do CNA + H₂O é adequado para estimar a disponibilidade do fósforo desses fertilizantes. Para atingir esses objetivos, seis experimentos em delineamento inteiramente casualizado foram realizados cultivando-se plantas de milho em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob condições de casa de vegetação. Além dos fosfatos acidulados obtidos a partir de matérias-primas nacionais e de fosfatos comerciais, foram também utilizadas amostras cujo fósforo solúvel em água foi removido por lavagem, permanecendo no material a fração solúvel em CNA.

Os fosfatos foram aplicados nas doses de 50 ou 70 mg kg⁻¹ de P, calculadas baseando-se no teor de P₂O₅ solúvel em CNA + H₂O. Em alguns dos experimentos foi avaliado o efeito de doses de fósforo (0, 50 e 100 mg kg⁻¹ de P) e, em outros, foram incluídos quatro fosfatos não acidulados, dois termofosfatos e dois fosfatos naturais de alta reatividade; para essas fontes, as doses foram calculadas com base no teor de fósforo total. Em todos os experimentos utilizou-se o fosfato monocálcico p.a. [Ca(H₂PO₄)₂.H₂O] como fonte-padrão. Os fertilizantes foram misturados com toda a terra do vaso (aplicação não localizada) ou com apenas 1% do seu volume (aplicação localizada). Em alguns experimentos foi avaliado o efeito residual do fósforo aplicado, conduzindo-se um ou dois cultivos adicionais de milho dois meses após a colheita do anterior.

Após cada período de aproximadamente 35 dias de cultura as produções de matéria seca da parte aérea das plantas e as quantidades de fósforo acumulado eram determinadas. Ao final de alguns experimentos, amostras de terra foram coletadas de todos os vasos para determinação do teor de P-resina. Os resultados foram submetidos à análise de variância considerando-se inicialmente como causas de variação os fatores fosfatos acidulados, lavagem, modos de aplicação e, quando era o caso, doses de fósforo. Em outra análise, os fosfatos lavados foram considerados níveis adicionais do fator fosfato, assim como o fosfato monocálcico p.a. e, quando utilizados, os fosfatos não acidulados. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos mostraram que a disponibilidade para plantas de milho do fósforo contido nos fosfatos acidulados aumentou com o teor de P₂O₅ solúvel em água do fosfato e com a diminuição do teor de impurezas (ferro e alumínio) da matéria-prima. No primeiro plantio, para a maioria dos fosfatos a fração solúvel apenas em CNA foi menos eficiente em fornecer fósforo às plantas de milho que a fração solúvel em CNA + H₂O, porém, de um cultivo para outro a eficiência daquela fração aumentou, tornando-se superior à desta no terceiro cultivo. Assim, quando se consideraram todos os cultivos, as diferenças entre as frações tenderam a desaparecer.

No primeiro plantio, a disponibilidade do fósforo dos fosfatos acidulados foi geralmente inferior à do padrão adotado, o fosfato monocálcico p.a., porém, a exemplo do que ocorreu para as frações solúveis em CNA e CNA + H₂O, quando se consideraram todos os cultivos, as diferenças entre as frações tenderam a desaparecer.

A avaliação da disponibilidade imediata (primeiro plantio) de fósforo dos fertilizantes fosfatados acidulados, através do teor de P₂O₅ solúvel em CNA + H₂O, mostrou-se inadequada para os fosfatos estudados.

O modo localizado (1% do volume total de terra no vaso) mostrou-se mais eficiente que a aplicação em volume total de terra, em primeiro plantio, para os fosfatos acidulados com altos percentuais de P₂O₅ solúvel em água dentro da fração solúvel em CNA + H₂O, o inverso se dando para os fosfatos com baixos teores de P₂O₅ solúvel em água na fração solúvel em CNA + H₂O, para os fosfatos não acidulados e para os fosfatos lavados contendo fósforo solúvel apenas em CNA. A partir do segundo plantio, realizado após a homogeneização das terras dos vasos, o efeito do modo de aplicação tendeu a desaparecer.

A escolha do melhor método de aplicação de fertilizantes fosfatados obtidos da acidulação de matérias-primas de baixa pureza deve levar em consideração certas características químicas, como o teor de P₂O₅ solúvel em água na fração solúvel em CNA + H₂O. Novos métodos de avaliação da disponibilidade do fósforo devem ser desenvolvidos para esses fertilizantes fosfatados, uma vez que a extração pelo CNA + H₂O não se mostrou eficiente.

PHOSPHORUS AVAILABILITY OF THE FRACTION SOLUBLE IN THE NEUTRAL AMMONIUM CITRATE AND WATER- INSOLUBLE OF ACIDULATED PHOSPHATES

Author: LUÍS IGNÁCIO PROCHNOW

Advisor: Prof. Dr. JORGE DE CASTRO KIEHL

SUMMARY

One consequence of utilizing raw materials containing low concentrations of apatite in the production of acidulated phosphate fertilizers is an increase of the fraction of the phosphorus which is soluble only in neutral ammonium citrate (NAC), in detriment of the water-soluble fraction. In Brazil, where the rock phosphates are extremely poor, no attempt has been made to evaluate the phosphorus supplying efficiency of the phosphates obtained from these materials, or to verify if the NAC + H₂O extraction method is satisfactory for estimating the availability of the phosphorus in these fertilizers. To attain these objectives, six greenhouse experiments in completely randomized design were carried out by cultivating corn plants on samples of a Red-Yellow Latosol. In addition to the acidulated phosphates obtained from brazilian rock and commercial phosphates, samples which were previously leached to remove the water-soluble phosphorus and, therefore, contained essentially the NAC-soluble fraction, were also included in the study.

Posphates were applied in the rates of 50 or 70 mg kg⁻¹ P, calculated considering the content of P₂O₅ soluble in NAC + H₂O. In some experiments the effect of rates of

phosphorus (0, 50 and 100 mg kg⁻¹ P) was evaluated and, in others, four non-acidulated phosphates were included, two fused phosphates and two high reactivity rock phosphates; for these phosphates the rates were calculated considering the total amount of P. In all experiments monocalcium phosphate p.a. [Ca(H₂PO₄)₂.H₂O] was included as a standard source of phosphorus. The fertilizers were thoroughly mixed with the whole soil in the pots (mixed application) or with only 1% of its volume (localized application). In some experiments the residual effect of applied phosphorus was evaluated by cultivating corn for one or two additional periods two months after the previous cropping.

At the end of each cultivation period of about 35 days the amounts of dry matter and phosphorus accumulated in plant tops were determined. In two occasions soil samples were also collected from all pots at the end of the cultivation period to determine the content of resin-extracted phosphorus. Results were evaluated by analysis of variance considering the factors acidulated phosphates, leaching, methods of application and, when was the case, rates of phosphorus as causes of variation. In a second analysis the leached phosphates were considered as additional levels of the phosphate factor, as well as the monocalcium phosphate p.a. and, in some cases, the non-acidulated phosphates. Tukey test at 0.05 significance level was utilized for mean separations.

The efficiency of the acidulated phosphates in supplying phosphorus to the corn plants increased with the increasing content of water-soluble P₂O₅ in the phosphate and with the decreasing amount of contaminants (iron and aluminum) in the raw material. In the first crop, and for most of the studied phosphates, the phosphorus fraction soluble only in NAC was less efficient in supplying this nutrient to the corn plants than the fraction soluble in NAC + H₂O; however, from one crop to another the efficiency of the former fraction increased and became superior to the later by the third crop. Therefore, when all crops were considered as a whole the difference between the phosphorus fractions were nearly absent.

In the first crop the efficiency of the acidulated phosphates in supplying phosphorus to the corn plants was usually inferior to the standard source, the monocalcium phosphate p.a.; however, as described for the phosphorus fractions soluble

in NAC and NAC + H₂O, when all crops were considered as a whole the difference between the phosphorus fractions were nearly absent.

The content of P₂O₅ soluble in NAC + H₂O was not an adequate index for evaluating the phosphorus availability of the studied phosphates.

For the acidulated phosphates containing high amounts of water-soluble P in the fraction soluble in NAC + H₂O localized application showed to be a more efficient method for supplying phosphorus to the first crop than the mixed application, but the opposite was observed for the phosphates having low contents of water-soluble P in the fraction soluble in NAC + H₂O, for the non-acidulated phosphates and for the leached phosphates containing only the NAC-soluble phosphorus fraction. The effect of method of application was less noticed in the second crop, which was carried out after mixing the soil in the pots, and became nearly absent in the third.

Chemical characteristics, as the content of water-soluble P in the fraction soluble in NAC + H₂O should be considered when selecting a method for applying phosphates obtained by acidulation of low P raw materials. For these phosphates, new procedures should be developed to evaluate the phosphorus availability to plants, since the NAC + H₂O extraction method showed to be inadequate.

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais processos tecnológicos por que passa a rocha fosfática, a matéria-prima utilizada na fabricação dos fertilizantes fosfatados, é a acidulação, e tem por objetivo aumentar a disponibilidade do fósforo às plantas. Dentre os principais produtos desse processo, os chamados fosfatos acidulados, destacam-se o superfosfato simples, o superfosfato triplo e os fosfatos monoamônico (MAP) e diamônico (DAP).

Além da apatita, o componente que contém o fósforo, a rocha fosfática pode apresentar impurezas como compostos de magnésio, ferro, alumínio e cálcio, não desejáveis porque consomem parte do ácido empregado no processo de solubilização da rocha e diminuem a disponibilidade do fósforo às plantas devido à formação de fosfatos de baixa solubilidade. A indústria de fertilizantes tem, como consequência, evitado utilizar matérias-primas com teores de $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ maiores que 7%.

Uma das principais consequências do crescente consumo de fertilizantes no mundo é a diminuição progressiva das reservas de rochas fosfáticas, notadamente daquelas com elevado grau de pureza. Comenta-se na literatura que, se a demanda mundial de rocha fosfática aumentar a uma taxa anual de 10 milhões de toneladas de concentrado comercial, muito em breve a maioria dos produtores de fertilizantes terá de abandonar a exigência de processar somente rochas com alta pureza em apatita. Esse problema já pode ser sentido hoje em muitas regiões situadas nos EUA, Austrália, Norte da África e América do Sul, onde a exploração de jazidas de baixa qualidade está cada vez mais comum.

A necessidade de se utilizar rochas fosfáticas com altas concentrações de cátions metálicos, principalmente Fe e Al, tem motivado a realização de estudos para se avaliar o impacto desse procedimento sobre os processos industriais de produção dos fosfatos solúveis e sobre a qualidade desses insumos.

Uma das maneiras de se avaliar a eficiência agronômica dos fertilizantes fosfatados é através da determinação química do teor de fósforo total ou somente do fósforo “disponível”, extraído por métodos químicos especiais. O método conhecido por “CNA+água”, um dos mais utilizados atualmente, combina duas extrações subseqüentes, uma com água e outra com solução de citrato neutro de amônio. Outro método utilizado é o do ácido cítrico a 2% na relação fertilizante:extrator de 1:100, o qual extrai as formas solúveis em água e o fósforo na forma de fosfato bicálcico. Finalmente, a disponibilidade do fósforo pode ser avaliada por simples extração com água. No Brasil, o método do CNA+água tem sido utilizado para fertilizantes fosfatados acidulados, enquanto o ácido cítrico a 2% tem sido adotado para fosfatos naturais e termofosfatos.

Embora o método do CNA+água seja considerado padrão pela AOAC (Association of Official Analytical Chemists), alguns autores discutem a validade de se utilizar a fração solúvel em citrato neutro de amônio como índice de disponibilidade de fósforo para os adubos fosfatados acidulados. O assunto é polêmico e os resultados são contraditórios, pois enquanto alguns trabalhos demonstram a conveniência de se utilizar essa fração, outros recomendam considerar apenas a parte solúvel em água. Essa contradição pode estar relacionada a diferenças entre as metodologias utilizadas, principalmente com relação a espécie vegetal, variedade, solo, à natureza do fertilizante e às doses e modos de localização.

Um novo problema que pode ser levantado com relação ao citrato neutro de amônio é saber se sua eficiência não estaria comprometida quando utilizado em fosfatos produzidos a partir de rochas de menor qualidade, uma vez que, nestes casos, a proporção da fração insolúvel em água, porém solúvel em CNA, é maior e de constituição química bastante distinta daquela dos fertilizantes produzidos a partir de rochas mais puras em apatita. Esse problema adquire maior importância quando se

considera que o emprego eficiente de fertilizantes produzidos a partir de rochas menos puras só é possível se conhecermos até que ponto o fósforo presente na fração insolúvel em água é efetivamente disponível às plantas. No Brasil, nenhum esforço tem sido feito para avaliar essas questões, o que é preocupante se considerarmos que nossas rochas fosfáticas são extremamente pobres.

O presente trabalho teve como objetivos: (a) avaliar a eficiência da fração de fósforo solúvel em CNA+água e daquela solúvel apenas em CNA, de diferentes fosfatos, comerciais ou não, produzidos a partir de rochas fosfáticas nacionais; (b) verificar a eficiência do método do CNA+água em avaliar a disponibilidade do fósforo dos fertilizantes fosfatados acidulados; (c) avaliar a eficiência dos fosfatos em função do modo de aplicação no solo e (d) comparar os fosfatos quanto ao efeito residual no solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A produção de fertilizantes fosfatados solúveis e o problema da presença de impurezas na rocha fosfórica

É fato muito conhecido e tratado na literatura que os solos, em sua grande maioria, são deficientes em fósforo. Nos trópicos, região na qual a maior parte do território brasileiro se encontra, a situação é ainda mais séria uma vez que, além da deficiência deste macronutriente, a ocorrência de forte acidez e a presença de argila sesquioxídica aumentam muito a adsorção de fosfatos e a formação de precipitados, diminuindo-se, assim, a disponibilidade do fósforo às plantas. Diante de tal situação, é imprescindível a aplicação de fertilizantes fosfatados que venham a suprir as necessidades das culturas comerciais, bem como de um manejo correto desses no sentido de minimizar as reações de adsorção e formação de precipitados.

A maior parte da matéria-prima utilizada na fabricação dos fertilizantes fosfatados utilizados na agricultura é constituída de uniões complexas de minerais agrupados sob o termo genérico de fosforita ou rocha fosfórica. De acordo com o glossário de geologia do Instituto Geológico Americano (GARY et al., 1972), uma rocha fosfórica é uma rocha sedimentar composta, principalmente, de minerais fosfóricos. Importante se faz esclarecer que o termo “fosforita” deve ser empregado com o intuito de designar o sedimento do qual o mineral fosfórico é o constituinte principal (CATHCART, 1980a), e “apatita” é o mineral propriamente dito (ABRAHÃO & MARCONI, 1985).

A eficiência agronômica da rocha fosfórica quando apenas moída é determinada pela reatividade química, a qual depende do grau de substituição do carbonato pelo fosfato na estrutura da apatita (TISDALE et al., 1985). Certos minérios ou rochas fosfóricas ricas em P_2O_5 e contendo alto grau de substituição podem ser utilizadas “in natura” na produção de fertilizantes, porém, a maioria requer processos de beneficiamento ou de tratamento para aumentar o teor de fósforo (CEKINSKI, 1990).

Os fosfatos brasileiros são de eficiência agronômica muito baixa e jamais devem ser utilizados em adubação direta de culturas anuais. Os melhores deles, os fosfatos de Olinda e Alvorada, não são mais comercializados (RAIJ, 1991). GOEDERT & LOBATO (1984) e PONCHIO (1978) demonstraram a baixa eficiência dos fosfatos brasileiros em aplicação direta no solo, após moagem, quando comparados aos fosfatos de alta reatividade originários de outras localidades do mundo (Gafsa, Flórida e Tunísia).

Assim, em sua grande maioria, os adubos fosfatados empregados atualmente na agricultura nacional são o resultado de transformações físicas e químicas, as quais concentram os minérios em P_2O_5 , e ainda, destroem a estrutura da apatita, produzindo adubos de maior solubilidade.

Os dois processos normalmente empregados para aumentar a solubilidade das rochas fosfóricas são o tratamento térmico e a acidulação, sendo o segundo o mais utilizado (TISDALE et al., 1985). O tratamento térmico é realizado fundindo-se a rocha moída com serpentina (RAIJ, 1991), sendo que a presença de impurezas minerais, como sílica, sulfatos, silicatos, cloretos e carbonatos, pode propiciar a formação de compostos mais solúveis. O tratamento térmico dos fosfatos de Fe e Al a 500-600°C remove água dos minerais hidratados e altera os minerais cristalinos para fases amorfas que têm maior solubilidade (MCCLELLAN & GREMILLION, 1980). O processo, entretanto, é caro devido ao alto consumo de energia.

Os fertilizantes fosfatados acidulados, obtidos pelo ataque ácido da rocha fosfórica, tem se constituído em uma fonte mais acessível aos agricultores. Dependendo

do ácido empregado, sua concentração, e ainda, dos produtos utilizados no processo, vários são os fertilizantes obtidos.

RAIJ (1991) resume os principais adubos fosfatados comercializados no Brasil:

i) Superfosfatos: referem-se a fosfatos solúveis em água, produzidos pelo tratamento da rocha fosfórica com ácido sulfúrico, originando o superfosfato simples, ou com ácido fosfórico, originando o superfosfato triplo. A proporção de ácido sulfúrico utilizada é determinante do produto a ser obtido (ácido fosfórico ou superfosfato simples). As reações, para o caso da fluorapatita, são as seguintes:

Fabricação do superfosfato simples:

Fabricação do ácido fosfórico:

Fabricação do superfosfato triplo:

ii) Fosfatos monoamônico (MAP) e diamônico (DAP): são obtidos mediante reação do ácido fosfórico com amônia em diferentes proporções;

iii) Fosfatos parcialmente acidulados: decorrem da realização apenas parcial da reação apontada para fabricação do superfosfato simples, com obtenção de produto com solubilidade intermediária entre a rocha fosfórica e o superfosfato simples.;

iv) Fosfato bicálcico: produto formado pela reação do ácido fósforico com hidróxido de cálcio

v) Outros produtos: guano de aves, farinha de ossos, escória de siderurgia, polifosfatos, fosfatos de potássio, nitrofosfatos.

Além desses fertilizantes convencionais, foram desenvolvidos pelo Tennessee Valley Authority (TVA) os ácidos superfosfóricos (76% a 80% P_2O_5) por desidratação do ácido fosfórico (TISDALE et al., 1985).

O processo de fabricação dos fertilizantes fosfatados acidulados é complexo e a qualidade do produto final função de inúmeros fatores. ROBINSON (1980) cita as características ideais de uma rocha para fabricação de fertilizantes fosfatados acidulados. Entre elas destacam-se: i) alta relação $\text{P}_2\text{O}_5/\text{CaO}$, para minimizar o consumo de ácido sulfúrico; ii) baixo teor de matéria orgânica, para minimizar a espuma e evitar interferência na filtragem, aumento do cristal e recristalização do gesso hemihidratado; iii) baixo teor de carbono, para minimizar a espuma; iv) baixo teor de cloro, para minimizar a corrosão; v) relação SiO_2/F suficiente para evitar excesso de fluor no ácido fosfórico e, assim minimizar a corrosão e evitar interferência no aumento do cristal e recristalização

do gesso hemihidratado; vi) baixo teor de metais alcalinos, para evitar a escamação por fluorsilicatos; vii) baixos teores de impurezas catiônicas para minimizar perdas de pureza no ácido e perda de solubilidade em água do P intermediário; viii) conter teor de impurezas catiônicas suficientes para produzir cristais dihidratados com forma rômica; ix) alta reatividade para minimizar perdas de P_2O_5 das rochas e moagem necessária; x) ser relativamente macio para melhorar as taxas de moagem. O mesmo autor comenta que nenhuma das rochas fosfóricas comerciais possui todas as características desejáveis, as quais variam em importância dependendo do processo tecnológico adotado.

Dentre as características indesejáveis da rocha fosfórica, grande ênfase tem sido dada à presença de altas quantidades de impurezas catiônicas, principalmente Fe e Al. GILKES & LIM-NUNEZ (1980) comentam que, no que diz respeito à produção dos fosfatos acidulados, apesar de pequenas quantidades de Fe e Al melhorarem as propriedades dos grânulos de superfosfato, quantidades maiores podem trazer vários tipos de prejuízo ao produto final. Diferentes autores discutem os problemas ocasionados.

MARSHALL & HILL (1952) citam que, no preparo de superfosfatos simples e triplo, formas minerais de Fe e Al (óxido, sulfetos, hidróxidos) podem introduzir problemas tecnológicos devido à aderência imposta ao produto pelo constituinte R_2O_3 ($Fe_2O_3 + Al_2O_3$).

LEHR (1968) comenta que a presença das impurezas leva à formação de escamas em equipamentos que produzem ácido fosfórico, formação de compostos insolúveis de fósforo em produtos fosfatados amoniados, líquidos ou sólidos, e aglomerações indesejáveis em polifosfatos amoniados sólidos não granulados.

Os cátions metálicos Fe, Al, Mg e K liberados durante o processo de acidulação pelo H_3PO_4 podem combinar com o fósforo e formar compostos impuros (LEHR et al., 1966; SCOTT et al., 1974; WHITE, 1976; FRAZIER & LEHR, 1967; GILKES & LIM-NUNEZ, 1980; LEHR, 1980; DILLARD & FRAZIER, 1983; GILKES & MANGANO, 1983).

Além do problema da menor disponibilidade de P dos fertilizantes fosfatados produzidos a partir de rochas menos puras, existe ainda, segundo WHITE (1976), problemas ocasionados na granulação e armazenamento do produto. Além disso, apatitas que não reagiram também podem estar presentes em superfosfatos, em parte devido ao ácido sulfúrico dissolver minerais de Fe e Al em preferência à apatita (GILKES & LIM-NUNEZ, 1980; LEHR, 1980).

ROBINSON (1980) discute amplamente os problemas industriais causados pela presença de impurezas.

Apesar de todos os problemas citados serem importantes, LEHR (1980) resume em dois os principais distúrbios ocasionados pelas impurezas: i) a formação de fosfatos de Fe e Al insolúveis, e ii) presença, no fertilizante, de resíduos não decompostos da rocha fosfórica devido a interferências químicas ou mecânicas causadas pelas impurezas durante as fases de acidulação. Comenta ainda o autor que o problema parece ocorrer não somente devido à baixa qualidade das rochas, mas também devido ao aumento na utilização de ácidos comerciais, menos puros que os clarificados.

O teor máximo recomendado de R_2O_3 nas rochas fosfóricas varia de autor para autor, bem como depende do destino a ser dado às mesmas. MARSHALL & HILL (1952) postulam que o emprego de rochas contendo mais que 5% de R_2O_3 pode dificultar o processo de produção dos fertilizantes fosfatados. McCLELLAN & GREMILLION (1980) dizem que concentrados fosfóricos com mais de 3 a 4% de R_2O_3 são indesejáveis para a produção de ácido fosfórico mas podem ser utilizados para a fabricação de superfosfatos. HAMMOND et al. (1989) cita que, se o teor de $Fe_2O_3 + Al_2O_3$ da rocha fosfórica for maior que 7%, o conteúdo de P solúvel em água do fertilizante reduz-se apreciavelmente. Sobre o assunto, McCLELLAN & GREMILLION (1980) afirmam que estudos de caracterização da rocha fosfórica terão papel cada vez maior na avaliação tecnológica de materiais fosfóricos marginais.

Apesar das várias proposições existentes para se caracterizar e classificar as rochas fosfóricas, uma nova terminologia está se tornando habitual para indicar e

classificar a qualidade dessas rochas. Estes materiais são agora freqüentemente classificados como “premium-grade”, “nonpremium-grade” e “marginal-grade”. Apesar de não existirem especificações de mercado, os materiais “premium-grade” são considerados aqueles que possuem no mínimo 13,5% P (31% P_2O_5 e 68 BPL⁽¹⁾). Estes índices correspondem, portanto, a concentrações de apatita de 82% a 95% em massa. Conseqüentemente, apenas uma pequena fração de minerais acessórios existe nestes concentrados, e assim, o efeito coletivo destes no processo químico não preocupa. Geralmente, são produtos com composição química tal que $Ca < 29\%$, $Fe + Al < 3\%$, $Mg < 0,2\%$, carbonatos livres $< 0,2\%$, e resíduos insolúveis < 10 a 15% , em massa. No caso dos “nonpremium-grade” o conteúdo de P cai para menos de 14% (68% BPL), já que a concentração de impurezas aumenta. Se estas impurezas forem principalmente SiO_2 ou fases silicatadas, então a qualidade do material como matéria prima para fertilizantes fosfóricos não é prejudicada, sendo que o problema se restringe à economicidade do processo em função da menor concentração de P. Os materiais ditos “marginal-grade” possuem o mesmo grau de impurezas que os “nonpremium-grade”, porém, estas não se constituem apenas de SiO_2 ou fases silicatadas, mas sim, de Fe, Al, Mg, cloretos, álcalis, carbonatos livres, matéria orgânica e metais interferentes variados (LEHR, 1980).

As maiores reservas mundiais de rocha fosfórica pertencem a Marrocos e EUA. As reservas brasileiras representam de 1 a 2% das reservas mundiais (CEKINSKI, 1990; SILVA, 1987), e constituem-se em sua grande maioria de rochas com altos níveis de contaminantes, particularmente óxidos de Fe e Al (MALAVOLTA & ALCARDE, 1986). De fato, a grande maioria seria classificada pelo critério apresentado por LEHR (1980), como rochas do tipo “nonpremium-grade” ou até “marginal-grade”.

Segundo RIEDER (1986), no Brasil, encontram-se fosfatos sedimentares nos jazimentos de Paulista e Olinda, ambos em Pernambuco, e de Patos de Minas em Minas Gerais. Como rochas ígneas, encontram-se os fosfatos de Jacupiranga, Ipanema, Itatiaia e Maicuru. No entanto, os jazimentos mais importantes são de ocorrência ígnea secundária, de mineralogia extremamente complexa, tendo as impurezas uma influência

⁽¹⁾ BPL= Bone phosphate of lime, $Ca_3(PO_4)_2$

marcante nos rendimentos de recuperação de fósforo na fase de concentração destes minérios. Estão neste caso os jazimentos de Araxá, Tapira, Catalão e Anitápolis.

Ainda segundo o mesmo autor, a dificuldade no tratamento do minério leva à montagem de usinas de beneficiamento mais complexas e, como consequência, a onerosos investimentos. Enquanto nos Estados Unidos os valores são da ordem de 65 a 90 dólares por tonelada de capacidade anual, no Brasil situam-se entre 150 e 240 dólares por tonelada. Cumpre salientar que o teor de impurezas dos fosfatos norte-americanos está aumentando, pois os investimentos por tonelada na década de sessenta eram inferiores a 5 dólares por tonelada, sendo que o aumento no custo é função direta da diminuição na qualidade da rocha fosfórica empregada.

O problema do esgotamento das rochas fosfóricas de melhor qualidade (“premium-grade”) já vem sendo tratado na literatura há algum tempo. Segundo NORTHOLD (1974), por exemplo, se a demanda mundial pela rocha fosfórica aumentar a uma taxa anual de aproximadamente 10 milhões de toneladas de concentrado comercial, muito em breve os produtores de fertilizantes teriam de abandonar a exigência de recuperar apenas as rochas “premium-grade”.

Em todo o mundo até recentemente as operações em minas eram restritas às rochas “premium-grade”, com os EUA, USSR e norte da África, principalmente Marrocos, suprindo a maior parte do material fosfórico. Após 1973-74 observou-se uma expansão nunca vista das operações em minas antes não utilizadas. Novas fontes emergiram no norte da África, meio oeste dos EUA, América do Sul e Austrália, enquanto outras, ainda, estão em início de instalação (NORTHOLD, 1974; HOWARD, 1979).

O uso destas rochas com menor qualidade química por alguns produtores de fertilizantes pode, devido às impurezas presentes, levar à maior variabilidade na qualidade e composição de fertilizantes fosfóricos comerciais tradicionais (LEHR, 1980; CATHCART, 1980b; LEHR, 1984).

Diante dos problemas ocasionados pelas impurezas, e, sabendo-se que a tendência é de utilização de rochas fosfóricas cada vez menos puras (“nonpremium-grade” ou “marginal-grade”), é indispensável questionar-se o que deverá ser feito para permitir esta utilização. Conforme já discutido, a produção de termofosfatos é uma das possibilidades existentes. A qualidade do termofosfato formado depende da natureza dos minerais acessórios presentes na rocha e, ainda, da temperatura de calcinação. Assim, pode constituir-se, para alguns casos específicos, opção interessante o processamento térmico das rochas “nonpremium-grade” ou mesmo as “marginal-grades”. Estes produtos tem demonstrado, juntamente com os fosfatos naturais de alta reatividade, eficiência similar aos solúveis em água, quando computado o efeito residual a longo prazo (GOEDERT & SOUZA, 1984). Entretanto, como já apontado anteriormente, o grande problema é o alto consumo de energia para a sua fabricação.

De acordo com FRAZIER & LEHR (1967) e ANDO & LEHR (1967) a fabricação de superfosfato simples poderá constituir-se na única forma prática de utilizar algumas rochas marginais com altas concentrações de Mg, Al, Fe e carbonatos solúveis. Os autores enfatizam que o produto final terá composição diferente dos produtos tradicionais produzidos, essencialmente de fosfato monocálcico e sulfato de cálcio. Diante de tal afirmativa, há de se questionar “será que voltaremos ao superfosfato simples?”.

Já KNUDSEN (1972) comenta que, apesar de os fosfatos de rocha menos puros não serem recomendados em processos normais para fabricação de ácido fosfórico por via úmida, podem ser convertidos em fertilizantes por processos que empregam o ácido nítrico, ou ainda, ser modificado termicamente para produzir fertilizantes de aplicação direta.

Segundo DILLARD & FRAZIER (1983), fertilizantes monoamônicos comerciais (MAP) podem conter mais impurezas catiônicas que o superfosfato concentrado (superfosfato triplo) ou o fosfato diamônico (DAP); isto porque materiais mais impuros podem ser empregados em sua fabricação sem as complicações experimentadas com o superfosfato triplo ou DAP. Esta alternativa, entretanto, parece

resolver apenas o problema tecnológico e não o agronômico, já que o produto final poderá conter espécies químicas de eficiência agronômica duvidosa.

A utilização de fertilizantes líquidos fabricados a partir de rochas com alto grau de impurezas catiônicas poderá constituir-se em outra alternativa. BURNELL & DILLARD (1990) comentam que a adição de pequenas quantidades (0,6%) do íon flúor melhorou as propriedades físicas (viscosidade, escoamento e armazenamento) de fertilizantes em suspensão, fabricados a partir do MAP contendo metais como impurezas.

Na realidade, qualquer das alternativas apresentadas constituem hipóteses que carecem de maior quantidade de dados para poderem ser aprimoradas e, talvez, adotadas no futuro.

LEHR (1980) resume bem o que qualquer programa a longo prazo deve considerar com relação ao problema da menor disponibilidade de rochas “premium grade” para fabricação de fertilizantes fosfatados acidulados. O autor apresenta quatro alternativas possíveis:

- 1) melhorar a tecnologia de mineração e moagem a fim de se obter matérias primas para fosfatos de qualidade “premium”;
- 2) desenvolver processos tecnológicos de acidulação que permitam processar matérias primas de qualidade inferior;
- 3) desenvolver processos de purificação da rocha fosfórica que permitam a rejeição dos contaminantes presentes nas rochas de baixa qualidade;
- 4) modificar as especificações dos produtos, as quais devem ser baseadas na performance agronômica do fertilizante, ao invés de critérios empíricos de solubilidade.

O autor acrescenta ainda a seguinte dúvida, “devem os fosfatos insolúveis em água ser evitados de qualquer forma?”. Este é um ponto importante e que deve ser melhor entendido, pois o emprego eficiente de fertilizantes produzidos a partir de rochas

menos puras só será possível se acompanhado de pesquisa a respeito da disponibilidade do P da fração insolúvel em água.

A maior parte das pesquisas têm-se concentrado na purificação. A indústria de fertilizante fosfatado ainda espera uma solução satisfatória para o problema da diminuição na qualidade da matéria prima.

A literatura nacional têm se preocupado pouco com o problema da interferência dos metais contaminantes na qualidade dos fertilizantes fosfatados produzidos, deixando sem resposta a indagação “até que ponto se pode conviver com a presença destes no fertilizante ?”.

As indústrias tem optado por processos industriais onerosos que eliminam os contaminantes. SILVA (1987) comenta que as tecnologias de solubilização implantadas no País até o momento para a produção de intermediários e de fertilizantes fosfatados, bem como a legislação atual, exigem rochas fosfóricas com baixo teor de contaminantes (R_2O_3 , MgO , etc.). Porém, diversos autores de diferentes países tem questionado se essa exigência é realmente necessária, fato que também deve preocupar os pesquisadores nacionais.

Assim, agrônomos e agricultores estão diante de um novo problema, o de avaliar esta heterogeneidade de fertilizantes fosfatados produzidos com rochas de menor qualidade química, em relação a performance no campo. No caso do Brasil, onde a predominância é para rochas de baixa qualidade, o problema é ainda maior e deve ser investigado.

2.2. Avaliação dos fertilizantes fosfatados através de extratores químicos

Dentre os métodos utilizados para avaliar a eficiência agrônômica dos fertilizantes fosfatados, o método químico através de extratores em laboratório constitui-se em alternativa das mais empregadas.

TERMAN et al. (1964) descreve com detalhes como se deu o desenvolvimento dos extratores hoje utilizados para caracterização dos fosfatos:

“Logo após o início da produção comercial de superfosfato em 1842, foi descoberto que o fósforo solúvel em água dos fertilizantes retornava rapidamente para formas menos solúveis após serem aplicados ao solo. Entretanto, esse fósforo tinha um efeito mais benéfico no crescimento das plantas que o fosfato da rocha não acidulada. Ao procurarem por métodos analíticos que distinguissem as duas formas de fósforo de baixa solubilidade, químicos europeus verificaram que o fosfato revertido era muito solúvel em citrato de amônio, enquanto fosfato não acidulado era apenas pouco solúvel. Testes realizados indicaram que a porção solúvel em citrato tinha eficiência igual à do fósforo solúvel em água. Citam os autores que, além do método já convencional da solubilidade em água, FRENESIUS et al. (1871) desenvolveram um método para avaliar o P solúvel em citrato neutro de amônio, enquanto JOULIE (1873) e PETERMAN (1880) desenvolveram o mesmo extrator só que em meio alcalino. O método baseado no uso do ácido cítrico a 2% foi desenvolvido especialmente para escórias, de forma a prevenir adulteração com fosfatos de rocha. O autor relata ainda que nos EUA os químicos dirigiram seus esforços para o procedimento de FRENESIUS et al. (1871), e em 1884 a Association of Official Analytical Chemists (AOAC) adotou como oficial o método do citrato neutro de amônio”.

Apesar de algumas modificações no tempo de agitação e nas condições de aquecimento, esse extrator continua o mesmo. Poucos estudos sobre métodos de extração foram realizados após as revisões de TERMAN et al. (1962), TERMAN et al. (1964); MATTINGLY (1965), COOKE (1966) e TERMAN (1971).

Uma das poucas modificações realizadas decorreu do fato de certos polifosfatos condensados serem menos solúveis em citrato neutro de amônio (CNA) do que em água. Em razão desse problema, uma metodologia alternativa do método AOAC foi adotada em 1964, a qual combinava, sem filtração, uma extração em água e uma extração subsequente em citrato para a determinação do P disponível (ENGELSTAD & TERMAN, 1980).

ENGELSTAD & TERMAN (1980) comentam ainda que alguns fosfatos de amônio muito condensados mostram baixa solubilidade do P em água e citrato devido à baixa dissolução. O crescimento da planta, entretanto, demonstra que a disponibilidade desses fosfatos é a mesma dos solúveis em água e que as taxas de dissolução e hidrólise no solo são adequadas para liberar P às plantas.

A avaliação da liberação de P de fertilizantes fosfóricos tem sido realizada através de modelos matemáticos (entre outros, os de primeira e segunda ordem e o de Elovich). Contudo, os estudos não relacionam a disponibilidade medida pelos modelos com a resposta da planta, sendo por isto bastante limitados (VARELA et al., 1991).

SIKORA et al. (1991) estudaram a cinética de dissolução de P de frações solúveis em CNA, no pH inicial de 5,0, com o intuito de determinar se os parâmetros cinéticos das equações de pseudo primeira ordem e de Elovich poderiam ser utilizados para predizer a disponibilidade de P. Os resultados demonstraram que a equação de pseudo primeira ordem não descreveu bem a dissolução de P, enquanto a de Elovich mostrou-se adequada para esse propósito. Os autores concluem que a constante beta da equação de Elovich pode ser um parâmetro válido para predizer a disponibilidade de P em fertilizantes, isto se for comprovado que a taxa de dissolução de P limita a absorção desse elemento pelas raízes.

As tentativas feitas para desenvolver novos métodos de avaliação da disponibilidade de fósforo de fertilizantes fosfatados são poucas. Um dos métodos que tem sido propostos recentemente é o de MOREL & FARDEAU (1991), que estima a

proporção de íons PO_4^{3-} derivados dos fertilizantes na solução do solo e é medida através da troca isotópica de íons $^{32}\text{PO}_4^{3-}$.

A consulta à literatura dá a impressão de que o método AOAC sempre foi considerado padrão por alguns autores. A avaliação dos comentários de FRAZIER & LEHR (1967) permitem verificar o que foi afirmado. Os autores enfatizam que os complexos de Fe e Al não são prejudiciais, quando presentes no superfosfato concentrado, uma vez que tais complexos diminuem a solubilidade em água, porém não em citrato. Percebe-se, assim, que os autores consideravam o teor solúvel em citrato como sendo, indiscutivelmente, o disponível às plantas.

Muito embora os métodos fossem apontados como padrão por alguns autores, outros discutem a validade de se utilizar a fração solúvel em citrato neutro de amônio como índice da disponibilidade de P dos adubos fosfatados acidulados. O assunto é polêmico e os resultados são aparentemente contraditórios, pois enquanto há trabalhos que demonstram a validade de se utilizar apenas a fração solúvel em água como parâmetro de disponibilidade (TERMAN et al., 1961; TERMAN & ALLEN, 1967; HAMMOND et al., 1980; BISWASS & GHOSH, 1988), outros recomendam considerar a parte solúvel em citrato (WEBB & PESEK, 1958; GOVIL & PRASAD, 1972; McLEAN & LOGAN, 1970; SINDEN, 1990; FRIESEN et al., 1987). A contradição deve estar relacionada às condições experimentais, uma vez que espécie vegetal, variedade, solo, tipo de fertilizante, localização do fosfato, entre outros fatores, podem influir no resultado obtido.

Como exemplo da afirmativa acima, CHIEN et al. (1987a) comentam que a aparente contradição entre os dados de McLEAN & LOGAN (1970), os quais postulam que a disponibilidade de P dos fertilizantes foi além do teor solúvel em água, e os de TERMAN & ALLEN (1967) e HAMMOND et al. (1980), os quais verificaram que a eficiência das fontes fosfatadas relacionou-se com a solubilidade em água, pode ser explicada pelo fato de os solos utilizados pelos últimos autores serem distintos do utilizado pelo primeiro, sendo bem mais ácidos e de menor capacidade de fixação de P.

Sobre o assunto, HIGGINS & BRAITHWAITE (1990) afirmam que a análise da disponibilidade de P de uma série de novos fertilizantes que tem sido atualmente produzidos (fosfatos de lenta liberação de P e fosfatos reativos) necessita de procedimentos químicos mais detalhados que a extração realizada em uma única etapa. Os autores discutem os métodos pesquisados na Nova Zelândia com o intuito de melhorar a previsão da disponibilidade de P dos fertilizantes fosfatados, sendo que os métodos descritos utilizam sempre duas extrações (exemplo: extração com CNA seguida de lavagem com água e uma segunda extração do P do resíduo com ácido cítrico ou fórmico a 2%).

Já BAKER et al. (1989), em estudo realizado para resolver discrepâncias entre laboratórios no que diz respeito à quantidade de P disponível de produtos comercializados oriundos de ossos, encontraram correlação muito baixa entre a disponibilidade do P determinada analiticamente pelo método AOAC e a determinada agronomicamente empregando-se plantas.

Embora alguns autores discordem da validade dos métodos considerados padrões (AOAC), a grande maioria continua considerando os mesmos como referência em seus trabalhos até hoje. Assim, os autores que propõem novos métodos para avaliar a disponibilidade de P de fertilizantes fosfatados utilizam sempre o tradicional método gravimétrico da AOAC como comparação. É o caso do trabalho conduzido por TRIMM (1989), o qual propõe um método mecânico através da adição de água e citrato em uma célula de vidro que contém um filtro de cerâmica e ambos, P_2O_5 solúvel em água e P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio, são extraídos na célula. Os trabalhos de FARLEY (1989) e KANE et al. (1989) também são exemplos do que foi dito.

A contradição entre a extração com água e a extração com citrato neutro de amônio para caracterizar o P disponível fica bastante evidente diante do que afirmam a AOAC e a Comunidade Comum Européia. A AOAC define como P disponível a combinação de P solúvel em água e P solúvel em citrato neutro de amônio, enquanto o P insolúvel em citrato é considerado não disponível às plantas (AOAC, 1984). Por outro lado, a Comunidade Comum Européia (CCE) requer que 93% do fósforo solúvel em

citrato neutro de amônio seja solúvel em água. A questão tem motivado novos trabalhos de pesquisa, os quais serão posteriormente citados.

Atualmente, a caracterização do fertilizante fosfatado no Brasil têm sido realizada através de três determinações: (i) a do teor total de P_2O_5 , que inclui todas as formas químicas; (ii) a do teor solúvel em CNA + H_2O , ou teor solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100, que extrai as formas solúveis em água + formas de fosfato bicálcico, e (iii) a do teor solúvel em água (RAIJ, 1991).

A legislação brasileira exige que os teores de fósforo sejam mencionados na embalagem (BRASIL, 1982) e que os extratores sejam empregados de acordo com o fertilizante fosfatado (ALCARDE, 1992).

No Brasil, o método do CNA + H_2O tem sido utilizado para avaliar o conteúdo de P disponível de fertilizantes fosfatados acidulados, enquanto o ácido cítrico a 2% tem sido empregado para fosfatos naturais ou termofosfatos. GOEDERT & SOUZA (1984) comentam que os resultados experimentais têm mostrado que esse procedimento é válido para aquilatar a eficiência do fertilizante a curto prazo, ou seja, para a cultura imediata à aplicação, e que mesmo a longo prazo os poucos dados existentes indicam que os métodos são válidos.

MALAVOLTA & ALCARDE (1986) também comentam que, de modo geral, os experimentos de comparação de adubos fosfatados conduzidos no Brasil consideram apenas o teor de P_2O_5 total dos mesmos, porém, aqueles realizados com avaliação da disponibilidade de P dos fertilizantes através da extração com CNA ou ácido cítrico permitem concluir que, do ponto de vista agrícola, a solubilidade em citrato neutro de amônio para os produtos acidulados, e aquela em ácido cítrico a 2% no caso de fosfatos naturais e termofosfatos, constituem índices seguros para a avaliação da eficiência, o que não ocorre com a solubilidade em água. Os autores concluem que a solubilidade em água não consulta os interesses agrícolas e, ainda, que tal solubilidade não consulta os interesses maiores do País na exploração econômica e duradoura de suas reservas de rocha fosfórica.

Em alguns trabalhos realizados no Brasil (ALCARDE & JACINTHO, 1980; ALCARDE & PONCHIO, 1980; ALCARDE & PONCHIO, 1982) com o intuito de avaliar extratores de fósforo de fertilizantes, os autores estudaram os efeitos das soluções sobre os adubos, sem relacioná-los com a resposta da planta.

Desta forma, a tendência no Brasil é de utilizar os extratores CNA + água e ácido cítrico a 2% como métodos seguros de avaliação da disponibilidade de fósforo dos fertilizantes acidulados, naturais e termofosfatos. Assim, estes tem sido utilizados rotineiramente como instrumento para caracterizar os fertilizantes fosfatados em todo o país e definir as doses de fertilizantes a serem aplicadas.

Muito embora o assunto não seja recente, um novo problema tem sido discutido com relação à eficiência do citrato neutro de amônio em prever a disponibilidade de P de fertilizantes fosfatados acidulados. Trata-se da questão de quão adequadamente este extrator avalia os fosfatos produzidos a partir de rochas de menor qualidade, uma vez que neste caso a proporção da fração insolúvel em água, porém solúvel em citrato neutro de amônio, é maior, e com diferenças significativas em relação às rochas existentes na época em que o extrator foi inicialmente testado.

Sobre o assunto existem informações, algumas até antigas. TERMAN et al. (1964) comentam que a análise pelo método do citrato neutro de amônio é empírico e foi desenvolvido principalmente para fertilizantes fosfóricos de cálcio. As modificações na tecnologia de fabricação de fertilizantes fosfóricos, como por exemplo a modificação quanto à mistura de sais, e ainda as modificações nas práticas de emprego desses fertilizantes, traz a questão de quão adequadamente o método AOAC, atualmente utilizado, caracteriza a disponibilidade de P dos fertilizantes fosfatados atuais.

Pelo exposto, coloca-se em dúvida a eficiência da avaliação agrônômica dos fertilizantes fosfatados através do citrato neutro de amônio, considerando-se as características dos produtos atuais. O problema é intensificado na medida em que rochas fosfóricas com maior grau de impureza começam a ser mais utilizadas na fabricação de fosfatos acidulados. Alguns compostos de Fe e Al formados são solúveis em CNA e,

assim, são considerados como disponíveis às plantas, enquanto outros são insolúveis e presumivelmente não disponíveis (GILKES & LIM-NUNEZ, 1980).

SIKORA et al. (1989) comentam que, com a elevação dos níveis de impurezas nos fertilizantes fosfatados, a determinação através do método AOAC pode não ser adequada para avaliar a disponibilidade de P às plantas, e que, em futuro próximo, um método mais eficiente para determinar o P disponível será necessário se os níveis de impurezas tomarem-se altos. MULLINS et al. (1990) e BARTOS et al. (1991) também expressam dúvidas com relação à validade do teste do citrato neutro de amônio para avaliar complexos fosfatados de Fe, Al e Mg insolúveis em água.

Parece evidente que, devido às modificações ocorridas nos fertilizantes e no seu manejo, o método do CNA + água deva ser colocado à prova novamente, caso contrário incoerências poderão estar comprometendo as recomendações de adubação fosfatada. As dúvidas emergentes tem estimulado trabalhos sobre o tema. Estes, normalmente, são realizados concomitantemente com a avaliação das frações solúveis apenas em CNA, assunto a ser abordado no item seguinte desta revisão.

GILKES & MANGANO (1983) não encontraram altas correlações entre o crescimento de plantas e o teor de fósforo solúvel em CNA + H₂O em frações solúveis apenas em CNA de fosfatos acidulados australianos.

Motivados pelos trabalhos de GILKES & LIM-NUNEZ (1980) e de GILKES & MANGANO (1983) sobre a fração insolúvel de fosfatos acidulados australianos, e preocupados com o problema da escassez de rochas “premium-grade” nos EUA, vários pesquisadores norte-americanos tem realizado estudos para avaliar a fração solúvel apenas em CNA dos fosfatos acidulados produzidos em seu país. Direta ou indiretamente, esses estudos indicaram evidências da ineficiência do extrator CNA + H₂O em avaliar a disponibilidade de P da fração solúvel apenas em CNA para as plantas estudadas (BARTOS et al., 1991; MULLINS et al., 1990).

O fato de a CCE exigir que os fertilizantes fosfatados tenham 93% do teor solúvel em CNA necessariamente solúvel em água (EEC, 1976) incentivou a realização

de uma pesquisa (MULLINS et al., 1995), uma vez que em trabalho prévio foi constatado que a maioria dos superfosfatos triplos produzidos a partir de rochas fosfóricas dos EUA continham menos de 93% de P_2O_5 solúvel em água na fração solúvel em CNA (MULLINS, 1988). Os resultados do estudo revelaram que o teor de P solúvel em água dos fosfatos avaliados não necessitaria ser de 93% do teor solúvel em CNA, conforme postulado pela CCE. Também BARTOS et al. (1992) já haviam encontrado resultado semelhante.

Os resultados experimentais obtidos através de estudos realizados com fosfatos de outros países, os quais tinham por objetivo verificar a eficiência do método AOAC, colocam em dúvida o método também para as condições brasileiras e, principalmente, para a avaliação da disponibilidade de P das frações solúveis apenas em CNA, ou mesmo de fosfatos ricos em impurezas.

2.3. Eficiência da fração solúvel apenas em citrato neutro de amônio em fornecer P às plantas

Conforme discutido no item anterior, o aumento da quantidade de impurezas nas rochas fosfatadas resulta em aumento da fração insolúvel em água, porém solúvel em CNA, de fertilizantes fosfatados acidulados (ROBINSON, 1980 ; MULLINS 1988; HAMMOND et al., 1989; BARTOS et al., 1992). Esse aumento é, portanto, uma realidade que deve ser melhor entendida no que diz respeito à sua importância agronômica, através da avaliação destes novos fosfatos acidulados produzidos e, em especial, da fração solúvel em CNA (LEHR, 1980).

Muitos dos trabalhos realizados para avaliar a fração insolúvel em água, porém solúvel em citrato neutro de amônio, de fertilizantes fosfatados produzidos a partir de matéria prima de menor qualidade, permitiram avaliar também a eficiência do extrator citrato neutro de amônio, uma vez que os dois assuntos são intimamente relacionados.

Assim, muitos dos trabalhos citados no item anterior contém informações sobre este novo tema a ser tratado.

O livro “The role of phosphorus in agriculture” (KHASAWNEH et al., 1980), em vários de seus capítulos (CATHCART, 1980; Mc CLELLAN & GREMILLION, 1980; LEHR, 1980; ROBINSON, 1980) deu grande ênfase ao assunto. O problema começava a preocupar e existia um alerta para a necessidade de pesquisas com os novos fosfatos. Destaca-se o comentário de LEHR (1980) de que, “a tolerância para a mudança na composição do superfosfato triplo em função do seu conteúdo de fosfatos de Fe e Al insolúveis em água, e em relação à sua performance agrônômica, ainda não foi estabelecida”. O autor vai ainda mais longe quando comenta que os questionamentos tem implicações importantes na continuidade do superfosfato triplo como referência na avaliação de fertilizantes fosfatados, quando se admite que todo o fósforo que contém está na forma de fosfato monocálcico, e isto pode não ser verdade.

No início dos anos oitenta, na Austrália, o problema da baixa pureza das rochas fosfáticas ganhou impulso. Os trabalhos surgiram devido à grande preocupação com o esgotamento das reservas das ilhas de Kiribati e Nauru no Oceano Pacífico, as quais constituíam-se na matéria prima básica para a fabricação de fertilizantes fosfatados para a agricultura do país (PALMER & JESSOP, 1982). GILKES & LIM-NUNEZ (1980) verificaram que dois compostos de Fe e Al, que normalmente ocorrem em superfosfatos australianos, foram menos eficientes que o fosfato monocálcico como fontes de P. PALMER & JESSOP (1982) concluíram que fontes menos solúveis de P não substituem adequadamente o fósforo solúvel em água de superfosfatos. Os autores chegam a afirmar ainda que, economicamente, seria melhor aplicar uma quantidade reduzida de superfosfato com alto teor de P solúvel em água, ao invés de maiores quantidades de fosfatos de menor solubilidade.

De forma análoga, GILKES & MANGANO (1983), em trabalho realizado com trigo em casa de vegetação, concluíram que compostos insolúveis em água contidos nos fertilizantes MAP e DAP tiveram eficiência de 35% a 60% no fornecimento de P, em relação ao fosfato monocálcico. No segundo cultivo de trigo, os rendimentos obtidos

com esses compostos insolúveis em água foram, normalmente, menores que o valor residual do fosfato monocalcico (10-20%). Os compostos predominantes na fração insolúvel em água eram fosfatos amorfos de Fe e Al.

No final dos anos oitenta e início dos noventa, vários autores se dedicaram ao estudo específico da fração solúvel em citrato neutro de amônio, nos EUA. Tais estudos foram motivados pela preocupação em relação à modificação no processo industrial de fabricação dos fosfatos acidulados, e parecem ter sido incentivados, ainda, pelos trabalhos australianos, uma vez que estes são citados com frequência pelos autores americanos.

MULLINS (1988) verificou não existir diferenças significativas entre sete superfosfatos, quanto à produção de matéria seca e quantidade de P acumulado por plantas de sorgo 28 e 56 dias após o plantio. Seis dos superfosfatos utilizados eram originários de rochas dos EUA e um de rocha do Marrocos e continham teores de P solúvel em água variando de 77% a 92% do P total e teores de P solúvel apenas em CNA variando de 7% a 20% do P total. O autor concluiu que o nível de P solúvel em água que seria necessário para diminuir a performance dos fertilizantes seria menor que os níveis encontrados em superfosfatos comerciais americanos. Não houve diferença, ainda, entre a eficiência das fontes citadas e o padrão, o fosfato monocalcico p.a.

MULLINS & SIKORA (1990) conduziram por dois anos um experimento com milho com o intuito de avaliar a eficiência de nove fosfatos monoamônicos produzidos a partir de rochas localizadas nos estados da Flórida, Idaho e Carolina do Norte, e que apresentavam composições químicas distintas (81% a 100% do P solúvel em CNA eram solúveis em água); como padrão, foi utilizado o fosfato monocalcico p.a.. Os autores verificaram que a concentração de P na matéria seca produzida pelas plantas foi afetada pela fonte de MAP em um dos solos estudados (Hartsells) no ano de 1988. A produção de matéria seca foi diferente entre as fontes aplicadas no solo Norfolk em 1987 e no solo Hartsells em 1988. Os dados demonstraram, portanto, haver diferenças entre as fontes, porém, não evidenciaram relação entre a performance dos fertilizantes e o percentual solúvel em água ou o conteúdo de elementos metálicos presentes.

SIKORA et al. (1989) verificaram não haver diferença na produção de matéria seca e P absorvido por sorgo entre três fosfatos monoamônicos (MAP) comerciais, obtidos de diferentes unidades produtoras nos EUA, e o fosfato monoamônico p.a., porém, a fração insolúvel em água dos fosfatos comerciais foi menos eficiente que com o MAP p.a..

MULLINS & EVANS (1990) não encontraram diferença significativa entre a produção de batata cultivada por três anos em duas localidades distintas quando adubada com diferentes fontes de superfosfato triplo produzidas a partir de rochas da Flórida, Carolina do Norte e Marrocos, nas quais 81% a 94% do fósforo solúvel em CNA eram solúveis em água. Os autores verificaram que o conteúdo de P solúvel em água era inversamente proporcional ao conteúdo de Fe e Al nos fertilizantes.

MULLINS et al. (1990), avaliando em casa de vegetação a disponibilidade de P de resíduos insolúveis em água de cinco superfosfatos triplos comerciais, encontraram que tais resíduos eram uma fonte melhor de P que o reagente fosfato dicálcico p.a., porém, tal fração era menos eficiente que o fosfato monocálcico p.a.. Os resultados do estudo evidenciam, segundo os autores, que a disponibilidade de fósforo da fração solúvel apenas em CNA do superfosfato triplo é dependente da fonte, e que o P desta fração não é tão disponível quanto o P do fosfato monocálcico puro.

A fração insolúvel em água de sete fosfatos monoamônicos comerciais, produzidos a partir de rochas fosfóricas provenientes da Flórida, Carolina do Norte e Idaho, propiciaram menor produção de matéria seca e absorção de P por plantas de sorgo do que o fosfato monocálcico p.a.. Esses parâmetros vegetais foram dependentes da fonte da fração solúvel apenas em CNA (BARTOS et al., 1991). Os autores verificaram que, dependendo da fonte, as frações insolúveis em água foram capazes de propiciar produções equivalentes a 26% a 75% daquelas obtidas com o fosfato monocálcico p.a.

BARTOS et al. (1992) prepararam e testaram misturas em diferentes proporções (0, 20, 40, 60, 80 e 100% do P total), da fração solúvel em água do MAP p.a. com a fração insolúvel em água de cinco fertilizantes MAP comerciais em quatro

cultivos sucessivos de sorgo. A produção de matéria seca e a absorção de fósforo foram afetadas pela quantidade da fração solúvel em água e pela fonte de fertilizante fosfatado. Enquanto 50% do P solúvel em água foram suficientes para algumas fontes, outras necessitaram de 68%, demonstrando assim que a composição da fração insolúvel em água é relevante para a disponibilidade de P. Como a solubilidade em água dos materiais originais variava de 86% a 97% do P total, os autores concluíram que nenhum dos fertilizantes deve ter seu desempenho afetado pelos teores atuais de P insolúvel em água.

Com o objetivo de determinar o nível de P solúvel em água necessário no superfosfato triplo para maximizar a absorção do P aplicado a solos pouco ácidos, MULLINS et al. (1995) realizaram estudo semelhante ao de BARTOS et al. (1992). Os autores verificaram que os superfosfatos triplo exigiram de 52% a 66% de P solúvel em água para produzirem 90% da matéria seca proporcionada quando foi utilizada uma fonte 100% solúvel em água (fosfato monocálcico p.a.). Para que houvesse a mesma quantidade de P absorvido foram necessários de 41% a 51% de P solúvel em água em comparação com a mesma fonte.

Os resultados obtidos nos trabalhos citados evidenciam que, de forma geral, a eficiência da fração solúvel apenas em CNA é inferior à da fração solúvel em H₂O e depende da fonte. Porém, alguns trabalhos tem mostrado que a fração insolúvel em água, porém solúvel em CNA, pode ser tão eficiente quanto a solúvel em H₂O. SINDEN (1990), por exemplo, observou que o multifosfato magnesiano, que é apenas parcialmente solúvel em água, porém solúvel em CNA, pode ser tão eficiente quanto o superfosfato simples para milho e soja cultivados em solos ácidos com alta capacidade de fixação de P.

A aparente contradição quanto à eficiência da fração insolúvel em água deve estar relacionada às características químicas e mineralógicas dos componentes que a constitui; devido a isso, vários autores não se limitam a verificar a eficiência da fração insolúvel em água e, assim, discutem os fatores que influem na disponibilidade do fósforo de tais frações. SIKORA et al. (1989) comentam que, se a natureza dos compostos e seus

graus de cristalinidade e produtos de solubilidade forem conhecidos, um modelo válido de predição da disponibilidade de P da fração insolúvel em água poderia ser obtido.

No que diz respeito ao tipo de composto envolvido, a tentativa, normalmente, é de se avaliar as espécies químicas presentes nas frações insolúveis em água e relacioná-las com a disponibilidade de P às plantas. HASEMAN et al. (1951) e SMITH & BROWN (1959) já discutiam o assunto apontando que o $(\text{Fe,Al})_3(\text{K,H})\text{H}_8(\text{PO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ poderia ser um dos compostos cristalinos presentes em superfosfatos. Posteriormente, LEHR et al. (1966) sugeriram o $(\text{Fe,Al})_3(\text{K,H}_{14})(\text{PO}_4)_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ e FRAZIER & LEHR (1967) o $\text{Ca}(\text{Al,Fe})\text{H}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

TAYLOR et al. (1960) verificaram que o fosfato férrico $[\text{H}_4\text{CaFe}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$, a taranaquita de potássio $(\text{H}_6\text{K}_3\text{Al}_5(\text{PO}_4)_8 \cdot 18\text{H}_2\text{O})$, o fosfato coloidal de alumínio e o fosfato coloidal de ferro foram boas fontes de P. Já o fosfato ácido de ferro e potássio $[\text{H}_3\text{KFe}_3(\text{PO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ foi uma fonte pouco eficiente, assim como leucofosfatos de Fe e Al preparados sinteticamente. No Brasil, FERNANDES (1988), também obteve uma boa eficiência da taranaquita de potássio em fornecer fósforo para plantas de milho.

Muitos fosfatos de Fe e Al que podem ocorrer em fertilizantes foram descritos por pesquisadores da Nova Zelândia (WHITE, 1976) e dos EUA (LEHR et al., 1967). DILLARD et al. (1982) identificaram, através de caracterizações químicas detalhadas das fases líquidas e sólidas de 15 amostras de MAP comerciais, um grande número de impurezas.

YADAV & MISTRY (1986) avaliaram a disponibilidade de fósforo para plantas de milho de fontes obtidas de produtos secundários da fabricação de ortofosfatos mono e diamônico e, ainda, de polifosfatos. As espécies estudadas foram $\text{Al}_5(\text{NH}_4)_3\text{H}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (taranaquita amoniacal), $\text{Al}_5\text{K}_3\text{H}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (taranaquita potássica), $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (brushita), $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2(\text{HPO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (CDOP) e $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ formados com os ortofosfatos mono e diamônico (MAP, DAP) e $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Mg}(\text{NH}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (MDP) e $\text{Mg}(\text{NH}_4)_6(\text{P}_2\text{O}_7)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ formados

com o pirofosfato triamônico. A eficiência geral dos produtos testados foi a seguinte: $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (brushita) > $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (CDP) > $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ > $\text{Mg}(\text{NH}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ > $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2(\text{HPO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ > $\text{Mg}(\text{NH}_4)_6(\text{P}_2\text{O}_7)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ > $\text{Al}_5\text{K}_3\text{H}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (taranaquita potássica) > $\text{Al}_5(\text{NH}_4)_3\text{H}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (taranaquita amoniacal).

No trabalho de SIKORA et al. (1989) as espécies $\text{MgAl}(\text{NH}_4)_2\text{H}(\text{PO}_4)_2\text{F}_2$, $\text{AlNH}_4\text{HPO}_4\text{F}_2$, $\text{FeNH}_4(\text{HPO}_4)_2$, MgNH_4PO_4 , e CaHPO_4 foram identificadas como compostos de fósforo insolúveis em água em três amostras de MAP de diferentes unidades produtoras dos EUA, sendo que se obteve uma correlação negativa significativa entre o percentual de fósforo presente como $\text{MgAl}(\text{NH}_4)_2\text{H}(\text{PO}_4)_2\text{F}_2$ e a disponibilidade do elemento.

BARTOS et al. (1991) comenta que os compostos identificados em superfosfatos e fertilizantes fosfatados amoniados da Austrália e Nova Zelândia (GILKES & LIM-NUNEZ, 1980; GILKES & MANGANO, 1983; WHITE, 1976) são similares aos identificados em fertilizantes fosfatados dos EUA (SIKORA et al., 1989).

Como já apontado anteriormente, a disponibilidade do P da fração insolúvel em água dos fertilizantes fosfatados não depende simplesmente da natureza da espécie química presente na fração, mas também, do grau de cristalinidade dos seus compostos. Os compostos amorfos parecem ter boa disponibilidade às plantas, enquanto formas cristalinas menos solúveis não se tornariam disponíveis. A natureza cristalina dos compostos da fração insolúvel em água do fosfato monoamônico produzido em Idaho foi considerada pelos autores como uma das causas da baixa disponibilidade do P desse fertilizante, verificada em seu experimento (SIKORA et al., 1989).

DILLARD et al. (1986) verificou que os compostos $\text{AlNH}_4(\text{HPO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ e $\text{FeNH}_4(\text{HPO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ amorfos tem solubilidade total em citrato neutro de amônio, enquanto formas cristalinas destes compostos tiveram solubilidade de apenas 33% e 46% do fósforo total solúvel em citrato neutro de amônio.

Com relação ao produto de solubilidade, existem dados disponíveis para compostos fosfatados formados nas soluções muito concentradas ao redor dos grânulos de fertilizantes (SAMPLE et al., 1980), mas produtos de solubilidade para a maioria dos compostos impuros identificados em fosfatos monoamônicos não eram encontrados na literatura. Assim, SIKORA et al. (1992), utilizando as atividades de elementos individuais calculadas através do programa de especiação química MINEQL, determinaram o produto aparente de solubilidade (K^0_{sp}) dos compostos impuros de P. Os valores encontrados foram válidos no sentido de comparar a solubilidade de certas impurezas com a de compostos de solubilidade conhecida. Desta forma, para um valor de pH em água igual a 6,0, a ordem geral decrescente da solubilidade de P nos diferentes compostos foi *struvita* > *brushita* > *monetita* > $MgAl(NH_4)_2(PO_4)_2F_2 = AlNH_4HPO_4F_2$ > $FeNH_4(HPO_4)_2$ >> $FePO_{4(C)}$ > *variscita* $\cong$ *strengita*. No solo, os compostos impuros de P tem uma solubilidade bem maior que as da *variscita*, *strengita*, *monetite*, e *brushita*, entre pH 5,5 e 7,0. Assim, as impurezas não devem permanecer intactas no solo por períodos longos de tempo. Dos três compostos estudados, o $MgAl(NH_4)_2(PO_4)_2F_2$ parece ser a menos desejável devido à baixa solubilidade calculada no solo. Estes resultados estão de acordo com a correlação negativa encontrada entre a quantidade de $MgAl(NH_4)_2(PO_4)_2F_2$ na fração insolúvel em água de fertilizantes fosfatados e a disponibilidade de P desta fração (SIKORA, 1989).

Através dos resultados obtidos nesse trabalho, os autores concluem que os compostos impuros não devem ser vistos como produtos completamente indesejáveis em fertilizantes fosfatados. O fósforo presente nesses compostos pode não ser imediatamente solúvel, porém, os dados de solubilidade predizem que eles devem se dissolver em tempo de liberar fósforo para as plantas ou formar compostos menos solúveis. Se isto realmente ocorrer, estaria caracterizado um elevado efeito residual para tais produtos.

Embora os trabalhos realizados com a fração solúvel apenas em CNA geralmente concluam que a eficiência das frações insolúveis em água seja menor que a da solúvel em água, ou mesmo do fosfato monocálcico p.a., boa parte deles enfatiza, principalmente os realizados nos EUA, que o problema não é sério, uma vez que os

fosfatos produzidos no país ainda possuem baixos níveis da fração insolúvel em água. Todos enfatizam, entretanto, que o problema tende a se agravar com a utilização de rochas fosfóricas menos puras (MULLINS et al., 1990 ; BARTOS et al., 1991; BARTOS et al., 1992; MULLINS et al., 1995).

2.4. Manejo de fertilizantes fosfatados acidulados

Devido à baixa solubilidade dos compostos de fósforo formados no solo, e também ao fenômeno da adsorção específica, os fertilizantes fosfatados normalmente tem baixa eficiência. Isso explica porque o fósforo, geralmente menos absorvido que o nitrogênio e o potássio, seja aplicado em quantidades maiores que as destes macronutrientes primários.

Vários são os fatores que condicionam o sucesso da fertilização com fósforo, sendo que a forma de aplicação tem papel destacado no processo. Segundo RAIJ (1991), GOEDERT & SOUZA (1984) e LOPES & GUIMARÃES (1992), a situação é muito distinta entre os fosfatos considerados solúveis e aqueles insolúveis em H₂O ou mesmo insolúveis em CNA + água. No caso dos fertilizantes solúveis, sabe-se que logo após a aplicação o fósforo pode ser rapidamente adsorvido pelo solo ou transformado em compostos de menor solubilidade através de reações de precipitação. A intensidade dessas reações é diretamente proporcional ao volume de solo com o qual o adubo reage (GOEDERT & SOUZA, 1984) e o nível de P do solo.

TISDALE et al. (1985) comentam que, se um fertilizante fosfatado finamente moído for exposto a uma grande superfície de contato, então a fixação deverá ser maior do que se a mesma quantidade tivesse sido aplicada em faixas ou de forma localizada. A aplicação localizada reduz a superfície de contato entre o solo e o fertilizante com conseqüente redução na quantidade de P fixada. A granulação do fertilizante fosfatado tende a ter um efeito semelhante. A aplicação localizada geralmente

aumenta a utilização do P dos fertilizantes fosfatados solúveis em água. Para materiais fosfóricos insolúveis em água, contudo, a utilização do P pela planta parece ser maior quando aplicado em mistura com o solo do que de forma localizada. O assunto é tratado ainda por RAIJ (1991) e GOEDERT & SOUZA (1984), os quais confirmam os comentários acima.

A localização do fertilizante fosfatado no sulco aumenta a quantidade de fósforo aplicado por volume de solo na região adubada mas reduz a proporção das raízes da planta que poderiam absorver esse nutriente. Por outro lado, a aplicação a lanço seguida de incorporação na camada arável resulta em maior contato com o solo mas propicia maior volume de solo para as raízes das plantas absorverem nutrientes e água, o que implica, dependendo da dose de fósforo aplicada e condição climática, em maiores produtividades quando comparada a adubações em sulco (GOEDERT & SOUZA, 1984). Isto pode perfeitamente explicar a diferença de comportamento de fertilizantes quanto à questão de localização e solubilidade. Um ponto fundamental neste caso seria a dose aplicada. Caso esta seja baixa, os fenômenos de perda de fósforo provavelmente não permitirão quantidades suficientes de P em solução, enquanto em doses mais elevadas poderá sobrar P suficiente em solução para a cultura.

Assim, WELCH et al. (1966) verificaram que em solos pobres em P as aplicações no sulco foram mais eficientes que as feitas a lanço até a dose de 100 kg de P_2O_5 /ha, enquanto em solos com teores altos de P os métodos de aplicação foram equivalentes. KOCHLHANN et al. (1982) verificaram que aplicações na linha de plantio só foram mais eficientes que a realizada a lanço quando as doses foram pequenas.

Vários outros trabalhos são encontrados na literatura sobre localização de fosfatos. HUNDAL et al. (1980), por exemplo, demonstrou, em experimento de campo com trigo, que todos os fertilizantes utilizados contendo mais de 30% de seu fósforo na forma solúvel em água mostraram maior eficiência quando aplicados em sulco do que em área total, porém, o inverso foi verdadeiro para as fontes de P com baixo conteúdo de P solúvel em água. CHAUDHARRY & PRIHAR (1974) com milho, ALESSI & POWER (1980) com trigo, HANSON (1978) com soja e SOLUBLO et al. (1978) com tomate,

demonstraram haver aumentos de rendimento com a aplicação de fosfatos solúveis em linha. ANGHINONI & BARBER (1980) e YOST et al. (1979) demonstraram que a quantidade de P absorvido pelo milho aumentou à medida que o fertilizante fosfatado era misturado com proporção cada vez menor da terra do vaso.

Dados obtidos por RAIJ & CARMELLO ⁽¹⁾, citado por RAIJ (1991), demonstram que o hiperfosfato (fosfato natural de Gafsa, de alta reatividade), quando incorporado em volume total de terra, conferiu produção 4,4 vezes maior do que quando misturado na mesma dose em 1% do volume total de terra. SOUZA (1980) demonstrou o aumento na absorção de fósforo por plantas de milho com o aumento gradativo do diâmetro médio dos grânulos de superfosfato triplo, enquanto BARRETO (1977) verificou o oposto para o fosfato de Gafsa aplicado à cultura do trigo.

Se as melhores formas de aplicação de fosfatos contendo alto teor de P solúvel em água e de fosfatos naturais estão relativamente bem estabelecidas, o mesmo não se pode dizer para os fosfatos acidulados com baixo percentual de P solúvel em água, assim como para a fração solúvel apenas em CNA dos fertilizantes citados.

Nos trabalhos realizados com a finalidade de avaliar a eficiência desses materiais, a aplicação geralmente tem sido feita na forma granulada e de modo localizado, como se recomenda para os fertilizantes solúveis, porém, diante das peculiaridades desses fosfatos, essa talvez não seja a melhor forma de aplicação.

Outro aspecto importante que deve ser considerado na avaliação dos fosfatos diz respeito ao seu efeito residual. Segundo GOEDERT & SOUZA (1984), o estudo do efeito residual consiste de avaliações da eficiência de uma única dose de fósforo ou de uma série de aplicações deste nutriente ao solo no decorrer do tempo. Assim, é sempre interessante considerar este aspecto quando se estuda a eficiência de fertilizantes fosfatados, pois o conhecimento prévio do mesmo será de grande valia para cálculos econômicos na prática da recomendação do elemento fósforo.

⁽¹⁾ Raij, B. van & Carmello, Q.A.C. Dados não publicados

Sabe-se que os fertilizantes fosfatados solúveis têm, normalmente, maior eficiência inicial, e que esta vai diminuindo ao longo dos cultivos. Já os fertilizantes menos solúveis tem eficiência inicial baixa, mas pode aumentar ao longo do tempo. Obviamente, esta é uma regra geral e que dependerá de como o fertilizante será manejado, das características do solo (pH, principalmente), da dose e da fonte de P.

Quanto ao método de aplicação de fósforo, tem-se observado que a longo prazo o efeito residual parece ser similar independentemente de como o adubo foi aplicado, já que com os cultivos sucessivos tende a ocorrer a homogeneização da camada arável (GOEDERT & SOUZA, 1984).

No que diz respeito aos fosfatos acidulados produzidos a partir de rochas de menor qualidade (“nonpremium-grade ou marginal-grade”), apenas alguns trabalhos têm contemplado a questão do efeito residual. GILKES & MANGANO (1983) verificaram que no segundo cultivo de trigo, a eficiência no fornecimento de fósforo de compostos insolúveis em água de fertilizantes MAP e DAP foi de apenas 10-20% da eficiência residual do fosfato monocálcico p.a.

No trabalho de BARTOS et al. (1992), já citado no item 2.3., as misturas de frações solúveis em água do MAP p.a. e da fração insolúvel em água de cinco fertilizantes MAP comerciais foram comparadas computando-se o efeito de quatro cultivos sucessivos de sorgo. MULLINS et al. (1995) também fizeram o mesmo em estudo semelhante, só que empregaram o superfosfato triplo. Apesar disso, vários pesquisadores tem se limitado a avaliar o comportamento destes fosfatos acidulados quando aplicados em um único plantio.

Para os fertilizantes fosfatados, sempre que possível, os estudos devem enfatizar a questão do efeito residual. Essa recomendação também deve ser aplicada aos estudos da eficiência dos fertilizantes fosfatados acidulados produzidos a partir de rochas com alta concentração de metais catiônicos ditos impuros.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Escolha do solo utilizado nos experimentos

Com a intenção de escolher um solo da região de Piracicaba, SP, que apresentasse elevada resposta à aplicação de fósforo, foi realizado um ensaio preliminar com plantas de milho (*Zea mays*, L.) em casa de vegetação, utilizando-se amostras da camada de 0-20 cm de três latossolos, um Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), textura média, um Latossolo Vermelho Escuro (LE), argiloso, e um Latossolo Roxo (LR), distrófico. Os teores de fósforo desses solos, determinados pelo método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 1983a), foram de 3 mg dm^{-3} (teor muito baixo) para o LV, 12 mg dm^{-3} (teor baixo) para o LE e 14 mg dm^{-3} (teor baixo) para o LR.

Logo após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira de 2 mm e incubadas em duplicata por trinta dias com quantidades de calcário calculadas para atingir 70% da saturação por bases, segundo método proposto por RAIJ et al. (1983b). Em seguida, metade das parcelas recebeu aplicação de 150 mg kg^{-1} de P na forma de superfosfato triplo, misturado com o volume total de terra no vaso, enquanto a seguinte adubação básica foi aplicada em todas as parcelas: 1,0 g de uréia (45% de N); 0,9 g de cloreto de potássio (60% de K_2O); 3,1 g de sulfato de magnésio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) e solução com mistura de micronutrientes. Duas plantas de milho cv.

Piranão foram cultivadas em cada vaso de 2 kg de terra por 35 dias, durante os quais foram providenciadas condições adequadas ao desenvolvimento das plantas.

Os resultados evidenciaram que os aumentos de produção de matéria seca proporcionados pela aplicação de fósforo foram de 10,25; 3,75 e 4,8 vezes, respectivamente, para os solos LV, LE e LR.

3.2. Solo

Face aos resultados obtidos no ensaio preliminar (item 3.1.), foram utilizadas amostras de terra secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm do Latossolo Vermelho-Amarelo. Esse solo apresentou as seguintes características: pH em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ = 4,3; M.O. = 19 g kg⁻¹; P = 2 mg dm⁻³; K = 0,7 mmol_c dm⁻³; Ca = 30,0 mmol_c dm⁻³; Mg = 6,0 mmol_c dm⁻³; Al = 3,0 mmol_c dm⁻³; H+Al = 52,0 mmol_c dm⁻³; SB (soma de bases) = 36,7 mmol_c dm⁻³; T (capacidade de troca de cátions) = 88,7 mmol_c dm⁻³; V = 41%. Os métodos utilizados foram os descritos em RAIJ et al. (1983a). O S-SO₄²⁻ foi determinado pela extração com NH₄OAc 0,5 mol L⁻¹ em HOAc 0,25 mol L⁻¹ segundo método descrito por VITTI (1989), e revelou teor de 13,4 mg dm⁻³. A análise de micronutrientes e sódio apresentou resultados finais de Cu = 0,70 mg dm⁻³; Zn = 1,7 mg dm⁻³; Mn = 40,0 mg dm⁻³; Fe = 88,0 mg dm⁻³ e Na = 20,7 mg dm⁻³, todos determinados através de extração pela solução de Mehlich (H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹), e ainda, B = 0,34 mg dm⁻³, determinado por extração com água quente (BERGER & TRUOG, 1939). A análise granulométrica (BOUYOUCOS, 1927, modificado) apresentou os seguintes resultados: 310 g kg⁻¹ de argila, 7 g kg⁻¹ de silte, 13 g kg⁻¹ de areia grossa e 49 g kg⁻¹ de areia fina.

3.3. Fosfatos

Foram utilizadas amostras de quatorze fosfatos, sendo dez fosfatos produzidos por via ácida, ou úmida, dois constituíam-se em fosfatos naturais e dois eram termofosfatos. Os fosfatos acidulados FA1, FA2, FA3 e FA4 foram preparados em Araxá, MG, a partir da reação de diferentes matérias-primas com ácido sulfúrico na proporção usualmente utilizada para obtenção do superfosfato simples. As matérias primas utilizadas foram: GCA= concentrado apatítico grosso, com aproximadamente 85% de apatita; FCA= concentrado apatítico fino, com aproximadamente 70% de apatita; RCA= concentrado apatítico refltável, com aproximadamente 65% de apatita; FN= fosfato natural, com aproximadamente 50% de apatita. Os demais fosfatos utilizados constituíram-se produtos comerciais.

Todos os fosfatos foram analisados em relação aos seus teores de P_2O_5 total, P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio + água (CNA + H_2O), P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2% na relação fertilizante : extrator de 1:100 e P_2O_5 solúvel em água (Tabela 1); foram utilizados os métodos oficiais descritos em BRASIL (1983). O percentual de P_2O_5 solúvel em água dentro da fração solúvel em CNA + H_2O de cada fosfato acidulado foi calculado, tendo recebido o nome de “parâmetro” fi (Tabela 1). Os fosfatos foram, ainda, analisados segundo os teores de Fe_2O_3 e Al_2O_3 através de digestão com ácido clorídrico e quantificação em espectrofotômetro de absorção atômica (Tabela 2).

Como padrão foi utilizado o fosfato monocálcico p.a. $[Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O]$ e não o superfosfato triplo, pois, conforme afirma LEHR (1980), este pode não ser constituído somente por fosfato monocálcico em sua fração solúvel em CNA.

Tabela 1. Teores de P_2O_5 total, P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O , P_2O_5 solúvel em água, P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2% (A.C.) ⁽¹⁾, e % de fração solúvel em água em relação ao solúvel em CNA + H_2O (fi) ⁽²⁾, das fontes de P utilizadas

Fonte de fósforo	P ₂ O ₅				fi
	Total	solúvel em CNA + H ₂ O	solúvel em H ₂ O	solúvel em A.C.	
	-----%-----				
FA1	21,11	21,19	16,63	17,47	78,5
FA2	18,54	18,36	10,54	12,60	57,4
FA3	20,04	16,92	7,57	11,24	44,7
FA4	16,80	12,16	1,56	5,16	12,8
MFM	19,32	18,31	6,21	16,71	33,9
01-18-00	21,18	19,38	12,93	15,60	66,7
SSIMPLES	20,75	19,43	12,80	15,15	65,9
FNPA	19,71	11,35	4,67	9,06	41,1
STRIPLO	47,31	45,69	38,58	42,95	84,4
FDEIND	47,87	46,50	37,67	43,33	81,0
TF	18,68	6,24	0,25	17,00	0,04
FMAR	31,06	29,57	0,01	1,87	0,00
FCN	29,88	3,76	0,01	10,70	0,00
FGAFSA	30,27	2,99	0,01	10,80	0,00
FM	55,78	55,32	54,27	54,56	98,0

⁽¹⁾ determinações de P_2O_5 segundo BRASIL (1983)

⁽²⁾ Fonte de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico refloatável (RCA) e fosfato natural (FN); MFM= multi fosfato magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSIMPLES= superfosfato simples; FNPA= fosfato natural parcialmente acidulado; STRIPLO= superfosfato triplo; FDEIND= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do maranhão; FCN= fosfato natural do Carolina do Norte; FGAFSA= fosfato natural de Gafsa; FM= fosfato monocalcico p.a.

⁽³⁾ fi= (solúvel em água/solúvel em CNA + água) 100

Tabela 2. Teores de Fe_2O_3 total, Al_2O_3 total e R_2O_3 total das fontes de fósforo utilizadas

Fonte de fósforo ⁽¹⁾	Fe_2O_3 total	Al_2O_3 total	R_2O_3 total ⁽²⁾
	%		
FA1	1,89	0,43	2,32
FA2	3,93	0,44	4,37
FA3	4,52	0,95	5,47
FA4	12,45	1,23	13,68
MFM	2,32	0,16	2,48
01-18-00	2,88	0,15	3,03
SSIMPLES	3,09	0,16	3,25
FNPA	1,42	1,10	2,52
STRIPLO	1,84	1,12	2,96
FDEIND	1,76	1,14	2,90
TF	7,22	1,14	8,36
FMAR	9,54	31,42	40,96
FCN	0,53	0,20	0,73
FGAFSA	0,11	0,22	0,33

⁽¹⁾ Fonte de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico refltável (RCA) e fosfato natural (FN); MFM= multi fosfato magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSIMPLES= superfosfato simples; FNPA= fosfato natural parcialmente acidulado; STRIPLO= superfosfato triplo; FDEIND= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do maranhão; FCN= fosfato natural do Carolina do Norte; FGAFSA= fosfato natural de Gafsa.

⁽²⁾ $\text{R}_2\text{O}_3 = \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ total} + \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ total}$

3.4. Experimentos

O estudo constou de seis experimentos realizados em casa de vegetação sob delineamento inteiramente casualizado e com número de repetições variando de duas a quatro. Do total de experimentos, três foram realizados com os fosfatos preparados em laboratório (sem doses, com doses e efeito residual daquele com doses) e três com fosfatos comerciais (três cultivos: o original e dois para efeito residual).

3.4.1. Experimentos envolvendo a avaliação da disponibilidade do fósforo da fração solúvel em citrato neutro de amônio e insolúvel em água de fosfatos acidulados experimentais

3.4.1.1. Experimento I

a) Tratamentos

Este experimento constou de tratamentos em arranjo fatorial envolvendo quatro fosfatos acidulados (FA1, FA2, FA3 e FA4), dois modos de preparo dessas fontes (original e lavado) e dois modos de aplicação (em volume total de terra no vaso e em 1% do volume). Foram incluídos tratamentos adicionais envolvendo a aplicação de fosfato monocálcico p.a., considerado como fonte de fósforo padrão, nos dois modos de aplicação utilizados para os demais fosfatos. O número de repetições foi igual a quatro e o total de parcelas 72.

Os modos de preparo compreenderam a aplicação dos fosfatos na forma original e na forma lavada, isto é, tratado para eliminação do fósforo solúvel em água,

restando da fração solúvel em CNA + H₂O praticamente apenas a fração solúvel em CNA. O método utilizado para a lavagem (adaptado de BARTOS et al., 1992) consistiu em agitar, em agitador circular horizontal, quatro porções de 25 gramas de cada um dos fósforos acidulados com 250 ml de água destilada e desionizada por 1 hora. A seguir o material foi filtrado em funil de buchner com o auxílio de vácuo, novamente lavado com duas porções de 65 ml de água destilada e desionizada, e então, molhado ligeiramente com acetona. Logo após a lavagem, o material restante foi analisado em seus teores de fósforo solúvel em água e fósforo solúvel em CNA + H₂O (Tabela 3).

Quanto aos modos de aplicação, os fósforos foram misturados com toda a terra do vaso ou com porção correspondente a apenas 1% do seu volume (forma localizada), a qual era localizada no centro da superfície de 1,5 kg de terra previamente colocada no vaso e, após, coberta com o restante da terra.

As quantidades das fontes de fósforo, lavadas ou não, foram calculadas de acordo com seus teores de fósforo solúvel em CNA + água, visando o fornecimento de 50 mg kg⁻¹ de P.

Tabela 3. Teores de P₂O₅ solúvel em CNA + H₂O e solúvel em H₂O, encontrados nos fósforos acidulados após lavagem com água.

Fonte de fósforo ⁽¹⁾	-----P ₂ O ₅ -----	
	solúvel em CNA + H ₂ O	solúvel em H ₂ O
FA1	7,58	0,50
FA2	10,81	1,26
FA3	12,16	0,74
FA4	11,85	0,60

⁽¹⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3, FA4= fósforos acidulados produzidos a partir de concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico refloatável (RCA) e fósforo natural (FN).

b) Instalação, condução e obtenção dos resultados

Para corrigir a acidez das amostras do LV, porções de 2 kg eram homogeneizadas com calcário dolomítico (PRNT= 101; CaO= 32,5% ; MgO= 18,1% ; RE= 98,3%), em quantidade calculada para atingir 70% da saturação por bases (RAIJ et al., 1983b) e incubadas no próprio vaso por trinta dias, período suficiente para elevar o pH em CaCl_2 a 5,4. Após os trinta dias foi feita adubação básica aplicando-se 100, 250, 5, 10, 10, 10, 5 e 1 mg kg^{-1} , respectivamente de N (KNO_3 e uréia), K (KNO_3), B (ácido bórico), Fe (sulfato de ferro heptahidratado), Mn (sulfato de manganês tetra hidratado), Zn (sulfato de zinco heptahidratado), Cu (sulfato de cobre pentahidratado) e Mo (molibdato de sódio dihidratado), todos em mistura com o volume total de terra do vaso.

A quantidade de água adicionada aos vasos foi de 340 ml, equivalente a 100% da quantidade determinada pelo método do torrão separado pela frente de molhamento (TSFM) proposto por COSTA (1983). A massa final do vaso era anotada e mantida aproximadamente constante através de adições de água até vinte dias da emergência, após o que as adições foram realizadas baseando-se no secamento da superfície da terra no vaso.

Em cada vaso foram plantadas oito sementes de milho híbrido simples ICI-8568, deixando-se posteriormente quatro plantas por vaso.

Realizaram-se duas adubações de cobertura. A primeira, feita aproximadamente duas semanas após a emergência das plântulas, constou da aplicação de 100 e 50 mg kg^{-1} , respectivamente, de N e S nas formas de uréia e sulfato de amônio em solução. A segunda foi realizada aproximadamente quatro semanas após a emergência das plântulas, aplicando-se 150 mg kg^{-1} de N na forma de uréia em solução.

Decorridos 35 dias da germinação, as plantas foram cortadas rente à terra, acondicionadas em saco de papel, secas em estufa, pesadas e passadas em moinho tipo Willey. Amostras eram submetidas à digestão nitro-perclórica para determinação do teor de fósforo utilizando-se o método colorimétrico do metavanadato, descrito por

MALAVOLTA et al. (1989). A partir desses resultados foi calculada a quantidade total de fósforo acumulado pela parte aérea.

Após o cultivo do milho amostras de terra foram coletadas do centro de cada vaso, na profundidade de 0-15 cm, secadas e submetidas à determinação do fósforo extraído pela resina (P-resina), de acordo com RAIJ et al. (1983a).

c) Análise estatística dos resultados

Os resultados de produção de matéria seca e quantidade de fósforo acumulado na parte aérea das plantas foram submetidos à análise de variância utilizando-se dois esquemas fatoriais distintos. No primeiro, considerou-se o efeito dos quatro fosfatos acidulados, dos dois modos de preparo (original e lavado) e dos dois modos de aplicação (localizado ou não), resultando um fatorial 4x2x2. Neste esquema, o fosfato monocálcico p.a. não foi incluído porque não poderia sofrer lavagem, já que 98% do seu fósforo solúvel em CNA+H₂O são solúveis em água; contudo esse procedimento permitiu avaliar o efeito do preparo das fontes de fósforo.

No segundo esquema fatorial incluiu-se o fosfato monocálcico como fonte de fósforo e consideraram-se os superfosfatos lavados e não lavados como níveis do fator “fosfato”, resultando um fatorial 9x2; este esquema não permitiu avaliar o efeito do preparo das fontes, mas possibilitou compará-las com o padrão fosfato monocálcico p.a.

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os teores de P-resina das amostras de terra foram submetidos ao mesmo procedimento estatístico descrito para as variáveis matéria seca e P acumulado.

3.4.1.2. Experimento II

Os resultados obtidos com o Experimento I motivaram a montagem de um novo experimento onde se pudesse constatar, além do efeito dos fatores já citados, o efeito de doses. Este experimento constou, portanto, dos mesmos fatores utilizados no Experimento I (fontes de fosfato, modos de preparo e modos de aplicação) acrescidos do fator doses (0, 50 e 100 mg kg⁻¹ de P). Para o fosfato monocálcico p.a. as doses foram de 0, 25, 50, 100, 200 e 400 mg kg⁻¹ de P. Os tratamentos foram instalados em duplicata.

Em cada vaso foram plantadas oito sementes de milho cv. Piranão, deixando-se posteriormente três plantas por vaso. Os demais procedimentos utilizados na instalação, condução e obtenção dos resultados foram os mesmos adotados no Experimento I.

Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando-se os dois esquemas fatoriais já descritos para o Experimento I com a inclusão dos três níveis do fator doses. Assim, o primeiro esquema envolveu quatro fosfatos, dois modos de preparo, dois modos de aplicação e três doses (fatorial 4x2x2x3) e o segundo nove fosfatos, dois modos de aplicação e três doses (fatorial 9x2x3).

Equações de regressão foram obtidas para cada situação de modo de preparo e de aplicação para os quatro fosfatos acidulados estudados, e ainda para o fosfato monocálcico p.a.. Utilizando-se um procedimento de maximização de funções foram calculados os pontos de máxima de cada uma das equações de segundo grau, que representaram as doses com as quais seriam obtidas as maiores respostas a aplicação de fósforo.

3.4.1.3. Experimento III

Este experimento consistiu na avaliação do efeito residual dos fosfatos utilizados no Experimento II.

Após a colheita do Experimento II as amostras de terra secas foram deixadas em repouso pelo período de 60 dias, sendo em seguida retiradas dos vasos, revolvidas para simular as operações de aração e gradagem, e retomadas aos vasos. Durante o revolvimento, uma nova adubação básica foi efetuada aplicando-se N, K, S, Fe, Mn, Cu, Zn e Mo.

Os demais procedimentos utilizados neste experimento foram iguais aos adotados no Experimento II.

3.4.2. Experimentos envolvendo a avaliação da disponibilidade do fósforo da fração solúvel em citrato neutro de amônio e insolúvel em água de fosfatos comerciais

3.4.2.1. Experimento IV

Neste experimento procurou-se comparar fertilizantes fosfatados comerciais (acidulados e não acidulados), e as respectivas frações solúveis somente em CNA dos fosfatos acidulados. Foram avaliadas onze fontes de fósforo (seis fosfatos acidulados, dois termofosfatos, dois fosfatos naturais de alta reatividade e o padrão, o fosfato monocálcico p.a.), dois modos de preparo dos fosfatos acidulados (original e lavado) e dois modos de aplicação das fontes (mistura com o volume total de terra e com

1% do volume), em três repetições. Os fosfatos foram aplicados na dose de 70 mg kg^{-1} de P, baseando-se no teor de P_2O_5 solúvel em $\text{CNA} + \text{H}_2\text{O}$ para os acidulados e no teor de P_2O_5 total para os não acidulados.

Os fosfatos acidulados comerciais testados foram: multi fosfato magnesiano (MFM), superfosfato simples amoniado (01-18-00), superfosfato simples (SSIMPLES), fosfato natural parcialmente acidulado (FNPA), superfosfato triplo (STRIPLO) e o fosfato Deind (FDEIND). Os termofosfatos foram o magnesiano (TF) e o fosfato do Maranhão (FMAR) e os fosfatos de alta reatividade o da Carolina do Norte (FCN) e de Gafsa (FGAFSA).

O procedimento para lavagem das fontes aciduladas foi o mesmo adotado no Experimento I, com exceção de que neste caso houve necessidade de uma segunda lavagem para alguns dos fosfatos acidulados (MFM, STRIPLO e FDEIND) com o intuito de diminuir ainda mais o teor de P_2O_5 solúvel em H_2O . Os dados obtidos para as determinações de P_2O_5 solúvel em $\text{CNA} + \text{H}_2\text{O}$ e solúvel em H_2O após a primeira e a segunda lavagens encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 4 e 5.

Os procedimentos utilizados na instalação, condução e obtenção dos resultados foram os mesmos adotados no Experimento II.

A exemplo do que ocorreu no Experimento I, amostras de terra foram coletadas após a colheita do milho para a determinação do fósforo extraído pela resina (P-resina), de acordo com RAIJ et al. (1983a).

A análise estatística foi, também a exemplo do que ocorreu nos outros experimentos, realizada considerando-se dois esquemas fatoriais, um excluindo o padrão, o fosfato monocálcico p.a., e os fosfatos não acidulados (fatorial $6 \times 2 \times 2$), e outro, desconsiderando-se o modo de preparo, porém, considerando-se o padrão e os fosfatos não acidulados (fatorial 17×2).

Tabela 4. Teores de P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O e solúvel em H_2O após a primeira lavagem para eliminação do P_2O_5 solúvel em H_2O dos fosfatos acidulados utilizados no experimento IV

Fonte de fósforo ⁽¹⁾	P_2O_5	
	solúvel em CNA + H_2O	solúvel em H_2O
	%	
MFM	18,88	2,75
01-18-00	10,00	0,60
SSIMPLES	10,15	0,55
FNPA	7,91	0,30
STRIPLO	23,83	3,1
FDEIND	24,63	2,87

⁽¹⁾ Fosfatos: MFM= multi fosfato magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSIMPLES= superfosfato simples; FNPA= fosfato natural parcialmente acidulado; STRIPLO= superfosfato triplo; FDEIND= superfosfato triplo da Flórida.

3.4.2.2. Experimento V

Este experimento constou da avaliação do efeito residual dos fosfatos utilizados no Experimento IV. Após a colheita do milho desse experimento as amostras de terra secas foram deixadas em repouso pelo período de 60 dias, quando então foram retiradas dos vasos, revolvidas e retornadas ao recipiente original. Durante o revolvimento foi feita nova adubação básica com N, K, S, Fe, Mn, Cu, Zn e Mo. Os demais procedimentos foram iguais aos descritos para o Experimento IV.

Tabela 5. Teores de P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O e solúvel em H_2O após a segunda lavagem para eliminação do P_2O_5 solúvel em H_2O de alguns fosfatos acidulados utilizados no Experimento IV

Fonte de fósforo ⁽¹⁾	P_2O_5	
	solúvel em CNA + H_2O	solúvel em H_2O
	%	
MFM	16,27	1,30
STRIPLO	24,37	0,90
FDEIND	25,48	1,15

⁽¹⁾ Fontes de fósforo: MFM= multi fosfato magnesiano; STRIPLO= superfosfato triplo; FDEIND= superfosfato triplo da Flórida

3.4.2.3. Experimento VI

Este experimento constou da segunda avaliação do efeito residual dos fosfatos utilizados no Experimento IV. O procedimento adotado foi igual ao do Experimento V.

Após o cultivo do milho amostras de terra foram coletadas para a determinação do fósforo extraído pela resina (P-resina).

3.4.2.4. Quantidade total de P acumulado pelas plantas nos experimentos IV, V e VI

As quantidades de P acumulado na parte aérea das plantas de cada parcela nos três cultivos foram somadas (P total acumulado) e submetidas à análise estatística tal como descrito no Experimento IV. A porcentagem de recuperação de P foi calculada para algumas das fontes utilizadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características gerais das fontes de fósforo utilizadas nos experimentos I, II e III e efeitos da lavagem

A análise dos resultados da Tabela 1 mostra que os fosfatos acidulados utilizados no experimento I, obtidos a partir das diferentes matérias-primas (GCA, FCA, RCA e FN), apresentam acentuadas diferenças entre si quanto ao teor das formas de fósforo estudadas. Observa-se claramente que, com a diminuição da quantidade de apatita na matéria-prima (GCA>FCA>RCA>FN), e, conseqüentemente, com o aumento no teor de impurezas, houve diminuição dos teores de P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O , de P_2O_5 solúvel em água e de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2% nos fosfatos acidulados obtidos (FA1, FA2, FA3 e FA4).

A relação percentual entre o P_2O_5 solúvel em água e o P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O (parâmetro fi) também diminuiu nitidamente com a redução da quantidade de apatita ou aumento das impurezas no material, chegando a apenas 12,8% no fosfato acidulado produzido a partir do FN; em outras palavras, apenas 12,8% da fração solúvel em CNA + H_2O eram solúveis em água. Fica, portanto, caracterizado que para os materiais fosfáticos estudados, a presença de impurezas altera apreciavelmente os teores das diferentes frações de fósforo que caracterizam o produto (P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O e P_2O_5 solúvel em H_2O).

Para o presente estudo essas diferenças eram fundamentais, uma vez que se pretendia verificar a eficiência agronômica de fosfatos acidulados contendo teores distintos da fração de fósforo solúvel apenas em CNA.

No que diz respeito ao fosfato monocálcico p.a., praticamente todo (99,2%) o P_2O_5 total é solúvel em CNA + H_2O , fração esta que, por sua vez, é praticamente toda (98%) solúvel em água. Confirma-se, assim, a ótima qualidade deste material como fonte de fósforo padrão.

A partir da Tabela 2, de teores de Fe_2O_3 total, Al_2O_3 total e R_2O_3 total, obtidos para os diferentes fosfatos acidulados produzidos, pode-se visualizar o que já se havia comentado, ou seja que os teores de impurezas aumentam para os materiais com menor parâmetro fi. Assim, pode-se inferir que estas impurezas devem ser as responsáveis pela diminuição da solubilidade em água dos respectivos fosfatos acidulados, o que aliás é bastante comentado na literatura (LEHR, 1966; LEHR, 1968; WHITE, 1976; FRAZIER & LEHR, 1967; GILKES & LIM-NUNEZ, 1980; LEHR, 1980; ROBINSON, 1980; DILLARD & FRAZIER, 1983; GILKES & MANGANO, 1983; HAMMOND et al., 1989).

O fato de os teores de impurezas dos fosfatos estudados aumentar na sequência FA1 < FA2 < FA3 < FA4 está de acordo com os respectivos conteúdos de apatita dos materiais utilizados em sua fabricação, ou seja 85%, 70%, 65% e 50%.

Os baixos teores de P_2O_5 solúvel em água encontrados nos fosfatos acidulados lavados confirmam a eficiência do método proposto para lavagem (Tabela 3), o que foi fundamental para a avaliação da fração solúvel apenas em CNA dos fosfatos testados. O fato de a lavagem não ter sido completa encontra apoio em MULLINS (1988), SIKORA et al. (1992), MULLINS et al. (1990) e, BARTOS et al. (1991), os quais também encontraram fosfato solúvel em água nos materiais já lavados. Estes resultados podem ser considerados normais pois, além de o método não extrair todo o P_2O_5 solúvel em água, parte do fósforo dos compostos ditos insolúveis em água acaba sempre se solubilizando quando em meio aquoso.

4.2. Características gerais das fontes de fósforo utilizadas nos experimentos IV, V e VI e efeitos da lavagem

Os fosfatos utilizados nestes experimentos foram selecionados de forma a apresentar variações nas solubilidades em $\text{CNA} + \text{H}_2\text{O}$ mais amplas que os estudados nos experimentos anteriores. Dos dez fosfatos utilizados, seis eram fontes obtidas através de acidulação (MFM, 01-18-00, SSIMPLES, FNPA, STRIPLO e FDEIND), dois eram fosfatos naturais (FCN e FGAFSA) e dois se tratavam de fosfatos obtidos por via térmica (TF e FMAR).

Para os fosfatos acidulados, como não teria sentido comparar os teores solúveis em $\text{CNA} + \text{H}_2\text{O}$ e solúvel em água isoladamente, pois cada fosfato apresenta um processo de fabricação distinto, e já faz parte de sua natureza apresentar teores diferenciados das frações citadas, a relação percentual entre o P_2O_5 solúvel em água dentro da fração solúvel em $\text{CNA} + \text{H}_2\text{O}$ (parâmetro fi) foi o fator discutido. Observa-se que a variação no parâmetro fi é bastante ampla, com valor mínimo de 33,9 para o MFM até o máximo de 84,4 para o STRIPLO (Tabela 1).

Os dados confirmam a ampla diferença de grandeza entre os valores de fi dos fosfatos acidulados, como um todo, para os fosfatos não acidulados, o que era esperado, uma vez que os fosfatos não acidulados possuem baixos teores de P_2O_5 solúvel em água.

Os teores de Fe_2O_3 nos fosfatos variaram de 0,11% no FGAFSA a 9,54% no FMAR e os de Al_2O_3 de 0,15% no 01-18-00 a 31,42% no FMAR (Tabela 2). Na somatória de Fe_2O_3 e Al_2O_3 (R_2O_3) destacam-se o FMAR e TF com os percentuais mais elevados, respectivamente 40,96% e 8,36%. Entre os fosfatos acidulados não houve grande variação nos teores de R_2O_3 (2,48% no MFM a 3,25% no SSIMPLES), porém o teor de Fe_2O_3 mostrou variação de 1,42% a 3,09%, respectivamente para o FNPA e SSIMPES, e Al_2O_3 de 0,15% a 1,14%, respectivamente para o 01-18-00 e FDEIND.

Observa-se pela Tabela 4 que embora os teores de P solúvel em água tivessem diminuído bastante com o processo de lavagem (55,7% para o MFM, 95,4% para o 01-18-00, 95,7% para o SSIMPLES, 93,6% para o FNPA, 92,0% para o STRIPLO e 92,4% para o FDEIND) alguns fosfatos, notadamente o MFM, STRIPLO e FDEIND, ainda apresentavam teores de P_2O_5 solúvel em água superiores aos obtidos em outros estudos (MULLINS et al., 1990; SIKORA et al., 1992; BARTOS et al., 1991), ou aos dos fosfatos utilizados nos experimentos I e II. Assim, decidiu-se por uma segunda lavagem destes três fosfatos, cujos resultados encontram-se na Tabela 5.

Os resultados evidenciam uma diminuição do teor solúvel em água para os três fosfatos (52,7% para o MFM, 71,0% para o STRIPLO e 59,9% para o FDEIND), quando da segunda lavagem. Assim, o experimento IV e, conseqüentemente, os experimentos V e VI, os quais se constituíram da avaliação do efeito residual dos fosfatos aplicados no IV, foram realizados mediante o emprego das frações lavadas por uma única vez para os fosfatos 01-18-00, SSIMPLES e FNPA, e por duas vezes para os fosfatos MFM, STRIPLO e FDEIND.

4.3. Experimentos envolvendo a avaliação da disponibilidade do fósforo da fração solúvel em citrato neutro de amônio e insolúvel em água de fosfatos acidulados experimentais

4.3.1. Experimento I

Este experimento constou da avaliação de cinco fontes de fósforo (quatro fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, e do fosfato monocálcico p.a.) em dois modos de preparo dos fosfatos acidulados (original e lavado) e dois modos de aplicação (incorporado no volume total de terra no vaso e em 1% do volume).

4.3.1.1. Produção de matéria seca

A Tabela 6 contém os valores de F e coeficientes de variação para a variável matéria seca, considerando-se os fatores: 4 fosfatos acidulados, 2 modos de preparo dos fosfatos (original e lavado) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1% do volume). Houve efeito significativo dos três fatores sobre a produção de matéria seca, assim como também da interação tripla.

O efeito do preparo dos fosfatos acidulados sobre a produção de matéria seca fica evidente para o FA1, FA2 e FA3 nos dois modos de aplicação, com vantagem sempre do original sobre o lavado (Tabela 7). Isto torna claro que a fração solúvel apenas em CNA destes materiais não têm a mesma eficiência em fornecer P às plantas de milho que a fração solúvel em CNA + H₂O. Para o FA4 não houve efeito do preparo porque, como o seu conteúdo de P₂O₅ solúvel em água é baixo (apenas 1,56% ou 12,8% do P₂O₅ solúvel em CNA + H₂O, Tabela 1) a produção de matéria seca foi estabelecida basicamente pela fração solúvel em CNA, pouco alterada pela lavagem.

A menor eficiência da fração solúvel apenas em CNA em relação à fração solúvel em CNA + H₂O já havia sido observada por diversos autores (PALMER & JESSOP, 1982; GILKES & MANGANO, 1983; SIKORA et al., 1989; MULLINS et al., 1990; BARTOS et al., 1991), os quais verificaram que fontes menos solúveis de P não substituem adequadamente o fósforo solúvel em água de fertilizantes fosfatados.

Com relação ao modo de aplicação observa-se que o efeito sobre a produção de matéria seca variou com o modo de preparo: para os fosfatos originais, excetuando-se o caso do FA4, os melhores resultados foram obtidos com a incorporação dos fosfatos de forma localizada (1% do volume total de terra no vaso), enquanto para os lavados houve diferença significativa apenas para o FA1 e com vantagem para a incorporação em volume total de terra no vaso. Isso era de se esperar, uma vez que é reconhecido o fato de que a eficiência de fosfatos acidulados solúveis em CNA + H₂O é maior quando aplicados de forma localizada, enquanto fosfatos pouco solúveis dão

Tabela 6. Valores de F e coeficientes de variação (C.V.) para as variáveis matéria seca, fósforo acumulado e teor de P-resina referentes ao experimento I considerando-se os fatores: 4 fosfatos acidulados, 2 modos de preparo dos fosfatos (original e lavado) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1% do volume)

Causa de variação	G.L.	Matéria seca	P acumulado	Teor P-resina
Valor de F ⁽¹⁾				
Fosfatos (F)	3	34,08**	19,16**	1,31
Preparo (P)	1	402,69**	221,91**	16,54**
Aplicação (A)	1	57,53**	1,74	230,37**
F x P	3	71,62**	42,71**	4,40**
F x A	3	11,39**	3,57*	1,18
P x A	1	101,76**	32,81**	22,11**
F x P x A	3	24,15**	11,55**	3,86*
CV (%)				
		9,0	12,5	31,6

⁽¹⁾ ** e *, valores significativos a 1 e 5 %, respectivamente.

melhores resultados quando aplicados a lanço e incorporados à terra (GOEDERT & SOUZA, 1984; RAIJ, 1991). A novidade, porém, é que a fração solúvel apenas em CNA parece ter comportamento semelhante à dos fosfatos pouco solúveis e não à dos solúveis, como poderia se supor.

A maior eficiência do FA4 original, obtida com incorporação em volume total de terra, ocorreu em função do baixo teor de P₂O₅ solúvel em água do material. Assim, muito embora trate-se de um fosfato acidulado seu comportamento foi diferente

Tabela 7. Efeito do modo de preparo e de aplicação de 50 mg kg⁻¹ de P de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições) ⁽¹⁾

Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de Preparo ⁽³⁾	Modo de aplicação ⁽⁴⁾	
		Volume total	1% Volume
-----g/vaso-----			
FA1	original	11,4Ba	17,1Aa
	lavado	7,5Ab	5,4Bb
FA2	original	9,0Ba	14,0Aa
	lavado	6,5Ab	6,0Ab
FA3	original	8,5Ba	13,5Aa
	lavado	7,3Ab	7,6Ab
FA4	original	7,9Aa	6,7Ba
	lavado	7,5Aa	7,8Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna dentro de cada fosfato e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico reflatável (RCA) e fosfato natural (FN).

⁽³⁾ Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

⁽⁴⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

do daqueles com menor índice de impurezas. Portanto, não basta que o material seja acidulado para que sua eficiência seja elevada e possa ser aplicado de forma localizada. Os dados demonstram que o fosfato acidulado deve ser analisado com relação ao percentual solúvel em água e às impurezas presentes, para só depois se definir a melhor forma de aplicação.

A comparação de médias para os fosfatos (Tabela 8) evidencia que os mesmos tiveram eficiências distintas nas diferentes situações de modo de preparo e de aplicação. Quando aplicados na forma original, o fosfato fabricado a partir do GCA, (que possui o maior valor para o parâmetro fi) foi o melhor nos dois modos de aplicação. Já o fabricado a partir do FN (menor índice fi) foi o de menor eficiência no modo de aplicação localizado. Para os fosfatos lavados a tendência é de inversão da situação na incorporação localizada, com vantagem para os fosfatos com maior índice de impurezas; demonstra-se, assim, que a eficiência da fração solúvel apenas em CNA destes fosfatos é maior que a dos produtos mais puros.

Resultado semelhante foi encontrado por MULLINS et al. (1990), os quais, medindo a eficiência da fração solúvel apenas em CNA de cinco superfosfatos triplos comerciais, verificaram que a disponibilidade de P era dependente da fonte. No caso deste experimento, além desse fato também ter ocorrido, houve diferenças entre os fosfatos na forma original. Isto ocorreu provavelmente devido ao maior percentual de P_2O_5 insolúvel em água dentro da fração solúvel em CNA + H_2O dos materiais utilizados neste estudo. O fato preocupa por demonstrar que os fosfatos testados são mais problemáticos que os fabricados em outros países.

Uma vez que as quantidades aplicadas dos fosfatos foram calculadas a partir do teor solúvel em CNA + H_2O , era de se esperar resultados semelhantes independentemente da fonte de P utilizada. A acentuada variação na produção de matéria seca por plantas de milho (de 5,4 a 17,1 gramas) colocam em dúvida a eficiência do extrator, sendo que o mesmo parece não ser adequado para a avaliação da disponibilidade de fósforo de materiais com quantidades de impurezas elevadas. Os dados confirmam,

Tabela 8. Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas), aplicados na dose de 50 mg kg⁻¹ de P em diferentes modos de preparo e de aplicação na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições) ⁽¹⁾

Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de Preparo ⁽³⁾	
	Original	Lavado
-----g/vaso-----		
	<u>Volume total⁽⁴⁾</u>	
FA1	11,4a	7,5a
FA2	9,0b	6,5a
FA3	8,5b	7,3a
FA4	7,9b	7,5a
	<u>1% Volume</u>	
FA1	17,1a	5,4b
FA2	14,0b	6,0b
FA3	13,5b	7,6a
FA4	6,7c	7,8a

(1) Médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro de cada modo de aplicação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

(2) Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico refloatável (RCA) e FN= fosfato natural.

(3) Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

(4) Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

portanto, as suposições de Terman et al. (1964), Sikora et al. (1989), Mullins et al. (1990), Bartos et al. (1991) e Mullins et al. (1995), de que para esses materiais o CNA + H₂O não seria o extrator ideal. Gilkes & Mangano (1983), Bartos et al. (1991) e Mullins et al. (1989) também obtiveram resultados divergentes para a produtividade de culturas distintas adubadas com fosfatos contendo quantidades de impurezas diferentes, em doses calculadas pelo teor solúvel em CNA + H₂O.

Para a análise de variância em que se incluiu o fosfato monocálcico e se considerou os fertilizantes originais e lavados como um único fator, houve efeito altamente significativo dos fosfatos, dos modos de aplicação e da interação dupla (Tabela 9).

Em termos de produção de matéria seca, o FM p.a. não diferiu do FA1, FA2, FA3 e FA4 para a aplicação em volume total, mas superou todos os fosfatos lavados (Tabela 10). Para a aplicação localizada, o FM p.a. superou todos os fosfatos, sem exceção. Esse comportamento do FM p.a. deve-se ao alto valor do parâmetro fi do material (Tabela 1).

A menor eficiência da fração solúvel apenas em CNA em relação ao fosfato monocálcico p.a. também foi evidenciada por vários outros autores no exterior (Gilkes & Lim-Nunez, 1980, Gilkes & Mangano, 1983, Sikora et al., 1989, Mullins et al., 1990 e Bartos et al., 1991), entretanto, nesses trabalhos não foram obtidas diferenças para os fosfatos originais tal como ocorreu no presente estudo para o modo de aplicação localizado.

Outro aspecto a ser comentado é o de que Lehr (1980) parece ter razão ao colocar em dúvida a validade de se utilizar fosfatos acidulados como padrões em estudos de eficiência de fertilizantes fosfatados, já que no presente trabalho esses materiais tiveram desempenhos diferentes entre si e inferiores ao do fosfato monocálcico. Se fossem utilizados como padrão em diferentes experimentos de avaliação da eficiência de fosfatos, os resultados estariam comprometidos. É interessante salientar que todos os estudos realizados para avaliar a eficiência da fração solúvel em CNA têm o fosfato monocálcico p.a. como padrão.

Tabela 9. Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca, fósforo acumulado e teor de P-resina referentes ao experimento I considerando-se os fatores: 9 fontes de fósforo (4 fosfatos acidulados originais, 4 fosfatos acidulados lavados e o fosfato monocálcico p.a.) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1% do volume)

Causa de variação	G.L.	Matéria seca	P acumulado	Teor P-resina
Valor de F ⁽¹⁾				
Fosfatos (F)	8	123,77**	82,71**	4,28**
Aplicação (A)	1	163,60**	41,01**	261,42**
F x A	8	51,37**	34,73**	4,63**
CV (%)				
		9,1	11,9	31,4

⁽¹⁾ ** e *, valores significativos a 1 e 5 %, respectivamente.

4.3.1.2. Quantidade de fósforo acumulado na parte aérea

A análise de variância mostrou efeito significativo de fosfatos e de modos de preparo sobre a quantidade de P acumulado na parte aérea do milho, assim como da interação tripla (Tabela 6); o efeito de modos de aplicação, contudo, não foi significativo.

Os resultados para quantidades de P acumulado nas plantas variaram de modo semelhante aos de produção de matéria seca, tendo o teste de Tukey apontado as mesmas diferenças entre os tratamentos (Tabela 11 e 12). Houve, contudo, melhor

Tabela 10. Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, e de fosfato monocálcico p.a.), aplicados na dose de 50 mg kg⁻¹ de P, e do modo de aplicação, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições) ⁽¹⁾

Fontes de P ⁽²⁾	Modo de aplicação ⁽³⁾	
	Volume total	1% Volume
	-----g/vaso-----	
FA1 original	11,4Ba	17,1A b
FA2 original	9,0Bbc	14,0A c
FA3 original	8,5Bbcd	13,5A c
FA4 original	7,9Abcd	6,7Bde
FA1 lavado	7,5Acd	5,4Be
FA2 lavado	6,5Ad	6,0Ade
FA3 lavado	7,3Acd	7,6Ad
FA4 lavado	7,5Acd	7,8Ad
FM pa	9,7Bab	21,4Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico reflatável (RCA) e fosfato natural (FN), FM p.a.= fosfato monocálcico p.a.; preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

⁽³⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

Tabela 11. Efeito do modo de preparo e de aplicação de 50 mg kg⁻¹ de P de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições) ⁽¹⁾

Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de Preparo ⁽³⁾	Modo de aplicação ⁽⁴⁾	
		Volume total	1% Volume
-----mg/vaso-----			
FA1	original	16,8Ba	22,2Aa
	lavado	10,5Ab	6,3Bb
FA2	original	12,6Ba	17,1Aa
	lavado	8,9Ab	7,2Ab
FA3	original	12,9Ba	16,2Aa
	lavado	9,9Ab	9,6Ab
FA4	original	11,1Aa	8,4Ba
	lavado	10,5Aa	10,1Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna dentro de cada fosfato e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico refltável (RCA) e fosfato natural (FN).

⁽³⁾ Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

⁽⁴⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

Tabela 12. Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas), aplicados na dose de 50 mg kg⁻¹ de P em diferentes modos de preparo e de aplicação na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições) ⁽¹⁾

Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de Preparo ⁽³⁾	
	Original	Lavado
-----mg/vaso-----		
	<u>Volume total</u> ⁽⁴⁾	
FA1	16,8a	10,5a
FA2	12,6b	8,9a
FA3	12,9b	9,9a
FA4	11,1b	10,5a
	<u>1% Volume</u>	
FA1	22,2a	6,3c
FA2	17,1b	7,2bc
FA3	16,2b	9,6ab
FA4	8,4c	10,1a

(1) Médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro de cada modo de aplicação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

(2) Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico reflatável (RCA) e fosfato natural (FN).

(3) Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

(4) Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

separação das médias entre fosfatos lavados e aplicados em 1% do volume total (Tabela 12). Portanto, em termos de P acumulado também houve maior vantagem para os fosfatos com menor quantidade de impurezas, quando aplicados na forma original.

Quando se compararam todos os fosfatos entre si, conforme o esquema fatorial que permitia a inclusão do fosfato monocálcico p.a. (Tabela 9), os resultados foram semelhantes aos obtidos para matéria seca (Tabela 13); a diferença mais importante foi que o padrão (FM p.a.) conferiu menor acúmulo de fósforo nas plantas que o FA1 original no modo de aplicação em volume total de terra no vaso.

As informações obtidas até aqui evidenciam que a aplicação de fosfatos acidulados baseando-se apenas no teor de fósforo solúvel em $\text{CNA} + \text{H}_2\text{O}$ pode dar resultados insatisfatórios, e que os teores da fração solúvel em água e de impurezas como ferro e alumínio são parâmetros que também devem ser considerados para a caracterização desses fosfatos. Como houve interação significativa entre fosfatos, modos de preparo e modos de aplicação, fica evidente também que nem todos os fosfatos acidulados têm melhor desempenho se aplicados de forma localizada; aqueles cujos parâmetros fi são baixos, por exemplo, são mais eficientes se aplicados em área total.

É pertinente comentar que vários autores têm estudado o problema da fração solúvel em CNA sem considerar a importante questão do modo de aplicação; nesses experimentos, as aplicações localizadas dos fosfatos podem estar limitando informações importantes quanto ao manejo destes materiais.

A alternativa apontada por FRAZIER & LEHR (1967) e ANDO & LEHR (1967) de se utilizar rochas marginais com altas concentrações de Mg, Al, Fe e carbonatos solúveis para fabricação de superfosfatos simples, com o intuito de resolver o problema da escassez das rochas consideradas “high-grade”, merece mais atenção, pois os produtos obtidos terão características tais que exigirão métodos de aplicação diferentes dos utilizados para os fosfatos atuais. Assim sendo, a volta ao superfosfato simples colocada em discussão parece não resolver o problema para os materiais estudados.

Tabela 13. Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, e de fosfato monocálcico p.a.), aplicados na dose de 50 mg kg⁻¹ de P, e do modo de aplicação, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições) ⁽¹⁾

Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de aplicação ⁽³⁾	
	Volume total	1% Volume
	-----mg/vaso-----	
FA1 original	16,8Ba	22,2Ab
FA2 original	12,6Bb	17,1Ac
FA3 original	12,9Bb	16,2Ac
FA4 original	11,1Abc	8,4Bde
FA1 lavado	10,5Abc	6,3Be
FA2 lavado	8,9Ac	7,2Ade
FA3 lavado	9,9Abc	9,6Ade
FA4 lavado	10,5Abc	10,1Ad
FM pa	13,0Bb	30,0Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico refloatável (RCA) e fosfato natural (FN), F.M. p.a.= fosfato monocálcico p.a.; preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

⁽³⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

4.3.1.3. Teor de P-resina nas amostras de terra

Apesar do alto coeficiente de variação, provavelmente obtido devido à dificuldade na localização exata do fosfato e amostragem da terra, houve efeito significativo dos modos de preparo e de aplicação, bem como da interação tripla Fosfatos x Modo de preparo x Modo de aplicação, sobre os teores de P-resina em amostras de terra coletadas logo após a colheita do milho (Tabela 6); o efeito dos fosfatos, contudo, não foi significativo.

Para os fosfatos aplicados em volume total de terra no vaso não houve diferenças entre o modo de preparo original e lavado (Tabela 14). Portanto, infere-se que esse fator não deva mais exercer efeito sobre a produção de matéria seca e P acumulado em um próximo cultivo.

Para a aplicação localizada, exceção feita ao FA4, onde não houve diferença significativa, a vantagem foi sempre para os originais em relação aos lavados. Isso evidencia que tais fosfatos originais, quando localizados, deverão ter efeito residual melhor que a fração solúvel apenas em CNA.

Os dados estão em concordância com os resultados obtidos para produção de matéria seca e P acumulado (Tabelas 7 e 11), uma vez que os fosfatos FA1, FA2 e FA3 originais, quando localizados, tiveram melhor eficiência que os lavados; os resultados mostram, ainda, que esse efeito do preparo deve continuar no segundo plantio. Para o FA4 também houve coerência entre os teores de P-resina e os dados de matéria seca e P acumulado, uma vez que em nenhum desses casos houve efeito significativo do modo de preparo. Para a aplicação em volume total de terra os teores de P-resina nas amostras de terra não confirmaram a diferença obtida na produção de matéria seca e P acumulado para os fosfatos FA1, FA2 e FA3. Sugere-se, portanto, que o maior contato do fertilizante com o solo neste modo de aplicação, e consequentemente a maior fixação de fósforo, esteja propiciando o nivelamento dos teores de P-resina após o primeiro cultivo.

Tabela 14. Efeito do modo de preparo e de aplicação de 50 mg kg⁻¹ de P de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, no teor de P-resina de amostras de terra coletadas após a colheita do milho do experimento I, no qual avaliou-se a produção de matéria seca das plantas e P acumulado por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições) ⁽¹⁾

Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de Preparo ⁽³⁾	Modo de aplicação ⁽⁴⁾	
		Volume total	1% Volume
-----mg dm ⁻³ ⁽⁵⁾ -----			
FA1	original	15,3Ba	87,8Aa
	lavado	15,5Ba	41,3Ab
FA2	original	13,5Ba	83,3Aa
	lavado	13,8Ba	36,3Ab
FA3	original	15,0Ba	69,8Aa
	lavado	21,0Ba	45,8Ab
FA4	original	16,0Ba	69,5Aa
	lavado	17,5Ba	76,5Aa

(1) Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna dentro de cada fosfato e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

(2) Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico refflotável (RCA) e fosfato natural (FN).

(3) Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

(4) Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

(5) Extração pelo método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 1983a)

Tabela 15. Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas) aplicados na dose de 50 mg kg⁻¹ de P em diferentes modos de preparo e de aplicação, no teor de P-resina em amostras de terra coletadas após a colheita do milho do experimento I, no qual avaliou-se a produção de matéria seca das plantas e P acumulado por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições) ⁽¹⁾

Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de Preparo ⁽³⁾	
	Original	Lavado
-----mg dm ⁻³ ⁽⁵⁾ -----		
	<u>Volume total⁽⁴⁾</u>	
FA1	15,3a	15,5a
FA2	13,5a	13,8a
FA3	15,0a	21,0a
FA4	16,0a	17,5a
	<u>1% Volume</u>	
FA1	87,5a	41,3b
FA2	83,3a	36,3b
FA3	69,8a	45,8b
FA4	69,5a	76,5a

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro de cada modo de aplicação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA); concentrado apatítico reflatável (RCA) e fosfato natural (FN).

⁽³⁾ Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

⁽⁴⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1 % Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

⁽⁵⁾ Extração pelo método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 1983a)

Com relação ao modo de aplicação, os teores apresentaram-se sempre superiores quando aplicados de forma localizada. Isso era esperado, uma vez que as amostras foram coletadas no centro do vaso, local onde o fosfato foi localizado.

A observação dos dados da Tabela 15 permite prever que os fosfatos terão efeitos residuais similares em um próximo plantio em quase todas as combinações de modos de preparo e de aplicação. A exceção fica, uma vez mais, por conta da fração solúvel em CNA na aplicação localizada, onde seria de se esperar melhor eficiência do FA4 em relação aos demais.

A análise de variância dos resultados incluindo o padrão fosfato monocálcico p.a. mostra efeito significativo de fosfatos, dos modos de aplicação e da interação entre esses fatores (Tabela 9). Não houve diferença entre o FM p.a. e os demais fosfatos quando em incorporação com o volume total de terra no vaso, enquanto na aplicação localizada o padrão superou apenas o fosfato lavado FA2 (Tabela 16).

Pode-se prever, pelos teores de P-resina das amostras de terra coletadas logo após a colheita do milho, que em um segundo cultivo deveriam ocorrer menores variações nos resultados de matéria seca e P acumulado, principalmente, se as terras dos vasos fossem homogeneizadas com a intenção de aproximar-se da situação de campo, onde gradagem e aração promovem tal efeito.

Tabela 16. Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, e de fosfato monocálcico p.a.), aplicados na dose de 50 mg kg^{-1} de P, e do modo de aplicação, no teor de P-resina em amostras de terra coletadas após a colheita do milho do experimento I, no qual avaliou-se a produção de matéria seca das plantas e P acumulado por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições) ⁽¹⁾

Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de aplicação ⁽³⁾	
	Volume total	1% Volume
	-----mg dm ⁻³ ⁽⁴⁾ -----	
FA1 original	15,3Ba	87,5Aa
FA2 original	13,5Ba	83,3Aa
FA3 original	15,0Ba	69,8Aab
FA4 original	16,0Ba	69,5Aab
FA1 lavado	15,5Ba	41,3Abc
FA2 lavado	13,8Ba	36,3Ac
FA3 lavado	21,0Ba	45,8Abc
FA4 lavado	17,5Ba	76,5Aa
FM pa	18,5Ba	70,0Aab

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico reflowável (RCA) e FN= fosfato natural, F.M. p.a.= fosfato monocálcico p.a.; preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P_2O_5 solúvel em água.

⁽³⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

⁽⁴⁾ Extração pelo método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 1983)

4.3.2. Experimento II

Este experimento foi idealizado com o intuito de se avaliar, além dos três fatores do Experimento I (fosfatos, modos de preparo e modos de aplicação), o efeito de três doses (0, 50 e 100 mg kg⁻¹).

4.3.2.1. Produção de matéria seca

Houve efeito significativo dos modos de preparo e dos modos de aplicação sobre a produção de matéria seca, mas não dos fosfatos (Tabela 17); é de se notar, ainda, que a interação quádrupla foi significativa a 1% de probabilidade.

Para a dose 50 mg kg⁻¹, a mesma utilizada no Experimento I, os resultados são similares aos desse estudo, com a diferença que nele houve uma melhor separação de médias pelo teste de Tukey (Tabela 18). Isso talvez seja explicado pelo menor número de repetições utilizadas neste experimento II, o que decorreu da pouca quantidade disponível de algumas das amostras de fosfato.

Pequenas diferenças entre os Experimentos I e II (Tabelas 7 e 18, respectivamente) podem ser atribuídas a diferenças entre as condições experimentais, como temperatura, iluminação, irrigação e híbrido de milho utilizado. As principais delas foram: diferença significativa entre os modos de preparo do FA4 no modo de aplicação localizado no Experimento II, enquanto no Experimento I não houve diferença e FA3 original no Experimento I produziu mais matéria seca quando aplicado de forma localizada, enquanto no II a maior produção ocorreu quando foi misturado com o volume total de terra.

Tabela 17. Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca e fósforo acumulado referentes ao experimento II considerando-se os fatores: 4 fosfatos acidulados, 2 modos de preparo dos fosfatos (original e lavado), 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1% do volume) e 3 doses (0, 50 e 100 mg kg⁻¹)

Causa de variação	G.L.	Matéria seca	P acumulado
Valor de F ⁽¹⁾			
Fosfatos (F)	3	1,84	3,37**
Preparo (P)	1	103,22**	57,23**
Aplicação (A)	1	214,59**	0,31
Dose (D)	2	1148,42**	305,38**
F x P	3	20,87**	2,97*
F x A	3	5,54**	6,29**
F x D	6	2,18	1,89
P x A	1	35,65**	0,26
P x D	2	30,64**	19,95**
A x D	2	65,18**	0,65
F x P x A	3	9,30**	14,62**
F x P x D	6	5,70**	1,20
F x A x D	6	2,33*	1,75
P x A x D	2	12,00**	2,42**
F x P x A x D	6	4,97**	4,50**
CV (%)			
		9,7	15,7

⁽¹⁾ ** e *, valores significativos a 1 e 5 %, respectivamente.

Tabela 18. Efeito do modo de preparo e de aplicação das doses 50 e 100 mg kg⁻¹ de P de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições) ⁽¹⁾

Dose mg kg ⁻¹	Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de Preparo ⁽³⁾	Modo de aplicação ⁽⁴⁾	
			Volume total	1% Volume
			-----g/vaso-----	
50	FA1	Original	22,0Aa	24,2Aa
		Lavado	17,8Ab	12,3Bb
	FA2	Original	20,7Aa	21,1Aa
		Lavado	18,8Aa	11,2Bb
	FA3	Original	21,0Aa	16,2Ba
		Lavado	20,2Aa	12,1Bb
	FA4	Original	22,4Aa	11,7Bb
		Lavado	22,3Aa	15,5Ba
100	FA1	Original	33,1Aa	26,8Ba
		Lavado	25,0Ab	14,8Bb
	FA2	Original	28,1Aa	26,7Aa
		Lavado	26,0Aa	13,6Bb
	FA3	Original	30,3Aa	28,6Aa
		Lavado	31,6Aa	13,0Bb
	FA4	Original	28,5Aa	17,6Ba
		Lavado	28,3Aa	18,7Ba

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna dentro de cada dose e fosfato e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA); concentrado apatítico refloatável (RCA) e fosfato natural (FN).

⁽³⁾ Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

⁽⁴⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

Para a dose 100 mg kg^{-1} o fosfato FA1 incorporado em volume total de terra e os fosfatos FA1, FA2 e FA3 aplicados de forma localizada tiveram maior eficiência quando utilizados na forma original do que quando lavados para eliminação do P_2O_5 solúvel em água. Para as demais situações não houve efeito da lavagem. Isto evidencia que, mesmo em doses maiores de P aplicadas, a tendência é de que a fração solúvel apenas em CNA tenha eficiência menor que a fração solúvel em $\text{CNA} + \text{H}_2\text{O}$, ou seja, apesar de o fósforo ter sido aplicado em maior quantidade, ainda assim é importante a presença de P_2O_5 solúvel em água para que a eficiência do fosfato seja alta. O efeito da lavagem desaparece no fosfato acidulado com fração solúvel em água menor, uma vez que neste material a maior parte do fósforo está na fração solúvel em CNA, seja original ou lavado.

Quanto ao modo de aplicação para a dose 100 mg kg^{-1} , todos os fosfatos lavados tiveram maior eficiência quando incorporados com o volume total de terra no vaso do que quando localizados. Disso depreende-se que a fração solúvel apenas em CNA dos materiais testados tem comportamento idêntico aos dos fosfatos insolúveis, mesmo para doses mais elevadas de P. Para os fosfatos originais a tendência geral também foi de haver maior vantagem da forma não localizada, ao contrário do que ocorreu no Experimento I. Os resultados obtidos para a dose 50 mg kg^{-1} neste Experimento II permitem, entretanto, concluir que a diferença ocorreu em função das especificidades das condições experimentais, uma vez que também nesta dose não houve vantagem para a forma localizada.

Através da Tabela 19, que permite comparar os efeitos dos fosfatos sobre a produção de matéria seca, observa-se que para a dose 100 mg kg^{-1} existe diferença significativa de comportamento dos fosfatos nas diferentes situações de modo de preparo e de aplicação. Por exemplo, para os fosfatos não lavados e incorporados com o volume total de terra, o FA1 foi melhor que o FA2 e FA4, porém, na situação onde se tinha apenas a fração solúvel em CNA o FA1 mostrou-se inferior ao FA4 e FA3. Para a aplicação localizada o desempenho do FA1 foi bom nos dois modos de preparo.

Tabela 19. Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas), aplicados nas doses 50 e 100 mg kg⁻¹ de P em diferentes modos de preparo e de aplicação, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de quatro repetições) ⁽¹⁾

Dose mg kg ⁻¹	Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de Preparo ⁽³⁾	
		Original	Lavado
-----g/vaso-----			
		<u>Volume total⁽⁴⁾</u>	
50	FA1	22,0a	17,8b
	FA2	20,7a	18,8ab
	FA3	21,0a	20,2ab
	FA4	22,4a	22,3a
		<u>1% Volume</u>	
50		24,2a	12,3ab
	FA1	21,1a	11,2b
	FA2	16,2b	12,1ab
	FA3	11,7c	15,5a
	FA4		
		<u>Volume total</u>	
100	FA1	33,1a	25,0b
	FA2	28,1b	26,0b
	FA3	30,3ab	31,6a
	FA4	28,5b	28,3ab
		<u>1% Volume</u>	
100	FA1	26,8a	14,8a
	FA2	26,7a	13,6b
	FA3	28,6a	13,0b
	FA4	17,6b	18,7a

(1) Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna dentro de cada dose e modo de aplicação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

(2) Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (FCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico reflatável (RCA) e fosfato natural (FN).

(3) Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

(4) Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1 % Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

A alta eficiência obtida para o FA4 quando os fosfatos foram lavados e aplicados localizadamente faz supor que a fração solúvel apenas em CNA deste material apresenta o fósforo em formas químicas ou mineralógicas mais disponíveis às plantas do que aquelas presentes nos outros concentrados apatíticos. SIKORA et al. (1989) demonstraram, por exemplo, que a forma química $\text{MgAl}(\text{NH}_4)_2\text{H}(\text{PO}_4)_2\text{F}_2$ apresenta baixa disponibilidade de P às plantas; poder-se-ia supor, então, que o FA4 contivesse menor conteúdo de $\text{MgAl}(\text{NH}_4)_2\text{H}(\text{PO}_4)_2\text{F}_2$ que os demais fosfatos estudados.

Os dados apresentados, e até aqui discutidos para o Experimento II permitem verificar que mesmo na dose 100 mg kg^{-1} ocorreram diferenças entre fosfatos, modos de preparo e de aplicação. Isto tem grande importância no sentido de esclarecer que as diferenças encontradas no Experimento I para 50 mg kg^{-1} de P não se restringiram a essa dose, mas também ocorreram nas doses mais elevadas, muito embora devam ser consideradas as peculiaridades de cada Experimento.

Um dos objetivos do experimento II era o de obter as curvas de resposta para cada um dos fosfatos estudados no experimento I nas diferentes situações de modo de preparo e de aplicação. As equações obtidas encontram-se na Tabela 20.

Foram obtidas equações lineares para as seguintes situações: FA1 no modo de preparo original e modo de aplicação em volume total de terra, FA3 e FA4 no modo de preparo original e modo de aplicação localizado, FA1 e FA3 no modo de preparo lavado e modo de aplicação em volume total de terra e FA1, FA2 e FA3 no modo de preparo lavado e modo de aplicação localizado. Nas demais situações a regressão quadrática foi significativa. Os coeficientes de determinação (r^2) foram altos para todos os casos demonstrando-se, portanto, o bom ajuste das equações propostas.

Utilizando-se um procedimento de maximização de funções, o qual consistiu em igualar a zero a primeira derivada da equação quadrática considerada, foram obtidos os pontos de máxima, os quais representam as doses que propiciariam as maiores produções de matéria seca para cada situação. Estas doses foram 123,3, 150,0 e 102,4 mg kg^{-1} de P, respectivamente para o FA2, FA3 e FA4 no modo de preparo original e

Tabela 20. Equações de regressão polinomial e coeficientes de determinação para produção de matéria seca (y) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo, em função de doses de fósforo (x) provenientes de diferentes fontes, submetidas a dois modos de preparo e de aplicação

Fontes de fósforo ⁽¹⁾	Modo de Preparo ⁽²⁾			
	Original		Lavado	
	equação	r ²	equação	r ²
<u>Volume total ⁽³⁾</u>				
FA1	$y=0,27x+6,8$	0,99	$y=0,19x+6,7$	0,98
FA2	$y=-0,0015x^2+0,37x+6,0$	1,00	$y=-0,0011x^2+0,31x+6,0$	1,00
FA3	$y=-0,0012x^2+0,36x+6,0$	1,00	$y=0,26x+6,4$	1,00
FA4	$y=-0,0021x^2+0,43x+6,0$	1,00	$y=-0,0021x^2+0,43x+6,0$	1,00
<u>1% Volume</u>				
FA1	$y=-0,0031x^2+0,52x+6,0$	1,00	$y=0,09x+6,6$	0,94
FA2	$y=-0,0019x^2+0,40x+6,0$	1,00	$y=0,08x+6,4$	0,96
FA3	$y=0,23x+5,6$	1,00	$y=0,07x+6,8$	0,84
FA4	$y=0,12x+5,9$	1,00	$y=-0,0013+0,26x+6,0$	1,00

⁽¹⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico reflatável (RCA) e fosfato natural (FN).

⁽²⁾ Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

⁽³⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1 % Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

modo de aplicação em volume total de terra, 83,9 e 105,3 mg kg⁻¹ de P, respectivamente para o FA1 e FA2 no modo de preparo original e modo de aplicação localizado, 140,9 e 102,4 mg kg⁻¹ de P, respectivamente para o FA2 e FA4 no modo de preparo lavado e de aplicação em volume total de terra e 100,00 mg kg⁻¹ de P para o FA4 no modo de preparo original e de aplicação localizado.

Sabendo-se que para as equações lineares as doses que propiciariam as maiores respostas estão além da mais alta empregada no estudo (100 mg kg⁻¹ de P) e observando-se que para a grande maioria das equações quadráticas obtidas os pontos de máxima estão além de 100 mg kg⁻¹ de P é possível afirmar que respostas em produção de matéria seca ocorreriam com doses mais altas do que as empregadas neste estudo. O fato do FA1 no modo de preparo original e modo de aplicação localizado e FA4 no modo de preparo lavado e modo de aplicação localizado terem pontos de máxima dentro do intervalo de doses estudado (respectivamente 83,9 e 100 mg kg⁻¹ de P) mostra que para estes produtos, nas situações específicas em que foram utilizados, doses maiores aplicadas seriam ineficazes.

A tendência geral de resposta à aplicação de doses superiores a 100 mg kg⁻¹ de P é confirmada pelas curvas de resposta para o fosfato monocálcico p.a., as quais mostraram ter havido aumento na produção de matéria seca de milho a doses de até 400 mg kg⁻¹ de P (Figuras 1 e 2).

Na prática, as doses empregadas nos experimentos de avaliação da eficiência de diferentes fosfatos tem sido calculadas com base no teor de fósforo solúvel em CNA + H₂O, fração considerada disponível. Os dados obtidos, contudo, demonstram necessidade de maior precaução nas situações onde boa parte do P₂O₅ solúvel em CNA + H₂O não é solúvel em H₂O. Os dados confirmam, portanto, o que já havia sido discutido no Experimento I.

Figura 1. Produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em volume total da terra do vaso

Figura 2. Produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em 1% do volume total da terra do vaso

A análise de variância incluindo o fosfato monocálcico p.a. e excluindo o modo de preparo como causa de variação mostrou efeito significativo dos fosfatos, dos modos de aplicação, das doses e da interação tripla entre esses fatores sobre a produção de matéria seca (Tabela 21). Observa-se pela Tabela 22 que o padrão teve eficiência superior à maioria dos fosfatos, exceto quando aplicado na dose 50 mg kg^{-1} em volume total; neste caso, aparentemente, a quantidade de P foi limitante para obtenção de diferenças mais marcantes nas condições deste experimento.

Pode-se observar a maior eficiência do fosfato monocálcico, quando aplicado de forma localizada, em ambas as doses. Essa informação é importante na medida em que confirma, novamente, que o fosfato solúvel deve ser localizado. O fato de os outros fosfatos, mesmo os mais solúveis em água, terem tido resultados melhores quando incorporados com o volume total de terra no vaso deve ter ocorrido devido às condições ambientais deste experimento e ao híbrido utilizado, fatos já comentados.

As equações de regressão obtidas para o fosfato monocálcico foram, respectivamente, $y = 0,32 x + 6,9$ para incorporação em volume total de terra no vaso e $y = - 0,0003 x^2 + 0,66 x + 6,0$ para aplicação em 1% do volume total.

4.3.2.2. Quantidade de P acumulada na parte aérea

A análise de variância não revelou efeito significativo dos modos de aplicação sobre a quantidade de P acumulado na parte aérea do milho, mas evidenciou efeito dos fosfatos, dos modos de preparo, das doses e da interação quádrupla (Tabela 17).

Observa-se na Tabela 23 que, para a dose de 50 mg kg^{-1} houve diferença significativa para preparo dos fosfatos nos seguintes casos: FA1 e FA4 na aplicação em volume total de terra no vaso e FA2 na aplicação localizada, enquanto para a dose de

Tabela 21. Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca e fósforo acumulado referentes ao experimento II considerando-se os fatores: 9 fontes de fósforo (4 fosfatos acidulados originais, 4 fosfatos acidulados lavados e o fosfato monocálcico p.a.), 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1% do volume) e 3 doses (0, 50 e 100 mg kg⁻¹)

Causa de variação	G.L.	Matéria seca	P acumulado
Valor de F ⁽¹⁾			
Fosfatos (F)	8	50,20**	26,41**
Aplicação (A)	1	120,08**	16,39**
Dose (D)	2	1228,10**	428,56**
F x A	8	16,05**	19,73**
F x D	16	14,95**	8,92**
A x D	2	39,26**	4,10*
F x A x D	16	5,41**	6,18**
CV (%)			
		10,3	14,9

(1) ** e *, valores significativos a 1 e 5 %, respectivamente.

100 mg kg⁻¹, houve diferença para FA1 e FA4 para aplicação com o volume total de terra no vaso e FA2 e FA3 para aplicação localizada, sendo que em todos os casos os originais foram mais eficientes que os lavados.

Quanto ao modo de aplicação, o fato de os de fosfatos solúveis terem melhor comportamento quando aplicados de forma localizada e os menos solúveis quando aplicados em volume total de terra, não foi tão nítido como observado para as variáveis matéria seca e P acumulado no Experimento I.

Tabela 22. Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, e de fosfato monocálcico p.a.) aplicados nas doses de 50 e 100 mg kg⁻¹ de P, e do modo de aplicação, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 2 repetições) ⁽¹⁾

Dose mg kg ⁻¹	Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de aplicação ⁽³⁾	
		Volume total	1% Volume
		g/vaso	
50	FA1 original	22,0Aab	24,2Ab
	FA2 original	20,7Aab	21,1Abc
	FA3 original	21,0Aab	16,2Bcd
	FA4 original	22,4Aab	11,7Bd
	FA1 lavado	17,8Ab	12,3Bd
	FA2 lavado	18,8Ab	11,2Bd
	FA3 lavado	20,2Aab	12,1Bd
	FA4 lavado	22,3Aab	15,5Bcd
	FM pa	24,8Ba	31,8Aa
100	FA1 original	33,1Aab	26,8Bb
	FA2 original	28,1Abcd	26,7Ab
	FA3 original	30,3Abcd	28,6Ab
	FA4 original	28,5Abcd	17,6Bcd
	FA1 lavado	25,0Ad	14,8Bcd
	FA2 lavado	26,0Acd	13,6Bcd
	FA3 lavado	31,6Abc	13,0Bd
	FA4 lavado	28,3Abcd	18,7Bc
	FM p.a.	38,1Ba	43,1Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna dentro de cada dose e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico reflatável (RCA) e fosfato natural (FN); preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

⁽³⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

Tabela 23. Efeito do modo de preparo e de aplicação de 50 e 100 mg kg⁻¹ de P de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 2 repetições) ⁽¹⁾

Dose mg kg ⁻¹	Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de Preparo ⁽³⁾	Modo de aplicação ⁽⁴⁾	
			Volume total	1% Volume
-----mg/vaso-----				
50	FA1	Original	25,2Aa	16,6Ba
		Lavado	13,4Ab	16,0Aa
	FA2	Original	14,7Ba	24,3Aa
		Lavado	14,2Aa	15,1Ab
	FA3	Original	15,7Aa	18,6Aa
		Lavado	15,2Aa	14,5Aa
	FA4	Original	18,0Aa	14,5Aa
		Lavado	12,4Bb	17,8Aa
100	FA1	Original	36,3Aa	24,1Ba
		Lavado	20,0Ab	19,2Aa
	FA2	Original	21,1Ba	30,8Aa
		Lavado	19,5Aa	16,9Ab
	FA3	Original	24,2Ba	34,3Aa
		Lavado	23,6Aa	15,6Bb
	FA4	Original	22,8Aa	21,1Aa
		Lavado	17,0Ab	20,6Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna dentro de cada dose e fosfato e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico refluotável (RCA) e fosfato natural (FN).

⁽³⁾ Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

⁽⁴⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

Com relação ao efeito dos fosfatos originais (Tabela 24) verifica-se que o FA1 propiciou a maior quantidade de P acumulado pelas plantas de milho quando aplicado em volume total de terra no vaso em ambas as doses de P aplicadas, enquanto o FA2 e FA3 foram os de maior eficiência no modo localizado. Para os fosfatos lavados, excessão feita ao modo de aplicação em volume total de terra na dose 100 mg kg^{-1} de P, na qual apenas o fosfato derivado do FN teve menor eficiência, não foram verificadas diferenças significativas entre as fontes de fósforo aplicadas.

As equações de regressão obtidas para quantidade de fósforo acumulado por plantas de milho em função de doses de fósforo provenientes de diferentes fontes, submetidas a dois modos de preparo e aplicação encontram-se na Tabela 25. Verifica-se que, excessão feita ao FA2 no modo de preparo original e modo de aplicação localizado, as equações obtidas foram lineares. Os coeficientes de determinação atestam o bom ajuste para as equações propostas.

Para a única equação quadrática ($y = -0,0020x^2 + 0,43x + 7,8$) o ponto de máxima calculado foi de $107,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de P. Assim, pode-se afirmar que para todas as situações continuariam a existir resposta além da dose máxima empregada no estudo (100 mg kg^{-1}). As curvas de resposta para o fosfato monocálcico p.a. (Figuras 3 e 4) confirmam o que foi dito, uma vez que observa-se claramente a tendência de resposta além da dose 100 mg kg^{-1} de P.

Observa-se pela Tabela 26 que o fosfato monocálcico p.a. propiciou maior quantidade de P acumulado pelas plantas de milho do que a maioria dos fosfatos utilizados no modo de aplicação localizado e nas duas doses testadas. Também neste caso a melhor forma de aplicação do fosfato monocálcico foi a localizada.

Tabela 24. Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas), aplicados nas doses de 50 e 100 mg kg⁻¹ de P em diferentes modos de preparo e de aplicação, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 2 repetições) ⁽¹⁾

Dose mg kg ⁻¹	Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de Preparo ⁽³⁾	
		Original	Lavado
-----mg/vaso-----			
		<u>Volume total⁽⁴⁾</u>	
50	FA1	25,2 a	13,4 a
	FA2	14,7 b	14,2 a
	FA3	15,7 b	15,2 a
	FA4	18,0 b	12,4 a
		<u>1% Volume</u>	
50	FA1	16,6 b	16,0 a
	FA2	24,3 a	15,1 a
	FA3	18,6 ab	14,5 a
	FA4	14,5 b	17,8 a
		<u>Volume total</u>	
100	FA1	36,3a	20,0ab
	FA2	21,1b	19,5ab
	FA3	24,2b	23,6a
	FA4	22,8b	17,0b
		<u>1% Volume</u>	
100	FA1	24,1b	19,2a
	FA2	30,8a	16,9a
	FA3	34,3a	15,6a
	FA4	21,1b	20,6a

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro de cada dose e modo de aplicação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico reflatável (RCA) e fosfato natural (FN).

⁽³⁾ Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

⁽⁴⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1 % Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

Tabela 25. Equações de regressão polinomial e coeficientes de determinação para fósforo acumulado (y) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo, em função de doses de fósforo (x) provenientes de diferentes fontes, submetidas a dois modos de preparo e de aplicação

Fontes de fósforo ⁽¹⁾	Modo de Preparo ⁽²⁾			
	Original		Lavado	
	equação	r ²	equação	r ²
<u>Volume total⁽³⁾</u>				
FA1	y=0,29x+8,8	0,98	y=0,12x+7,6	1,00
FA2	y=0,13x+7,8	1,00	y=0,12x+7,9	1,00
FA3	y=0,17x+7,7	1,00	y=0,16x+7,6	1,00
FA4	y=0,15x+8,7	0,96	y=-0,09x+7,8	1,00
<u>1% Volume</u>				
FA1	y=0,16x+8,0	1,00	y=0,12x+8,6	0,94
FA2	y=-0,0020x ² +0,43x+7,8	1,00	y=0,09x+8,7	0,89
FA3	y=0,27x+6,9	0,99	y=0,08x+8,7	0,85
FA4	y=0,13x+7,8	1,00	y=0,13x+9,0	0,91

(1) Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico refltável (RCA) e fosfato natural (FN).

(2) Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

(3) Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1 % Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

Figura 3. Quantidade de fósforo acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em volume total da terra do vaso

Figura 4. Quantidade de fósforo acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em 1% do volume total da terra do vaso

Tabela 26. Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, e de fosfato monocálcico p.a.) aplicados nas doses de 50 e 100 mg kg⁻¹ de P, e de modo de aplicação, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 2 repetições) ⁽¹⁾

Dose mg kg ⁻¹	Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de aplicação ⁽³⁾	
		Volume total	1% Volume
		-----mg/vaso-----	
50	FA1 original	25,2Aa	16,6Bbc
	FA2 original	14,7Bb	24,3Ab
	FA3 original	15,7Ab	18,6Abc
	FA4 original	18,0Aab	14,5Ac
	FA1 lavado	13,4Ab	16,0Ac
	FA2 lavado	14,2Ab	15,1Ac
	FA3 lavado	15,2Ab	14,5Ac
	FA4 lavado	12,4Bb	17,8Abc
	FM pa	17,2Bab	35,0Aa
100	FA1 original	36,3Aa	24,1Bcd
	FA2 original	21,1Bbc	30,8Abc
	FA3 original	24,2Bbc	34,3Ab
	FA4 original	22,8Abc	21,1Ade
	FA1 lavado	20,0Abc	19,2Ade
	FA2 lavado	19,5Abc	16,9Ade
	FA3 lavado	23,6Abc	15,6Be
	FA4 lavado	17,0Ac	20,6Ade
	FM p.a.	26,3Bb	54,0Aa

(1) Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna dentro de cada dose e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

(2) Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico reflatável (RCA) e fosfato natural (FN), e F.M. p.a.= fosfato monocálcico p.a.; preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

(3) Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

Os dados obtidos neste experimento empregando-se diferentes doses de fósforo, confirmam as principais evidências obtidas no experimento I com apenas uma dose desse elemento.

4.3.3. Experimento III

O Experimento III foi conduzido com o intuito de avaliar o efeito residual dos fosfatos aplicados no Experimento II.

4.3.3.1. Produção de matéria seca

A análise de variância considerando-se os fatores fosfatos, modos de preparo, modos de aplicação e doses mostrou efeito apenas do modo de aplicação, da dose e da interação dupla fosfato x dose sobre a produção de matéria seca (Tabela 27).

Na média dos resultados para fosfatos, modo de preparo e dose, a incorporação dos fosfatos em volume total de terra mostrou-se superior (13,1 g/vaso) à incorporação localizada (12,4 g/vaso). Isso pode ter ocorrido devido a maior absorção de fósforo pelas plantas no modo localizado no primeiro cultivo, aliado à homogeneização da terra nos vasos antes da implantação do segundo, o que deve ter propiciado a adsorção do fosfato aplicado de forma localizada.

No que diz respeito aos fosfatos, o efeito desse fator foi pequeno e ocorreu apenas na dose de 50 mg kg⁻¹ (Tabela 28). O fosfato que conferiu a menor produção de matéria seca foi o FA4, demonstrando-se assim que este material na menor dose aplicada ainda é menos eficiente que os demais fosfatos em segundo plantio de

Tabela 27. Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca e fósforo acumulado referentes ao experimento III (avaliação do efeito residual dos fosfatos aplicados no experimento II) considerando-se os fatores: 4 fosfatos acidulados, 2 modos de preparo dos fosfatos (original e lavado), 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1% do volume) e 3 doses (0, 50 e 100 mg kg⁻¹)

Causa de variação	G.L.	Matéria seca	P acumulado
Valor de F ⁽¹⁾			
Fosfatos (F)	3	0,70	1,78
Preparo (P)	1	0,21	0,61
Aplicação (A)	1	9,61**	0,02
Dose (D)	2	424,59**	437,44**
F x P	3	1,58	3,20*
F x A	3	0,57	3,09*
F x D	6	2,72*	1,88
P x A	1	0,26	0,01
P x D	2	0,45	0,97
A x D	2	2,60	0,15
F x P x A	3	1,49	2,17
F x P x D	6	0,69	1,51
F x A x D	6	1,25	0,85
P x A x D	2	0,09	0,16
F x P x A x D	6	0,52	1,30
CV (%)			
		9,5	14,7

⁽¹⁾ ** e *, valores significativos a 1 e 5 %, respectivamente.

Tabela 28. Efeito residual (primeiro plantio) de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, aplicados nas doses de 50 e 100 mg kg⁻¹ de P, na média dos resultados de modo de preparo e de aplicação, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 8 repetições) ⁽¹⁾

Dose mg kg ⁻¹	Fontes de fósforo ⁽²⁾	Matéria seca g/vaso
50	FA1	14,5ab
	FA2	14,1ab
	FA3	15,4a
	FA4	13,2b
100	FA1	15,8a
	FA2	15,9a
	FA3	16,0a
	FA4	17,0a

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra na coluna dentro de cada dose não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico refltável (RCA) e fosfato natural (FN)

milho. Embora tenha havido efeito dos fosfatos na dose de 50 mg kg⁻¹ seus comportamentos foram praticamente idênticos entre si, ao contrário do que ocorreu no primeiro plantio.

O efeito de doses, diferentemente do observado no cultivo anterior, dependeu somente do fator fosfatos (Tabela 29).

O fato de o efeito do preparo dos fosfatos ter sido elevado apenas no primeiro plantio equivale dizer que as frações solúveis em CNA + H₂O e apenas em CNA tiveram eficiências semelhantes no segundo cultivo. O dado é importante na medida em

Tabela 29. Equações de regressão polinomial e coeficientes de determinação para produção de matéria seca (y) por plantas de milho (efeito residual em primeiro plantio) cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo, em função de doses de fósforo (x) provenientes de diferentes fontes, na média do modo de preparo e de aplicação

Fontes de fósforo ⁽¹⁾	equação polinomial	coef. de determinação (r^2)
FA1	$y = -0,0011x^2 + 0,19x + 7,8$	1,00
FA2	$y = -0,0009x^2 + 0,17x + 7,8$	1,00
FA3	$y = -0,0014x^2 + 0,22x + 7,8$	1,00
FA4	$y = 0,09x + 8,0$	0,99

⁽¹⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico reflatável (RCA) e fosfato natural (FN)

que esclarece que a menor eficiência da fração solúvel em CNA pode estar restrita ao primeiro plantio e não mais aos seguintes.

A análise de variância para produção de matéria seca considerando-se o fosfato monocálcico p.a. e desconsiderando-se o modo de preparo dos fosfatos, ou seja, para o fatorial 9 x 2 x 3, mostrou efeito significativo de modo de aplicação, dose e interação dupla modo de aplicação x dose (Tabela 30).

Os dados evidenciam vantagem da incorporação dos fosfatos em volume total de terra antes do primeiro plantio para as duas doses testadas (Tabela 31). O efeito de doses pode ser avaliado através das regressões: $y = -0,0012x^2 + 0,21x + 7,8$ para volume total e $y = -0,0008x^2 + 0,16x + 7,8$ para aplicação localizada, ambas com $r^2 = 1,00$.

Tabela 30. Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca e fósforo acumulado referentes ao experimento III (avaliação do efeito residual dos fosfatos aplicados no experimento II) considerando-se os fatores: 9 fontes de fósforo (4 fosfatos acidulados originais, 4 fosfatos acidulados lavados e o fosfato monocálcico p.a.), 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1% do volume) e 3 doses (0, 50 e 100 mg kg⁻¹)

Causa de variação	G.L.	Matéria seca	P acumulado
Valor de F ⁽¹⁾			
Fosfatos (F)	8	0,97	2,62*
Aplicação (A)	1	11,42**	2,35
Dose (D)	2	499,14**	557,65**
F x A	8	0,86	4,04**
F x D	16	1,74	1,67
A x D	2	3,30*	0,60
F x A x D	16	0,72	1,48
CV (%)			
		9,3	13,9

⁽¹⁾ ** e *, valores significativos a 1 e 5 %, respectivamente.

A ausência de efeito para fosfatos leva à constatação de que o fosfato monocálcico p.a., cuja eficiência foi elevada no primeiro plantio, não se distinguiu dos demais neste segundo cultivo. Este resultado é diferente do obtido por GILKES & MANGANO (1983), os quais verificaram que a eficiência dos compostos insolúveis em água, porém solúveis em CNA, foi menor que o valor residual do fosfato monocálcico (10 a 20 %) em segundo cultivo de trigo. Desigualdades na composição química dos fosfatos devem explicar a diferença entre os resultados encontrados, demonstrando-se,

Tabela 31. Efeito do modo de aplicação de amostras de fosfatos acidulados nas doses de 50 e 100 mg kg⁻¹ de P, na produção de matéria seca por plantas de milho (efeito residual em primeiro plantio) cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo e equações de regressão polinomial ajustadas para matéria seca (y) em função de doses (x) para cada modo de aplicação ⁽¹⁾

Dose mg kg ⁻¹	Modo de aplicação ⁽²⁾	
	Volume total	1% volume
	-----g/vaso-----	
50	15,1 A	13,7 B
100	16,5 A	15,6 B
equação de regressão coef. de determinação	$y = -0,0012x^2 + 0,21x + 7,8$ $r^2 = 1,00$	$y = -0,0008x^2 + 0,16x + 7,8$ $r^2 = 1,00$

(1) Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5 %.

(2) Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra no vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

assim, a importância de trabalhos que visem estudar as espécies químicas presentes nos fosfatos nacionais e sua eficiência agrônômica.

Pelas Figuras 5 e 6 verifica-se que a resposta à aplicação do fosfato monocálcico foi bem menor neste cultivo do que quando originalmente aplicados (Figuras 1 e 2).

Figura 5. Produção de matéria seca (efeito residual em primeiro plantio) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em volume total da terra do vaso

Figura 6. Produção de matéria seca (efeito residual em primeiro plantio) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em 1% do volume total da terra do vaso

4.3.3.2. Quantidade de fósforo acumulado na parte aérea

A análise de variância para fósforo acumulado pelas plantas de milho evidenciam efeitos significativos de dose, interação dupla fosfato x modo de preparo e interação dupla fosfato x modo de aplicação, distinto, portanto, do que havia ocorrido para matéria seca (Tabela 27).

Como não houve nenhuma interação significativa envolvendo doses, o efeito desse fator pode ser expresso por apenas uma equação de regressão, que foi, para este caso, $y = - 0,0012 x^2 + 0,25 x + 5,1$.

O teste de médias evidenciou que o efeito do modo de preparo sobre a quantidade de fósforo absorvido ocorreu apenas para o FA4, com o lavado apresentando resultado superior ao original (Tabela 32). Observa-se ainda que não houve diferença entre as fontes de fósforo.

O teste de médias na interação dupla fosfato x modo de aplicação encontra-se na Tabela 33, onde observa-se que o FA3 teve maior eficiência que os fosfatos FA1 e FA4 no modo de aplicação localizado.

Conforme foi visto, as quantidades de P acumulado pelas plantas de milho neste segundo cultivo foram muito menos influenciadas pelos fatores em estudo que as do primeiro cultivo, ocasião em que foi detectado inclusive efeito significativo para a interação quádrupla (Tabela 17).

Quando se considerou o padrão fosfato monocálcico p.a. na análise de variância, conforme indicado na Tabela 30, verificou-se que houve efeito para fosfatos, doses e interação dupla fosfatos x modos de aplicação.

Tabela 32. Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas) e do modo de preparo dos fosfatos, na quantidade de P acumulado (efeito residual em primeiro plantio) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 12 repetições) ⁽¹⁾

Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de preparo ⁽³⁾	
	Original	Lavado
	-----mg/vaso-----	
FA1	13,2Aa	11,7Aa
FA2	13,1Aa	12,0Aa
FA3	13,6Aa	13,4Aa
FA4	11,6Ba	13,2Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico reflatável (RCA) e fosfato natural (FN).

⁽³⁾ Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P_2O_5 solúvel em água.

Tabela 33. Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas) e do modo de aplicação dos fosfatos, na quantidade de P acumulado (efeito residual em primeiro plantio) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 12 repetições) ⁽¹⁾

Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de aplicação ⁽³⁾	
	Volume total	1% Volume
	-----mg/vaso-----	
FA1	12,9Aa	12,0Ab
FA2	12,2Aa	12,9Aab
FA3	12,8Aa	14,2Aa
FA4	13,2Aa	11,7Ab

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico reflatável (RCA) e fosfato natural (FN).

⁽³⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra no vaso; 1 % Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

Os resultados observados permitem verificar que o efeito dos fosfatos ocorreu somente quando aplicados em volume total de terra, tendo o fosfato monocálcico p.a. sido superior ao fosfato FA4 original, e ainda, aos fosfatos FA1, FA2 e FA3 lavados (Tabela 34). Assim, mesmo no segundo cultivo o fosfato monocálcico p.a. na condição de incorporação com o volume total de terra ainda mostrou maior eficiência que os citados fosfatos.

Tabela 34. Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, e de fosfato monocálcico p.a.), e do modo de aplicação, na quantidade de P acumulado (efeito residual em primeiro plantio) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 4 repetições) ⁽¹⁾

Fontes de fósforo ⁽²⁾	Modo de aplicação ⁽³⁾	
	Volume total	1% Volume
	mg/vaso	
FA1 original	13,8Aab	12,7Aa
FA2 original	12,7Bab	13,4Aa
FA3 original	13,5Aab	13,8Aa
FA4 original	11,6Ab	11,7Aa
FA1 lavado	12,1Ab	11,4Aa
FA2 lavado	11,6Ab	12,5Aa
FA3 lavado	12,1Bb	14,6Aa
FA4 lavado	14,8Aab	11,7Ba
FM pa	16,0Aa	11,7Ba

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de: concentrado apatítico grosso (GCA), concentrado apatítico fino (FCA), concentrado apatítico reftotável (RCA) e fosfato natural (FN), e F.M. p.a.= fosfato monocálcico p.a.; preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

⁽³⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

Com relação ao modo de aplicação do fosfato monocálcico p.a., nota-se que a incorporação em volume total de terra no vaso traduziu-se em maior efeito residual em segundo plantio, quando comparado com a aplicação localizada. A maior absorção de fósforo no modo de aplicação localizado no primeiro cultivo pode explicar a inversão em segundo plantio.

As Figuras 7 e 8, de curvas de resposta para o fosfato monocálcico p.a., permitem verificar que a resposta à aplicação de fósforo foi além da dose de 100 mg kg^{-1} de P aplicadas para os demais fosfatos testados.

4.4. Experimentos envolvendo a avaliação da disponibilidade do fósforo da fração solúvel em citrato neutro de amônio e insolúvel em água de fosfatos comerciais

4.4.1. Experimento IV

O experimento IV foi conduzido com o intuito de avaliar a eficiência no fornecimento de fósforo de fosfatos comerciais, acidulados ou não, e do fosfato monocálcico p.a., em dois modos de preparo (original e lavado) e dois modos de aplicação (incorporado em volume total de terra no vaso e localizado em 1% do volume).

Embora o objetivo principal do trabalho fosse estudar fosfatos acidulados, outros fertilizantes foram incluídas para que se pudesse comparar as diversas fontes de P existentes no mercado. Isto seria importante, principalmente tendo em vista o estudo do modo de aplicação, já que nos experimentos I e II a fração solúvel apenas em CNA se comportou como um fosfato insolúvel em água.

Figura 7. Quantidade de fósforo acumulado (efeito residual em primeiro plantio) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em volume total da terra do vaso

Figura 8. Quantidade de fósforo acumulado (efeito residual em primeiro plantio) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo em função da dose de fósforo na forma de FM p.a. aplicado em 1% do volume total da terra do vaso

4.4.1.1. Produção de matéria seca

Os valores de F e coeficientes de variação para a produção de matéria seca quando foram considerados como fatores 6 fosfatos, 2 modos de preparo dos fosfatos e 2 modos de aplicação dos mesmos, encontram-se na Tabela 35. Observa-se significância para os três fatores estudados e para a interação tripla.

Para nenhum dos fosfatos aplicados em volume total de terra no vaso houve efeito da lavagem, o que significa dizer que as duas frações, solúvel em CNA + H₂O e solúvel apenas em CNA, tiveram a mesma eficiência (Tabela 36). Para que isto pudesse ter ocorrido, a fração solúvel apenas em CNA interagiu com o solo no período considerado de tal forma a sobrar P para absorção pelas plantas. O dado é de grande importância, pois significa dizer que em aplicações de fósforo em área total com incorporação que visem a correção do teor do elemento (doses elevadas de P) as duas frações têm comportamento semelhantes.

Já para o caso de incorporação dos fosfatos com 1% do volume total de terra no vaso as diferenças foram significativas para 01-18-00, SSIMPLES, FNPA, STRIPLO e FDEIND entre as duas frações estudadas, com vantagens sempre para a aplicação do fosfato não lavado. Isto possibilita dizer que as frações solúveis apenas em CNA dos fosfatos citados têm eficiência agrônômica inferior no fornecimento de P às plantas do que as frações solúveis em CNA + H₂O no modo de aplicação localizado, o qual, aliás, é normalmente utilizado para aplicar fosfatos acidulados nos solos.

Com relação ao modo de aplicação, não houve diferença significativa para os fosfatos originais. Já para os fosfatos lavados ocorreu diferença significativa para todos os fosfatos, com exceção ao MFM, com vantagem sempre para a aplicação em volume total de terra. Esses dados sugerem que, a exemplo do que foi evidenciado para os fosfatos utilizados no primeiro experimento, as frações solúveis apenas em CNA comportam-se como fosfatos pouco solúveis, ou seja, têm maior eficiência quando incorporados em volume total de terra do que quando localizados.

Tabela 35. Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca, fósforo acumulado e teor de P-resina referentes ao experimento IV considerando-se os fatores: 6 fosfatos acidulados comerciais, 2 modos de preparo dos fosfatos (original e lavado) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1% do volume)

Causa de variação	G.L.	Matéria seca	P acumulado	Teor P-resina
Valor de F ⁽¹⁾				
Fosfatos (F)	5	4,10**	3,28*	0,97
Preparo (P)	1	80,53**	26,74**	3,90
Aplicação (A)	1	36,37**	180,25**	11,22**
F x P	5	5,26**	1,53	1,05
F x A	5	1,86	1,21	0,63
P x A	1	88,27**	59,68**	1,06
F x P x A	5	2,75*	5,60**	0,82
CV (%)				
		14,8	15,9	42,9

⁽¹⁾ ** e *, valores significativos a 1 e 5 %, respectivamente.

Destaca-se o comportamento do MFM, o qual no modo de aplicação localizado foi o único com eficiência semelhante para as duas frações, e ainda, o único cujo resultado de matéria seca independeu do modo de aplicação.

Através da Tabela 37 pode-se verificar que não houve diferença que permitisse separar os fosfatos em ambas as situações de preparo para a incorporação dos materiais em volume total de terra. Já para o modo de aplicação com localização dos fosfatos houve tal diferenciação. Assim, os fosfatos originais puderam ser reunidos em três grupos, sendo o mais eficiente o STRIPLO, os de eficiência intermediária o MFM,

Tabela 36. Efeito do modo de preparo e de aplicação de 70 mg kg⁻¹ de P de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 3 repetições) ⁽¹⁾

FFA ⁽²⁾	Modo dePreparo ⁽³⁾	Modo de aplicação ⁽⁴⁾	
		Volume total	1% Volume
-----g/vaso-----			
MFM	Original	20,1Aa	22,6Aa
	Lavado	24,3Aa	19,8Aa
01-18-00	Original	21,2Aa	24,2Aa
	Lavado	19,4Aa	11,3Bb
SSIMPLES	Original	21,6Aa	25,0Aa
	Lavado	21,9Aa	11,9Bb
FNPA	Original	19,8Aa	18,7Aa
	Lavado	18,5Aa	10,0Bb
STRIPLO	Original	24,1Aa	28,2Aa
	Lavado	23,9Aa	6,8Bb
FDEIND	Original	23,1Aa	24,8Aa
	Lavado	23,6Aa	8,3Bb

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna dentro de cada fosfato e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ FFA (Fertilizante fosfatado acidulado, produtos comerciais): MFM= multi fosfato magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSIMPLES= superfosfato simples; FNPA= fosfato natural parcialmente acidulado; STRIPLO= superfosfato triplo; FDEIND= superfosfato triplo da Flórida.

⁽³⁾ Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

⁽⁴⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

Tabela 37. Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas), aplicados na dose de 70 mg kg⁻¹ em diferentes modos de preparo e de aplicação, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 3 repetições) ⁽¹⁾

FFA ⁽²⁾	Modo de Preparo ⁽³⁾	
	original	lavado
-----g/vaso-----		
	<u>Volume total⁽⁴⁾</u>	
MFM	20,1a	24,3a
01-18-00	21,2a	19,4a
SSIMPLES	21,6a	21,9a
FNPA	19,8a	18,5a
STRIPLO	24,1a	23,9a
FDEIND	23,1a	23,6a
	<u>1% Volume</u>	
MFM	22,6ab	19,8a
01-18-00	24,2ab	11,3b
SSIMPLES	25,1ab	11,9b
FNPA	18,7b	10,0b
STRIPLO	28,2a	6,8b
FDEIND	24,8ab	8,3b

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro de cada modo de aplicação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ FFA (Fertilizante fosfatado acidulado, produtos comerciais): MFM= multi fosfato magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSIMPLES= superfosfato simples; FNPA= fosfato natural parcialmente acidulado; STRIPLO= superfosfato triplo; FDEIND= superfosfato triplo da flórida.

⁽³⁾ Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

⁽⁴⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

01-18-00, SSIMPLES e FDEIND, e o menos eficiente o FNPA. No caso do FNPA isto era até esperado, uma vez que trata-se de um fosfato parcialmente acidulado, o qual normalmente tem maior eficiência quando aplicado em volume total de terra e não na forma localizada.

Para os fosfatos lavados e aplicados de forma localizada a diferenciação foi até mais nítida, só que com grande vantagem para o MFM em relação às demais frações solúveis apenas em CNA dos outros fertilizantes. Comprova-se assim a maior eficiência deste adubo com relação à sua fração solúvel apenas em CNA. Estes dados estão em concordância com os comentários de SINDEN (1990), que descreve algumas vantagens do MFM e conclui afirmando que estes fosfatos multi magnesianos podem ser tão eficientes quanto o superfosfato simples para milho e soja em solos ácidos com alta capacidade de fixação de P.

A Tabela 38 apresenta a análise de variância feita com inclusão do fosfato monocalcico p.a e fosfatos não acidulados e exclusão do modo de preparo como fator, obtendo-se, assim, um fatorial envolvendo 17 fosfatos e 2 modos de aplicação. Verifica-se que houve efeito significativo dos fatores fosfatos e modos de aplicação, bem como da interação dupla, sobre a produção de matéria seca.

Pela Tabela 39 verifica-se como nos demais experimentos, que o fosfato monocalcico foi superior quando aplicado de forma localizada, em relação à incorporação em volume total de terra no vaso, o que era esperado e coerente. Para esta forma de aplicação, o padrão distinguiu-se da maioria dos fosfatos de menor solubilidade, casos do TF, FCN e FGAFSA. Assim, tais fosfatos de baixa solubilidade foram inferiores mesmo na situação que mais lhes favorece, ou seja, incorporação em volume total de terra. No modo de aplicação localizada o padrão distinguiu-se de todos os fosfatos, com exceção de: SSIMPLES, STRIPLO e FDEIND, aplicados na forma original.

Tabela 38. Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca, fósforo acumulado e teor de P-resina referentes ao experimento IV considerando-se os fatores: 17 fontes de fósforo (6 fosfatos acidulados originais, 6 fosfatos acidulados lavados, 1 termofosfato, 3 fosfatos naturais e o fosfato monocálcico p.a.) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1% do volume)

Causa de variação	G.L.	Matéria seca	P acumulado	Teor P-resina
Valor de F ⁽¹⁾				
Fosfatos (F)	16	32,64**	13,77**	2,88**
Aplicação (A)	1	74,57**	266,93**	7,64**
F x A	16	12,74**	8,81**	1,60
CV (%)				
		14,3	16,5	39,0

⁽¹⁾ ** e *, valores significativos a 1 e 5 %, respectivamente.

Com relação aos termofosfatos- TF e FMAR e aos fosfatos naturais - FCN e FGAFA, todos foram de baixa eficiência, especialmente para a aplicação localizada. De certa forma este resultado era esperado devido à aplicação destes ter sido realizada baseando-se no teor total de P_2O_5 e não no teor solúvel em $CNA + H_2O$, como para os demais. Isto foi realizado devido ao baixo teor de P_2O_5 solúvel em $CNA + H_2O$ destes materiais, e ainda, por ser assim que são utilizados no campo.

Tabela 39. Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, termosfosfato, fosfatos naturais e fosfato monocalcico p.a.) aplicados na dose de 70 mg kg⁻¹ de P, e do modo de aplicação, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 3 repetições) ⁽¹⁾

Fonte de P ⁽²⁾	Modo de aplicação ⁽³⁾	
	Volume total	1% Volume
	-----gramas-----	
MFM original	20,1Aabc	22,6Abc
01-18-00 original	21,2Aab	24,2Abc
SSIMPLES original	21,6Aab	25,1Aabc
FNPA original	19,8Aabc	18,7Acd
STRIPLO original	24,1Aa	28,2Aab
FDEIND original	23,1Aa	24,8Aabc
MFM lavado	24,3Aa	19,8Bc
01-18-00 lavado	19,4Aabc	11,3Bde
SSIMPLES lavado	22,0Aab	11,9Bde
FNPA lavado	18,5Aabc	10,0Be
STRIPLO lavado	23,9Aa	6,8Be
FDEIND lavado	23,6Aa	8,3Be
TF	14,8Abcd	7,7Be
FMAR	18,0Aabcd	5,9Be
FCN	13,5Acd	5,0Be
FGAFSA	10,9Ad	4,9Be
FM p.a.	23,4Ba	32,3Aa

(1) Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

(2) Fonte de fósforo: MFM= multi fosfato magnésiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSIMPLES= superfosfato simples; FNPA= fosfato natural parcialmente acidulado; STRIPLO= superfosfato triplo; FDEIND= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do Maranhão; FCN= fosfato natural da Carolina do Norte; FG= fosfato natural de Gafsa; FM p.a.= padrão utilizado, fosfato monocalcico p.a.; preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

(3) Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

4.4.1.2. Quantidade de P acumulado na parte aérea

A análise de variância revelou efeito significativo para os três fatores estudados e para a interação tripla, quando foram considerados 6 fosfatos, 2 modos de preparo e 2 modos de aplicação (Tabela 35).

No modo de aplicação em volume total de terra o STRIPLO constituiu-se na única fonte de fósforo com diferença significativa entre os dois modos de preparo estudados, com vantagem para o lavado (Tabela 40). Assim, pela primeira vez a fração solúvel em CNA é mais eficiente que a fração solúvel em CNA + H₂O. Os resultados obtidos para Fe₂O₃ e Al₂O₃ para o STRIPLO, não o distingue dos demais fosfatos acidulados, assim, o resultado obtido deve estar relacionado as espécies químicas presentes no material e a sua mineralogia.

No caso da aplicação localizada, apresentaram diferença significativa o 01-18-00, SSIMPLES, STRIPLO e FDEIND, sempre com vantagem para o fosfato na forma original. Para o FNPA e o MFM não houve diferença significativa entre as duas frações de P₂O₅ estudadas, sendo que no caso do MFM esse fato já havia ocorrido para matéria seca. A análise mais detalhada dos dados permite, no entanto, verificar que para o FNPA existe boa diferença de médias, enquanto para o MFM tal fato não ocorre.

Quanto ao modo de aplicação houve, para os originais, diferença significativa para os seguintes fosfatos: MFM, SSIMPLES e FNPA, sempre com vantagem para a aplicação em volume total de terra no vaso. A observação do fi (Tabela 1) para esses fosfatos permite verificar que eram, curiosamente, os de menor solubilidade em água na fração solúvel em CNA + H₂O. Assim, parece que a baixa quantidade de P₂O₅ solúvel em água em relação ao CNA + H₂O determina que o comportamento destes seja idêntico ao de fosfatos insolúveis em água quanto ao modo de aplicação. O resultado não surpreende para o FNPA e para o MFM, uma vez que são reconhecidos

Tabela 40. Efeito de modos de preparo e de aplicação de 70 mg kg^{-1} de P de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 3 repetições) ⁽¹⁾

FFA ⁽²⁾	Modo de Preparo ⁽³⁾	Modo de aplicação ⁽⁴⁾	
		Volume total	1% Volume
-----mg/vaso-----			
MFM	Original	27,2Aa	19,5Ba
	Lavado	27,2Aa	17,6Ba
01-18-00	Original	24,1Aa	20,9Aa
	Lavado	25,9Aa	9,4Bb
SSIMPLES	Original	29,6Aa	19,9Ba
	Lavado	26,0Aa	10,2Bb
FNPA	Original	23,8Aa	14,3Ba
	Lavado	24,9Aa	9,6Ba
STRIPLO	Original	24,7Ab	24,4Aa
	Lavado	32,7Aa	8,9Bb
FDEIND	Original	22,8Aa	26,3Aa
	Lavado	27,5Aa	8,5Bb

(1) Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna dentro de cada fosfato e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

(2) FFA (Fertilizante fosfatado acidulado, produtos comerciais): MFM= multi fosfato magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSIMPLES= superfosfato simples; FNPA= fosfato natural parcialmente acidulado; STRIPLO= superfosfato triplo; FDEIND= superfosfato triplo da Flórida.

(3) Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P_2O_5 solúvel em água.

(4) Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

como fosfatos de baixa solubilidade em água, porém, para o SSIMPLES trata-se de fato não esperado. Por tratar-se de produtos comerciais, parece evidente, portanto, a recomendação já feita anteriormente, que não basta basear a adubação fosfatada apenas no teor de P_2O_5 solúvel em CNA + H_2O , devendo-se também analisar o teor solúvel em água e o conteúdo de impurezas.

No caso dos fosfatos lavados a melhor eficiência foi sempre obtida com incorporação em volume total de terra no vaso, mesmo para o MFM, o qual havia se distinguido dos demais no caso da matéria seca pela inexistência de diferença significativa.

O efeito dos fosfatos sobre o P acumulado (Tabela 41) foi muito próximo do que ocorreu para matéria seca, o que valida os mesmos comentários anteriormente realizados para esta variável.

A análise de variância considerando-se os fatores 17 fosfatos e 2 modos de aplicação (Tabela 38) mostrou efeito para os dois fatores e também para a interação dupla.

Na Tabela 42 é possível verificar que não ocorreu diferença entre os dois modos de aplicação do fosfato monocalcico p.a. Excessão feita a vantagem da aplicação em volume total de terra para os fosfatos originais MFM, SSIMPLES e FNPA, os resultados foram semelhantes aos obtidos para produção de matéria seca.

Se restrições poderiam ser colocadas aos dados do experimento I e II, onde se constatou diferença de produção de matéria seca e P acumulado entre os fosfatos acidulados, uma vez que os materiais tinham sido preparados em laboratório, o experimento IV deixa claro que o problema de diferentes eficiências agrônômicas para fosfatos acidulados já pode estar ocorrendo no campo. Isto porque os resultados obtidos evidenciam que os fertilizantes acidulados comerciais têm comportamento distintos entre si, quando aplicados de forma localizada, e evidenciam, uma vez mais, que o CNA + H_2O é um extrator problemático para avaliar a disponibilidade de P dos fertilizantes fosfatados comerciais.

Tabela 41. Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas), aplicados na dose de 70 mg kg^{-1} de P em diferentes modos de preparo e de aplicação, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 3 repetições) ⁽¹⁾

FFA ⁽²⁾	Modo de Preparo ⁽³⁾	
	original	lavado
mg/vaso		
<u>Volume total ⁽⁴⁾</u>		
MFM	27,2a	27,2a
01-18-00	24,1a	25,9a
SSIMPLES	29,6a	26,0a
FNPA	23,8a	24,9a
STRIPLO	24,7a	32,7a
FDEIND	22,8a	27,5a
<u>1% Volume</u>		
MFM	19,5ab	17,6a
01-18-00	20,9ab	9,4b
SSIMPLES	19,9ab	10,2ab
FNPA	14,3b	9,6ab
STRIPLO	24,4a	8,7b
FDEIND	26,3a	8,5b

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro de cada modo de aplicação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ FFA (Fertilizante fosfatado acidulado, produtos comerciais): MFM= multi fosfato magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSIMPLES= superfosfato simples; FNPA= fosfato natural parcialmente acidulado; STRIPLO= superfosfato triplo; FDEIND= superfosfato triplo da Flórida.

⁽³⁾ Preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P_2O_5 solúvel em água.

⁽⁴⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

Tabela 42. Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, termofosfato, fosfatos naturais e fosfato monocalcico p.a.) aplicados na dose de 70 mg kg⁻¹ de P, e do modo de aplicação, na quantidade de P acumulado por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo ⁽¹⁾

Fonte de P ⁽²⁾	Modo de aplicação ⁽³⁾	
	Volume total	1% Volume
	-----mg/vaso-----	
MFM original	27,2Aabc	19,5Bbcd
01-18-00 original	24,1Aabc	20,9Abc
SSIMPLES original	29,6Aab	19,9Bbcd
FNPA original	23,8Aabc	14,3Bcdef
STRIPLO original	24,7Aabc	24,4Aab
FDEIND original	22,8Abc	26,3Aab
MFM lavado	27,2Aabc	17,6Bbcde
01-18-00 lavado	25,9Aabc	9,4Bef
SSIMPLES lavado	26,0Aabc	10,2Bdef
FNPA lavado	24,9Aabc	9,6Bef
STRIPLO lavado	32,7Aa	8,9Bef
FDEIND lavado	27,5Aabc	8,5Bef
TF original	21,9Abc	7,1Bf
FMAR original	19,1Ac	6,4Bf
FCN original	20,8Abc	6,0Bf
FGAFSA original	22,5Abc	5,8Bf
FM p.a. original	28,9Aab	33,9Aa

(1) Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

(2) Fonte de fósforo: MFM= multi fosfato magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSIMPLES= superfosfato simples; FNPA= fosfato natural parcialmente acidulado; STRIPLO= superfosfato triplo; FDEIND= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do Maranhão; FCN= fosfato natural da Carolina do Norte; FG= fosfato natural de Gafsa; FM p.a.= padrão utilizado, fosfato monocalcico p.a.; preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

(3) Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

4.4.1.3. Teor de P-resina das amostras de terra

Nas Tabelas 35 e 38 encontram-se os valores de F e C.V. para teores de P-resina das amostras de terra coletadas após a colheita do experimento IV, sendo a primeira análise de variância considerando-se o fatorial $6 \times 2 \times 2$ e a segunda o fatorial 17×2 . A primeira análise, na qual não foi considerado o fosfato monocálcico p.a., e nem os fosfatos não acidulados TF, FMAR, FCN e FGAFSA, para que se pudesse avaliar o efeito do preparo, o único fator com efeito significativo foi para o modo de aplicação (Tabela 35). Na média dos resultados para preparo e fosfatos, a aplicação localizada resultou maior teor de P-resina ($25,2 \text{ mg dm}^{-3}$ de P) que a aplicação em volume total de terra ($17,9 \text{ mg dm}^{-3}$ de P).

Para a análise de variância considerando-se o fatorial 17×2 detectou-se efeito para fosfatos e modo de aplicação, porém, a interação dupla não foi significativa (Tabela 38). Neste caso, o modo de aplicação localizado, a exemplo do que já havia ocorrido para os fosfatos acidulados tomados isoladamente, mostrou-se superior ($23,6 \text{ mg dm}^{-3}$ de P) ao incorporado ($19,1 \text{ mg dm}^{-3}$ de P). No que diz respeito ao efeito dos fosfatos os maiores teores de P-resina foram obtidos com o FCN original, STRIPLO lavado, FDEIND lavado e TF, e o menor, com o FMAR original (Tabela 43).

Os dados permitem inferir que em próximo plantio não deverão existir grandes diferenças nos resultados entre os fatores estudados, excetuando-se, talvez, o caso do FMAR.

Esta expectativa também foi evidenciada pelos teores de P-resina obtidos no experimento I, porém, não foi comprovada pelo fato de não ter sido realizado o estudo do efeito residual.

Tabela 43. Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, termofosfato, fosfatos naturais e fosfato monocálcico p.a.), e do modo de aplicação, nos teores de P-resina de amostras de terra coletadas após a colheita do milho no experimento IV (média de 6 repetições) ⁽¹⁾

Fonte de P ⁽²⁾	P resina ⁽³⁾
	-----mg dm ⁻³ -----
MFM original	22,3ab
01-18-00 original	18,3b
SSIMPLES original	16,0ab
FNPA original	20,8ab
STRIPLO original	20,5ab
FDEIND original	18,5ab
MFM lavado	17,7ab
01-18-00 lavado	23,7ab
SSIMPLES lavado	19,8ab
FNPA lavado	22,5ab
STRIPLO lavado	30,5a
FDEIND lavado	28,2a
TF	25,7a
FMAR	7,0b
FCN	31,2a
FGAFSA	21,8 b
FM p.a.	18,2ab

(1) Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

(2) Fontes de fósforo: MFM= multi fosfato magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSIMPLES= superfosfato simples; FNPA= fosfato natural parcialmente acidulado; STRIPLO= superfosfato triplo; FDEIND= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do Maranhão; FCN= fosfato natural da Carolina do Norte; FG= fosfato natural de Gafsa; FM p.a.= padrão utilizado, fosfato monocálcico p.a.; preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

(3) extração pelo método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 1983a)

4.4.2. Experimento V

O experimento foi conduzido com o intuito de avaliar o efeito residual dos fosfatos aplicados no Experimento IV.

4.4.2.1. Produção de matéria seca

A análise de variância considerando-se os fatores 6 fosfatos, 2 modos de preparo e 2 modos de aplicação (Tabela 44) mostram efeito significativo apenas do modo de aplicação dos fosfatos, com vantagem para a aplicação em volume total de terra no vaso (17,8 gramas/vaso contra 16,3 gramas/vaso para o modo localizado).

Assim, independentemente do fosfato ou modo de preparo, o resultado para produção de matéria seca seria o mesmo já no segundo plantio de milho. As diferenças se restringiram, portanto, ao primeiro plantio.

Como não houve efeito da lavagem, pode-se, afirmar que frações solúveis em CNA + H₂O, ou só solúvel em CNA, têm, para os fosfatos estudados, a mesma eficiência em segundo plantio de milho nas condições do experimento. Estes resultados estão em concordância com os teores de P-resina das amostras coletadas logo após a colheita do experimento IV (item 4.6.3.), os quais não apontavam diferenças significativas que pudessem justificar resultados distintos em próximo plantio (Tabelas 35, 38 e 43).

A análise de variância incluindo o fosfato monocálcico p.a. e os fosfatos naturais (fatorial 17 x 2) também mostrou efeito somente para o modo de aplicação (Tabela 45), novamente com vantagem da aplicação em volume total de terra (17,6 gramas) sobre a localizada (16,1 gramas).

Tabela 44. Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca e fósforo acumulado referentes ao experimento V (primeira avaliação do efeito residual dos fosfatos aplicados no experimento IV) considerando-se os fatores: 6 fosfatos acidulados comerciais, 2 modos de preparo dos fosfatos (original e lavado) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1% do volume)

Causa de variação	G.L.	Matéria seca	P acumulado
Valor de F ⁽¹⁾			
Fosfatos (F)	5	2,09	2,01
Preparo (P)	1	0,30	0,63
Aplicação (A)	1	12,24**	38,15**
F x P	5	0,18	0,63
F x A	5	1,66	1,01
P x A	1	0,01	0,40
F x P x A	5	0,72	0,65
CV (%)			
		10,2	16,8

⁽¹⁾ ** e *, valor significativos a 1 e 5 %, respectivamente.

4.4.2.2. Quantidade de P acumulado na parte aérea

A análise de variância considerando-se os 6 fosfatos acidulados, 2 modos de preparo e 2 modos de aplicação (Tabela 44) evidenciam, a exemplo do que ocorreu para produção de matéria seca, efeito apenas para modo de aplicação, só que neste caso com vantagem para a forma localizada (38,5 mg/vaso) sobre a incorporação em volume total de terra do vaso (30,1 mg/vaso).

No caso da análise de variância desconsiderando-se o modo de preparo, porém incluindo-se o fosfato monocálcico p.a. e os fosfatos não acidulados (Tabela 45), além do efeito do modo de aplicação verificou-se também efeito para fosfatos. No caso do modo de aplicação, a vantagem foi para a forma localizada (37,2 mg de P acumulado) sobre a incorporação em volume total de terra (30,1 mg).

A Tabela 46 compara as médias para fosfatos, as quais evidenciam vantagem do FM p.a. e FDEIND lavado em relação ao FMAR. Este resultado foi parcialmente previsto pelos resultados de análise de terra, em amostras coletadas logo após a colheita do experimento IV (Tabela 43).

As informações obtidas neste experimento sugerem, com poucas exceções, que não houve diferença entre fosfatos e modos de preparo dos mesmos na avaliação do efeito residual em primeiro plantio dos tratamentos empregados no experimento IV.

Tabela 45. Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca e fósforo acumulado referentes ao experimento V (primeira avaliação do efeito residual dos fosfatos aplicados no experimento IV) considerando-se os fatores: 17 fontes de fósforo (6 fosfatos acidulados originais, 6 fosfatos acidulados lavados, 1 termofosfato, 3 fosfatos naturais e o fosfato monocálcico p.a.) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1% do volume)

Causa de variação	G.L.	Matéria seca	P acumulado
Valor de F ⁽¹⁾			
Fosfatos (F)	16	1,54	1,92*
Aplicação (A)	1	18,4**	43,30**
F x A	16	0,88	0,87
CV (%)			
		9,8	16,2

⁽¹⁾ ** e *, valores significativos a 1 e 5 %, respectivamente

Tabela 46. Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, termofosfato, fosfatos naturais e fosfato monocálcico p.a.), na quantidade de fósforo acumulado por plantas de milho (efeito residual em primeiro plantio) cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 6 repetições) ⁽¹⁾

Fontes de P ⁽²⁾	P acumulado
	mg/vaso
MFM original	32,9ab
01-18-00 original	33,7ab
SSIMPLES original	32,9ab
FNPA original	31,6ab
STRIPLO original	35,1ab
FDEIND original	36,4ab
MFM lavado	30,1ab
01-18-00 lavado	34,1ab
SSIMPLES lavado	37,5ab
FNPA lavado	32,9ab
STRIPLO lavado	34,7ab
FDEIND lavado	39,8a
TF	29,8ab
FMAR	29,8b
FCN	32,9ab
FGAFSA	35,1ab
FM p.a	35,7a

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fonte de fósforo: MFM= multi fosfato magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSIMPLES= superfosfato simples; FNPA= fosfato natural parcialmente acidulado; STRIPLO= superfosfato triplo; FDEIND= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do Maranhão; FCN= fosfato natural da Carolina do Norte; FG= fosfato natural de Gafsa; FM p.a.= padrão utilizado, fosfato monocálcico p.a.; preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

4.4.3. Experimento VI

Diante do pequeno efeito dos fosfatos e do modo de preparo obtido no experimento V (primeiro plantio para avaliação do efeito residual do Experimento IV), a expectativa seria da atuação destes fatores em um próximo cultivo, e por este motivo conduziu-se o experimento VI, no qual pretendia-se avaliar o efeito residual em segundo plantio.

4.4.3.1. Produção de matéria seca

Os valores de F e C.V. da análise de variância considerando-se o fatorial 6 fosfatos acidulados, 2 modos de preparo e 2 modos de aplicação encontram-se na Tabela 47. Observa-se que houve efeito apenas para o modo de preparo dos fosfatos, sendo que o teste de Tukey mostrou vantagem dos lavados (10,1 g) sobre os originais (9,2 g). Este resultado indica, de forma inversa à do primeiro plantio, que após dois cultivos de milho a tendência é de os fosfatos lavados terem eficiência superior à dos originais. Isto pode estar ocorrendo devido a menor solubilidade dos fosfatos lavados, o que conduziria a uma menor fixação de fósforo nas amostras de terra, com fornecimento gradual do elemento às plantas, e ainda, devido ao esgotamento do fósforo das fontes originais pela maior extração pelas plantas.

A análise de variância considerando o fosfato monocálcico p.a. e os fosfatos não acidulados, porém desconsiderando o modo de preparo (Tabela 48), não mostrou efeito para os fatores estudados.

Tabela 47. Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca, fósforo acumulado e teor de P-resina referentes ao experimento VI (segunda avaliação do efeito residual dos fosfatos aplicados no experimento IV) considerando-se os fatores: 6 fosfatos acidulados comerciais, 2 modos de preparo dos fosfatos (original e lavado) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1% do volume)

Causa de variação	G.L.	Matéria seca	P acumulado	Teor P-resina
Valor de F ⁽¹⁾				
Fosfatos (F)	5	1,13	0,53	6,09**
Preparo (P)	1	4,14*	5,03*	6,45*
Aplicação (A)	1	2,44	13,49**	7,69**
F x P	5	0,85	1,46	1,64
F x A	5	1,21	1,74	0,73
P x A	1	0,02	0,01	0,38
F x P x A	5	0,20	0,25	1,73
CV (%)				
		19,6	22,4	29,2

⁽¹⁾ ** e *, valor significativa 1 e 5 %, respectivamente.

Tabela 48. Valores de F e coeficientes de variação (CV) para as variáveis matéria seca, fósforo acumulado e teor de P-resina referentes ao experimento VI (segunda avaliação do efeito residual dos fosfatos aplicados no experimento IV) considerando-se os fatores: 17 fontes de fósforo (6 fosfatos acidulados originais, 6 fosfatos acidulados lavados, 1 termofosfato, 3 fosfatos naturais e o fosfato monocálcico p.a.) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1% do volume)

Causa de variação	G.L.	Matéria seca	P acumulado	Teor P na terra
Valor de F ⁽¹⁾				
Fosfatos (F)	16	1,18	1,89*	3,46**
Aplicação (A)	1	1,80	15,46**	8,27**
F x A	16	0,96	1,13	1,29
CV (%)				
		19,1	22,8	38,6

⁽¹⁾ ** e *, valores significativos a 1 e 5 %, respectivamente.

4.4.3.2. Quantidade de P acumulado na parte aérea

A análise de variância do fatorial 6 fosfatos, 2 modos de preparo e 2 modos de aplicação revelou, além da significância para preparo, efeito para o modo de aplicação (Tabela 47). Para preparo o resultado confirmou o que havia ocorrido para matéria seca, com os fosfatos lavados propiciando maior quantidade de P acumulado (25,8 mg) que os fosfatos originais (22,9 miligramas). No caso do modo de aplicação, a vantagem foi para aplicação localizada (26,7 mg), sobre a aplicação em volume total de terra (22,0 mg).

A análise de variância incluindo o fosfato monocálcico p.a. e fosfatos não acidulados e excluindo o modo de preparo (Tabela 48) revelou efeito para os dois fatores isoladamente, porém o teste de médias não distinguiu os dezessete fosfatos. Para o modo de aplicação a vantagem foi para o modo localizado (26,4 mg) sobre a aplicação em volume total de terra (22,1 mg).

Pelos resultados gerais obtidos nos experimentos IV, V e VI pode-se dizer que a tendência foi de as frações solúveis em CNA + H₂O serem mais eficientes que as frações solúveis apenas em CNA em primeiro plantio. No segundo plantio a tendência foi de igualdade e no terceiro o efeito residual mostrou que as frações solúveis apenas em CNA tiveram eficiência maior.

4.4.3.3. Teor de P-resina das amostras de terra

A análise de variância (F e C.V.) quando considerou-se os 6 fosfatos, 2 modos de preparo e 2 modos de aplicação (Tabela 47) indicaram significância para os três fatores isoladamente. Nenhuma interação dupla foi significativa.

A Tabela 49 evidencia que o teor de fósforo nas amostras de terra é maior onde havia sido aplicado FNPA antes do primeiro plantio. Há indícios, portanto, de que esse material poderia propiciar boa produção de matéria seca ou quantidade de P acumulado em próximo cultivo. Desta forma, esta se constitui mais uma evidencia da tendência de inversão da eficiência dos fosfatos no fornecimento de P às plantas.

O teor de fósforo nas amostras de terra para as quais foram aplicados os fosfatos lavados foi superior a quando os mesmos fosfatos foram aplicados na forma original (15,1 versus 12,6 mg dm⁻³ de P). Com relação ao modo de aplicação, houve vantagem do modo localizado (15,2 mg dm⁻³ de P) sobre a incorporação em volume total de terra (12,5 mg dm⁻³ de P).

Tabela 49. Efeito de amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas nos teores de P-resina de amostras de terra coletadas após o experimento VI (média de 17 repetições) ⁽¹⁾

FFA ⁽²⁾	P resina
	mg dm ⁻³
MFM	10,9b
01-18-00	12,1b
SSIMPLES	13,3b
FNPA	19,1a
STRIPLO	14,8ab
9FDEIND	12,9b

(1) Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

(2) FFA: MFM= multi fosfato magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSIMPLES= superfosfato simples; FNPA= fosfato natural parcialmente acidulado; STRIPLO= superfosfato triplo; FDEIND= superfosfato triplo da Flórida.

A análise de variância para o fatorial considerando dezessete fontes de fósforo e dois modos de aplicação, e desconsiderando o modo de preparo, revelou efeito para os dois fatores isoladamente (Tabela 48).

A Tabela 50 evidencia que as fontes 01-18-00 e FNPA originais, SSIMPLES, FNPA, STRIPLO e FDEIND na forma lavada, e TF FCN e FGAFA propiciaram teores mais elevados de fósforo nas amostras de terra após o terceiro cultivo. Como estas fontes, no geral, tiveram menor eficiência no fornecimento de fósforo no primeiro cultivo os dados fornecem indícios de inversão na eficiência agrônômica dos materiais ao longo dos cultivos.

Tabela 50. Efeito de amostras de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, termofosfato, fosfatos naturais e fosfato monocálcico p.a.), no teor de P-resina de amostras de terra coletadas após o experimento VI (média de 6 repetições) ⁽¹⁾

Fontes de P ⁽²⁾	P resina ⁽³⁾
	-----mg dm ⁻³ -----
MFM original	10,2c
01-18-00 original	13,3abc
SSIMPLES original	11,7bc
FNPA original	16,3abc
STRIPLO original	12,2bc
FDEIND original	12,2bc
MFM lavado	11,7bc
01-18-00 lavado	10,8bc
SSIMPLES lavado	14,8abc
FNPA lavado	21,8ab
STRIPLO lavado	17,5abc
FDEIND lavado	13,7abc
TF original	24,2a
FMAR	8,0c
FCN	14,8abc
FGAFSA	15,2abc
FM p.a.	11,0bc

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: MFM= multi fosfato magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSIMPLES= superfosfato simples; FNPA= fosfato natural parcialmente acidulado; STRIPLO= superfosfato triplo; FDEIND= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do Maranhão; FCN= fosfato natural da Carolina do Norte; FGAFSA= fosfato natural de Gafsa; F.M. p.a.= fosfato monocálcico p.a.; preparo das fontes aciduladas: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P₂O₅ solúvel em água.

⁽³⁾ Extração pelo método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 1983a)

Para o modo de aplicação têm-se que os fosfatos aplicados de forma localizada apresentaram teores de fósforo maior ($15,6 \text{ mg dm}^{-3}$ de P) que os aplicados em volume total de terra ($12,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de P).

4.4.4. Quantidade total de P acumulado pelas plantas nos experimentos IV, V e VI

Os resultados obtidos nos experimentos IV, V e VI demonstraram uma tendência bastante clara de inversão de eficiência dos fosfatos ao longo dos plantios, com os originais propiciando melhores resultados no primeiro e os lavados, e ainda, os não acidulados, aumentando sua eficiência nos outros dois plantios. Neste estudo, foram avaliados os resultados de P acumulado pelas plantas de milho nos três plantios.

A análise de variância considerando-se os fatores 6 fosfatos, 2 modos de preparo e 2 modos de aplicação encontra-se na Tabela 51. Observa-se significância para a interação dupla modo de preparo x modo de aplicação. A comparação das médias permitiu, entretanto, verificar que a única diferença significativa ocorreu para o modo de aplicação dentro dos fosfatos na forma original, com vantagem para a aplicação localizada ($83,6 \text{ mg}$) em relação à aplicação em volume total de terra no vaso ($76,0 \text{ mg}$).

O resultado evidencia, portanto, que a fração solúvel apenas em CNA, embora tenha eficiência menor no primeiro plantio, quando computado o efeito residual de três plantios apresenta eficiência idêntica à dos fosfatos na forma original.

Estas informações devem ser levadas em consideração quando do cálculo da dose de P_2O_5 a ser aplicada em culturas. No caso de culturas exigentes em P e de ciclo curto deve-se aumentar a dose para os fosfatos acidulados que possuam elevada proporção da fração solúvel apenas em CNA, cuja eficiência seja comprovadamente menor, enquanto em culturas vindouras e nas de ciclo longo pode-se considerar o efeito residual das frações de P_2O_5 solúvel apenas em CNA dos mesmos.

Tabela 51. Valor de F e coeficiente de variação (CV) para a variável fósforo acumulado referente aos experimentos IV, V e VI (somatória do P acumulado nos três) considerando-se os fatores: 6 fosfatos acidulados comerciais, 2 modos de preparo dos fosfatos (original e lavado) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1 % do volume)

Causa de variação	G.L.	P acumulado
Valor de F ⁽¹⁾		
Fosfatos (F)	5	1,33
Preparo (P)	1	0,00
Aplicação (A)	1	1,54
F x P	5	0,50
F x A	5	1,50
P x A	1	6,07*
F x P x A	5	0,86
CV (%)		
10,9		

⁽¹⁾ ** e *, valores significativos a 1 e 5 %, respectivamente.

Pode-se ainda inferir que as impurezas dos fertilizantes estudados não devem ser vistas como produtos completamente indesejáveis em fertilizantes fosfatados. Isto, aliás, já havia sido conclusão do trabalho de SIKORA et al. (1992) para fosfatos dos EUA. Estes autores afirmam que o fósforo presente nas impurezas pode não ser imediatamente solúvel, porém os dados de solubilidade predizem que eles devem dissolver em tempo de liberar fósforo para as plantas ou formar compostos menos solúveis.

A análise de variância incluindo o fosfato monocálcico p.a. e os fosfatos não acidulados (Tabela 52) mostrou efeito para o fator fosfato e também para a interação dupla.

No modo de aplicação em volume total de terra verifica-se que, com exceção do FMAR que propiciou menor quantidade de P acumulado do que o STRIPLO lavado e FGAFSA, todas as fontes de fósforo apresentaram eficiência semelhante, não diferindo inclusive do fosfato monocálcico p.a. (Tabela 53).

No modo de aplicação localizado existiram outras diferenças, com vários fosfatos apresentando eficiências menores que as do padrão (FNPA na forma original e lavada, STRIPLO na forma lavada e todos os não acidulados). Demonstra-se, desta forma, que a fração solúvel apenas em CNA do FNPA e STRIPLO é de baixa eficiência. Os resultados evidenciam que os fosfatos não acidulados, mesmo considerando-se os três plantios, apresentam, quando localizados antes do primeiro plantio e homogeneizados no segundo e terceiro, eficiência menor que os acidulados.

Com relação ao modo de aplicação têm-se que para o SSIMPLES original, o STRIPLO original e o FM p.a. houve maior acúmulo de P para a aplicação localizada do que para a incorporada, enquanto apenas o FGAFSA mostrou-se melhor na forma de aplicação em volume total de terra.

Verifica-se ainda que, de todos os fosfatos testados, a melhor opção foi o padrão, o fosfato monocálcico p.a., quando aplicado de forma localizada (quantidade de P acumulado de 101,7 mg/vaso), o qual teve taxa de recuperação de fósforo de 72,6 % para os três plantios considerados. Já o FMAR na forma localizada foi o que apresentou menor eficiência, obtendo taxa de recuperação de 40 %.

Tabela 52. Valor de F e coeficiente de variação (CV) para a. variável fósforo acumulado referente aos experimentos IV, V e VI (somatória do P acumulado nos três) considerando-se os fatores: 17 fontes de fósforo (6 fosfatos acidulados originais, 6 fosfatos acidulados lavados, 1 termofosfato, 3 fosfatos naturais e o fosfato monocálcico p.a.) e 2 modos de aplicação dos fosfatos (volume total de terra no vaso e 1% do volume)

Causa de variação	G.L.	P acumulado
		Valor de F ⁽¹⁾
Fosfatos (F)	16	4,55**
Aplicação (A)	1	0,21
F x A	16	2,61**
		CV (%)
		10,8

⁽¹⁾ ** e *, valores significativos a 1 e 5 %, respectivamente.

Tabela 53. Efeito de fontes de fósforo (amostras de fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, termosfosfato, fosfatos naturais, e fosfato monocálcico p.a.) aplicados na dose de 70 mg kg^{-1} de P, e do modo de aplicação, na quantidade de P acumulado em três experimentos (o original - IV, e dois de efeito residual - V e VI) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (média de 3 repetições) ⁽¹⁾

Fonte de P ⁽²⁾	Modo de aplicação ⁽³⁾	
	Volume total	1% Volume
	-----mg/vaso-----	
MFM original	80,4Aab	81,4Aabc
01-18-00 original	74,4Aab	87,6Aab
SSIMPLES original	74,4Bab	88,2Aab
FNPA original	76,4Aab	71,7Abcd
STRIPLO original	72,9Bab	87,4Aab
FDEIND original	77,2Aab	85,2Aabc
MFM lavado	79,5Aab	79,9Aabcd
01-18-00 lavado	73,8Aab	80,7Aabcd
SSIMPLES lavado	75,7Aab	78,2Aabcd
FNPA lavado	80,4Aab	70,7Abcd
STRIPLO lavado	89,8Aa	76,8Abcd
FDEIND lavado	86,4Aab	84,2Aabc
TF	68,1Aab	61,0Acd
FMAR	62,0Ab	56,1Ad
FCN	78,4Aab	69,1Abcd
FGAFSA	87,9Aa	69,9Bbcd
FM p.a.	79,1Bab	101,7Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

⁽²⁾ Fontes de fósforo: MFM= multi fosfato magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSIMPLES= superfosfato simples; FNPA= fosfato natural parcialmente acidulado; STRIPLO= superfosfato triplo; FDEIND= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do Maranhão; FCN= fosfato natural da Carolina do Norte; FGAFSA= fosfato natural de Gafsa; FM p.a.= padrão utilizado, fosfato monocálcico p.a.; preparo dos fosfatos acidulados: Original= sem lavagem; Lavado= submetido a lavagem para eliminação da fração de P_2O_5 solúvel em água.

⁽³⁾ Modo de aplicação dos fosfatos: Volume total= em mistura com o volume total de terra do vaso; 1% Volume= em mistura com porção de terra correspondente a 1% do volume total de terra do vaso.

5. CONCLUSÕES

- a) A eficiência agronômica dos fosfatos acidulados originais no fornecimento de fósforo para plantas de milho aumentou com o teor de P_2O_5 solúvel em água do fosfato e com a diminuição do teor de impurezas (ferro e alumínio) da matéria-prima.
- b) No primeiro plantio, para a maioria dos fosfatos a fração solúvel apenas em CNA foi menos eficiente em fornecer fósforo às plantas de milho que a fração solúvel em CNA + H_2O . Com a sucessão de cultivos a eficiência daquela fração aumentou, tornando-se superior à desta no terceiro cultivo. Assim, as diferenças entre as frações desapareceram com a sucessão de cultivos.
- c) No primeiro plantio, a eficiência agronômica dos fosfatos acidulados no fornecimento de fósforo para plantas de milho, quando aplicados de forma localizada, foi geralmente inferior à do padrão adotado, o fosfato monocálcico p.a., porém, a exemplo do que ocorreu para as frações solúveis em CNA e CNA+ H_2O , quando se consideraram todos os cultivos, as diferenças desapareceram.

- d) O extrator CNA + H₂O mostrou-se inadequado para avaliar a disponibilidade de fósforo dos fosfatos acidulados estudados para plantas de milho em primeiro plantio.
- e) O modo localizado (1% do volume total de terra no vaso) mostrou-se mais eficiente que a aplicação em volume total de terra, em primeiro plantio, para os fosfatos acidulados com altos percentuais de P₂O₅ solúvel em água dentro da fração solúvel em CNA + H₂O, o inverso se dando para os fosfatos com baixos teores de P₂O₅ solúvel em água na fração solúvel em CNA + H₂O, para os fosfatos não acidulados e para os fosfatos lavados contendo fósforo solúvel apenas em CNA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO, I.O.; MARCONI, A. **Recursos minerais e seu emprego na agricultura.** Piracicaba, FEALQ, 1985. v.1.
- ALCARDE, J.C. Qualidade de fertilizantes e corretivos. In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**, 20., Piracicaba, 1992. **Anais.** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.275-98.
- ALCARDE, J.C.; JACINTHO, A.O. Comparação de tres critérios de laboratório para avaliar o fósforo insolúvel em água dos fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.4, n.3, p.201-3, 1980.
- ALCARDE, J.C.; PONCHIO, C.O. Caracterização das solubilidades das rochas fosfatadas brasileiras e termofosfatos em diferentes extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.4, n.3, p.196-200, 1980.
- ALCARDE, J.C.; PONCHIO, C.O. Solubilidades de fosfatos naturais brasileiros e termofosfatos em soluções de citrato de amônio de diferentes valores de pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, n.1, p.63-5, 1982.
- ALESSI, J.; POWER, J.F. Effects of banded and residual fertilizer phosphorus on dryland spring wheat yield in the Northern plains. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, n.4, p.782-96, 1980.
- ANDO, J.; LEHR, J.R. Ammoniation reactions of superphosphates. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.15, n.4, p.741-50, 1967.
- ANGHINONI, I.; BARBER, S.A. Phosphorus application rate and distribution in the soil and phosphorus uptake by corn. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, n.5, p.1041-4, 1980.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis.** 14 ed. Arlington, AOAC, 1984.

- BAKER, A.M.; TRIMM, J.R.; SIKORA, F.J. Availability of phosphorus in bone meal. **Journal Association of Official Analytical Chemists**, v.72, n.5, p.867-9, 1989.
- BARRETO, A.C. Efeito da acidulação parcial de misturas com superfosfato triplo e enxofre e da granulação na eficiência de fosfatos naturais. Porto Alegre, 1977. 63p. Dissertação (M.S.) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BARTOS, J.M.; MULLINS, G.L.; SIKORA, F.J.; COPELAND, J.P. Availability of phosphorus in the water-insoluble fraction of monoammonium phosphate fertilizers. **Soil Science Society of American Journal**, v.55, n.2, p.539-43, 1991.
- BARTOS, J.M.; MULLINS, G.L.; WILLIAMS, J.C. SIKORA, F.J.; COPELAND, J.P. Water-insoluble impurity effects on phosphorus availability in monoammonium phosphate fertilizers. **Soil Science Society of American Journal**, v.56, n.2, p.972-6, 1992.
- BERGER, K.C.; TRUOG, E. Boron determination in soils and plants using the quinalirazin reaction. **Industrial and engineering chemistry**, v.11, p.540-5, 1939.
- BISWASS, P.P.; GHOSH, G. Temperature effect on kinetics of phosphorus availability from partially water-soluble and citrate-soluble P fractions of nitrophosphate in alkaline alluvial soils. **Journal Indian Society of Soil Science**, v.36, n.1, p.48-52, 1988.
- BOUYOUCOS, G.J. The hydrometer method improved for the mechanical analysis of soil. **Soil Science**, v.23, p.343-53, 1927.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes e biofertilizantes destinados à agricultura; legislação e fiscalização. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Brasília, 1982, 88p. Portaria 01 de 04/03083; Portaria 03 de 12/06/86.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais**. LANARV/Secr. Nac. de defesa agropecuária, 1983. 104p.
- BURNELL, J.R.; DILLARD, E.F. Stable suspension fertilizers from monoammonium phosphate. **Fertilizer Research**, v.26, n.1-3, p.107-11, 1990.
- CATHCART, J.B. World phosphate reserves and resources. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980a. cap. 1, p.1-18.

- CATHCART, J.B. The phosphate industry of the United States. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980b. cap. 2, p. 19-42.
- CEKINSKI, E. Fertilizantes fosfatados. In: CEKINSKI, E. **Tecnologia de produção de fertilizantes**. São Paulo, IPT, 1990. p.95-130. (Publicações IPT; 1816)
- CHAUDHARY, M.R.; PRIHAR, S.S. Comparison of banded and broadcast fertilizer applications in relation to compaction and irrigation in mayze and wheat. **Agronomy Journal**, v.66, p.560-6, 1974.
- CHIEN, S.H.; ADAMS, F.; KHASAWNEH, F.E.; HENAO, J. Effects of combinations of triple superphosphate and a reactive phosphate rock on yield and phosphorus uptake by com. **Soil Science Society of American Journal**, v.51, n.6, p.1656-8, 1987a.
- COOKE, G.W. Phosphorus and potassium fertilizers: their forms and their places in agriculture. **Proceedings Fertilizer Society**, v.92, p.1-45, 1966.
- COSTA, M.P. Efeito da matéria orgânica em alguns atributos do solo. Piracicaba, 1983. 137p. Dissertação (M.S.) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo)
- DILLARD, E.F.; FRAZIER, A.W. **Precipitated impurities in monoammonium phosphate and their effect on chemical and physical properties of suspension fertilizers**. Muscle Shoals, Natl. Fert. Dev. Center, 1983.
- DILLARD, E.F.; FRAZIER, A.W.; WOODS, T.C.; ACHORN, F.P. Precipitated impurities in 18-46-00 fertilizers prepared from wet-process phosphoric acid. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.30, n.2, p.382-8, 1982.
- DILLARD, E.F.; SCHEIB, R.M.; GREENWELL, B.E. **Precipitation of impurities in 9-32-0 grade fluid fertilizers**. Muscle Shoals: Natl. Fert. Dev. Center, 1986. 39p. (TVA bulletin Y-194).
- ENGELSTAD, O.P.; TERMAN, G.L. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. cap. 12, p.311-332.
- EUROPEAN ECONOMIC COMMUNITIES. **Official Journal of the European Communities**, 1976. (L24, 76/116/EEC)

FARLEY, J.A. Comparison of AOAC and ISO methods for extraction of water-soluble phosphates in fertilizers. **Journal Association of Official Analytical Chemistry**, v.72, n.5, p.860-2, 1989.

FERNANDES, F.M. Taranaquita de potássio: formação no solo e liberação de potássio e fósforo para plantas de milho. Piracicaba, 1988. 90p. Tese - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

FRAZIER, A.W.; LEHR, J.R. Iron and aluminum compounds in commercial superphosphates. **Journal of Agriculture and Food Chem**, v.15, n.2, p.348-9, 1967.

FRIEZEN, D.K.; SALE, P.W.G.; BLAIR, G.J. Long term greenhouse evaluation of partially acidulated phosphate rock fertilizers. I. Effect of acidulant and degree of acidulation on availability of P from two phosphate rocks. **Fertilizer Research**, v.13, n.1, p.31-44, 1987.

GARY, M.; McAfee Jr., R.; WOLF, C.L. **Glossary of geology**. Washington: Am. Geolog. Inst. 1972.

GILKES, R.J.; LIM-NUNEZ. Poorly soluble phosphates in Australian superphosphate: Their nature and availability to plants. **Australian Journal of Soil Research**, v.18, n.1, p.85-95, 1980.

GILKES, R.J.; MANGANO, P. Poorly soluble, iron-aluminum phosphates in ammonium phosphate fertilizers: their nature and availability to plants. **Australian Journal of Soil Research**, v.21, n.2, p.183-94, 1983.

GOEDERT, W.J. Avaliação de efeito residual de fosfatos naturais em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária**, v.18, n.5, p.499-506, 1983.

GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. **Anais**. Brasília, OLIVEIRA, A.J.; ESPINOZA, W.; MARCHETTI, D., 1984. p.255-89.

GOVIL, B.P.; PRASAD, R. Growth characters and yield of sorghum as affected by contents of water-soluble P in triple superphosphate/dicalcium phosphate and superphosphate/rock phosphate mixtures. **Journal of Agricultural Science**, v.79, p.485-92, 1972.

HAMMOND, L.L.; CHIEN, S.H.; POLO, J.R. Phosphorus availability from partial acidulation of two phosphate rocks. **Fertilizer Research**, v.1, n.1, p.37-49, 1980.

- HAMMOND, L.L.; CHIEN, S.H.; ROY, A.H.; MOKWUNYE, A.U. Solubility and agronomic effectiveness of partially acidulated phosphate rocks as influenced by their iron and aluminum oxide contents. **Fertilizer Research**, v.19, p.93-8, 1989.
- HANSON, R.G. Effect upon soybean cultivar Bragg when P is band-concentrated upon variable soil-available P. **Agronomy Journal**, v.71, p.267-71, 1978.
- HASEMAN, J.F.; LEHR, J.R.; SMITH, J.P. Mineralogical character of some iron and aluminum phosphates containing potassium and ammonium. **Soil Science Society American Proceedings**, v.15, n.1, p.76-84, 1951.
- HIGGINS, D.J.; BRAITHWAITE, A.C. The determination of phosphate availability for some less conventional phosphate fertilisers. **Fertilizer Research**, v.26, n.1-3, p.271-280, 1990.
- HOWARD, P.F. Phosphate. **Economy Geology**, v.74, p.192-4, 1979.
- HUNDAL, H.S.; ARORA, B.R.; SEKHON, G.S. Effect of the mode of placement of phosphatic fertilizers of different sources on their efficiency. **Indian Journal of Ecology**, v.7, n.2, p.260-7, 1980.
- KANE, P.F.; ORCUTT, A.L.; HUBER, J.H. Comparison of traacs 800 autoanalyzer with official methodology for total and available phosphorus in fertilizer. **Journal Association of Official Analytical Chemistry**, v.72, n.5, p.862-7, 1989.
- KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. The role of phosphorus in agriculture. Madison: American Society of Agronomy, 1980. 910p.
- KNUDSEN, K.C. NPK production by ion-exchange operating experience. In: Proc. ISMA Tech. Conf., Seville, p.20-24 nov. 1972.
- KOCHHANN, R.; ANGHINONI, I.; MIELNICZUK, J. A adubação fosfatada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.29-60.
- LEHR, J.R. Purification of wet-process acid in phosphoric acid. In: SLACK, A.V. **Phosphoric acid**. New York, Marcel Dekker, 1968, cap. 2, p.635-86.
- LEHR, J.R. Phosphate raw materials and fertilizers, Part I - a look ahead. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. cap. 4, p.81-120.
- LEHR, J.R. Impact of phosphate rock quality on fertilizer market uses. **Industry and Mineralogy**, v.200, p.127-53, 1984.

- LEHR, J.R.; BROWN, E.H.; FRAZIER, A.W.; SMITH, J.P. Crystallographic properties of fertilizer compounds. Muscle Shoals: Tenn. Valley Auth., 1967. 166p. (Chem. Eng. Bull., 6)
- LEHR, J.R.; FRAZIER, A.W.; SMITH, J.P. Precipitated impurities in wet-process phosphoric acid. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.14, n.1, p.27-33, 1966.
- LOPES, A.S.; GUIMARÃES, L.R. Fertilizantes e corretivos agrícolas; sugestões de manejo para uso eficiente. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.39-69.
- MALAVOLTA, E.; ALCARDE, J.C. Adequação da legislação sobre fosfatos às tecnologias em desenvolvimento In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 3., Brasília, 1986. Brasília: Ibrafos, 1986. p.173-204.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas; princípios e aplicações. Piracicaba: Assoc. Bras. Pesq. Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MARSHALL, H.L.; HILL, W.L. Composition and properties of superphosphate. **Industry and Engineering Chemistry**, v.44, p.1537-40. 1952.
- MATTINGLY, G.E.G. Evaluation of phosphate fertilizer by solubility tests. London, Fisheries; Food, 1965. (NAAS Advisory papers n. 3)
- MCCLELLAN, G.H.; GREMILLION, L.R. Evaluation of phosphatic raw materials. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. cap. 3, p.43-80.
- McLEAN, E.O.; LOGAN, T.J. Sources of phosphorus for plants grown in soils with different phosphorus fixation tendencies. **Soil Science Society of American Proceedings**, v.34, n.2, p.907-11, 1970.
- MOREL, C.; FARDEAU, J.C. Phosphorus bioavailability of fertilizers: a predictive laboratory method for its evaluation. **Fertilizer Research**, v.28, n.1, p.1-9, 1991.
- MULLINS, G.L. Plant availability of P in commercial superphosphate fertilizers. **Communications on Soil Science and Plant Analysis**, v.19, n.13, p.1509-25, 1988.

- MULLINS, G.L.; EVANS, C.E. Field evaluation of commercial triple superphosphate fertilizers. **Fertilizer Research**, v.25, n.2, p.101-6, 1990
- MULLINS, G.L.; SIKORA, F.J. Field evaluation of commercial monoammonium phosphate fertilizers. **Fertilizer Research**, v.22, n.1, p.1-6, 1990.
- MULLINS, G.L.; SIKORA, F.J.; BARTOS, J.M.; BRYANT, H.H. Plant availability of phosphorus in the water-insoluble fraction of commercial triple superphosphate fertilizers. **Soil Science Society of American Journal**, v.54, n.5, p.1469-72, 1990.
- MULLINS, G.L.; SIKORA, F.J.; WILLIAMS, J.C. Effect of water-soluble phosphorus effects on the effectiveness of triple superphosphate fertilizers. **Soil Science Society of American Journal**, v.59, n.1, p.256-60, 1995.
- NORTHOLT, A.J.G. Phosphate rock: world production, trade, and resources. In: **INDUSTRY MINERALOGY INTERNATIONAL CONGRESS**, 1., London, 1974, p.104-20.
- PALMER, B.; JESSOP, R.S. The relative value of water-soluble and neutral ammonium-citrate soluble phosphorus for wheat production. **Journal in Agricultural Science**, v.98, n.2, p.467-70, 1982.
- PONCHIO, C.O. Solubilidade das rochas fosfatadas nacionais em diferentes extratores químicos. Piracicaba, 1978. 105p. Dissertação (M.S.) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983a. 31p. (Boletim Técnico, 81)
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Potafos, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI Jr., R.; DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983b. 107p. (Boletim Técnico, 100)
- RIEDER, J.H. Destinação racional dos jazimentos fosfáticos nacionais. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA**, 3., Brasília, 1986. **III encontro nacional de rocha fosfática**. Brasília: Ibrafos, 1986. p.135-72.
- ROBINSON, N. Phosphoric acid technology. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. cap. 6, p.151-194.

- SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J.; RACZ, G.J. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of agronomy, 1980. cap. 11, p.263-310.
- SCOTT, W.C.; PATTERSON, G.G.; HODGE, C.A. Status of modern wet-process phosphoric acid technology. **Fertilizers Solutions**, v.18, p.62-77, 1974.
- SIKORA, F.J.; COPELAND, J.P.; MULLINS, G.L. Apparent solubility products of phosphorus impurity compounds in commercial monoammonium phosphate fertilizers. **Soil Science Society of American Journal**, v.56, n.2, p.402-7, 1992.
- SIKORA, F.J.; COPELAND, J.P.; MULLINS, G.L.; BARTOS, J.M. Phosphorus dissolution kinetics and bioavailability of water-insoluble fractions from monoammonium phosphate fertilizers. **Soil Society of American Journal**, v.55, n.2, p.362-8, 1991.
- SIKORA, F.J.; DILLARD, E.J.; COPELAND, J.P.; MULLINS, G.L. Chemical characterization and bioavailability of phosphorus in water-insoluble fractions of three monoammonium phosphate fertilizers. **Journal Association of Official Analytical Chemistry**, v.72, n.5, p.852-6, 1989.
- SILVA, R.M. Solubilização de rochas fosfáticas; práticas adotadas e rendimentos industriais. In: SEMINÁRIO SOBRE RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO, São Paulo, 1987. São Paulo: Ibrafos, 1987. p.213-77.
- SINDEN, J. MFM-magnesium multiphosphate. **Phosphorus and potassium**, v.167, p.20-25, maio-junho 1990.
- SMITH, J.P.; BROWN, W.E. X-ray studies of aluminum and iron phosphates containing potassium or ammonium. **America mineralogist**, v.44, p.138-42, 1959.
- SOLUBLO, R.A.; AGBOOLA, A.A.; FAYEMI, A.A. Effect of P placement on yield of tomatoes in Southwestern Nigéria. **Agronomy Journal**, v.70, p.521-4, 1978.
- SOUZA, D.M.G. Reações de grânulos de superfosfato triplo em solos e seus efeitos imediatos e residuais sobre as culturas. Porto Alegre, 1980. 90p. Dissertação (M.S.) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TAYLOR, A.W.; GURNEY, E.L.; LINDSAY, W.L. An evaluation of some iron and aluminum phosphates as sources of phosphate for plants. **Soil Science**, v.90, n.1, p.25-31, 1960.
- TERMAN, G.L. Phosphate fertiliser sources: agronomic effectiveness in relation to chemical and physical properties. **Proceedings Fertility Society**, v.123, p.1-39, 1971.

- TERMAN, G.L.; ALLEN, S.E. Response of corn to phosphorus in under acidulated phosphate rock and rock-superphosphate fertilizers. **Journal in Agriculture and Food Chemistry**, v.15, n.2, p.354-8, 1967.
- TERMAN, G.L.; BOULDIN, D.R.; WEBB, J.R. Evaluation of fertilizers by biological methods. **Advances in Agronomy**, v.14, n.1, p.265-319, 1962.
- TERMAN, G.L.; DeMENT, J.D.; ENGELSTAD, O.P. Crop response to fertilizers varying in solubility of the phosphorus, as affected by rate, placement and seasonal environment. **Agron. Journal**, v.53, n.1, p.221-4, 1961.
- TERMAN, G.L.; HOFFMAN, W.M.; WRIGHT. Crop response to fertilizers in relation to content of "available" phosphorus. **Advances in Agronomy**, v.16, n.1, p.59-100, 1964.
- TISDADE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. 4.ed. Nova York. Macmillan Publishing Company, 1985. 754p.
- TRIMM, J.R. Mechanical extraction of available phosphorus in fertilizers. **Journal Association of Official Analytical Chemistry**, v.72, n.5, p.869-71, 1989.
- VARELA, E.B.; SOTRES, G.F.; OJEA, G.F. The use of electroultrafiltration method for investigating P release from synthetic phosphate precipitates. **Agrochimica**, v.35, n.5-6, p.380-9, 1991.
- VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal, FUNEP, 1989. 37p.
- WEBB, J.R.; PESEK, J.T. An evaluation of phosphorus fertilizers varying in water-solubility: I. Hill applications for corn. **Soil Science Society of American Proceedings**, v.22, n.6, p.533-8, 1958.
- WELCH, L.F.; MULVANEY, D.L.; BOONE, L.V.; McDIBBEN, G.E.; PENDLETON, J.W. Relative efficiency of broadcast versus banded phosphorus for corn. **Agronomy Journal**, v.58, n.1, p.283-7, 1966.
- WHITE, M.S. Compounds formed in the manufacture of superphosphate from the phosphates of Christmas and Nauru Islands and Queensland. **New Zealand Journal in Sciences**, v.19, p.421-31, 1976.
- YADAV, V.B.; MISTRY, K.B. Evaluation of reactions products of ammonium ortho- and polyphosphate fertilizers as sources of phosphorus for plants. **Journal Indian Society in. Soil Science**, v.34, n.2, p.286-90, 1986.

YOST, R.S.; KAMPRATH, E.J.; LOBATO, E.; NADERMAN, G. Phosphorus response of corn on an oxisol as influenced by rates and placement. **Soil Science Society of American Journal**, v.43, n.2, p.338-43, 1979.

APÊNDICE

Tabela 1. Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, aplicados na dose de 50 mg kg⁻¹ de P, e ainda, modo de preparo e de aplicação das fontes, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (dados originais para o experimento I)

Fonte ⁽¹⁾	Preparo ⁽²⁾	M. apl. ⁽³⁾	Repetição				Média
			1	2	3	4	
----- g/vaso -----							
FA1	original	Vol. total	12,3	10,8	11,4	11,1	11,4
FA2	original	Vol. total	9,0	9,7	9,1	8,3	9,0
FA3	original	Vol. total	7,7	9,7	8,4	8,3	8,5
FA4	original	Vol. total	7,0	7,7	9,5	7,4	7,9
FA1	lavado	Vol. total	8,0	7,7	7,5	6,7	7,5
FA2	lavadol	Vol. total	6,1	6,6	6,8	6,5	6,5
FA3	lavadol	Vol. total	6,8	7,6	8,1	6,8	7,3
FA4	lavadol	Vol. total	7,9	7,6	7,4	7,0	7,5
FM pa	original	Vol. total	9,4	9,5	10,8	8,9	9,7
FA1	original	1 % Vol.	18,6	17,8	15,7	16,1	17,1
FA2	original	1 % Vol.	14,8	13,2	13,8	14,1	14,0
FA3	original	1 % Vol.	12,6	13,4	15,0	12,8	13,5
FA4	original	1 % Vol.	6,3	6,3	6,7	7,4	6,7
FA1	lavado	1 % Vol.	4,8	5,7	5,3	5,7	5,4
FA2	lavado	1 % Vol.	5,4	6,1	6,2	6,2	6,0
FA3	lavado	1 % Vol.	5,5	8,3	8,9	7,7	7,6
FA4	lavado	1 % Vol.	7,8	6,8	8,1	8,5	7,8
FM pa	original	1 % Vol.	19,1	21,3	23,2	22,1	21,4

⁽¹⁾ Fonte de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de diferentes concentrados apatíticos: GCA concentrado apatítico ~~grosso~~, FCA= concentrado apatítico fino, RCA= concentrado apatítico reflatável, FN= fosfato natural, F.M. p.a.= fosfato monocálcico p.a.

⁽²⁾ Preparo: original= sem lavagem; lavado= com lavagem para eliminação do P₂O₅ solúvel em água.

⁽³⁾ M. Apl.= modo de aplicação; Vol. total= em mistura com o volume total de terra no vaso e 1 % Volume: em mistura com 1 % do volume total de terra do vaso.

Tabela 2. Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, e fosfato monocálcico p.a.), aplicados na dose de 50 mg kg⁻¹ de P, e ainda, modo de preparo e de aplicação das fontes, na concentração de P da matéria seca de plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (dados originais para o experimento I)

Fonte ⁽¹⁾	Preparo ⁽²⁾	M. Apl. ⁽³⁾	Repetição				MÉDIA
			1	2	3	4	
----- % -----							
FA1	original	Vol. total	0,13	0,13	0,19	0,14	0,15
FA2	original	Vol. total	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
FA3	original	Vol. total	0,14	0,16	0,15	0,15	0,15
FA4	original	Vol. total	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
GCA	lavado	Vol. total	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
FCA	lavado	Vol. total	0,14	0,14	0,14	0,13	0,14
RCA	lavado	Vol. total	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14
FN	lavado	Vol. total	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
FM pa	original	Vol. total	0,14	0,14	0,13	0,13	0,14
FA1	original	1 % Vol.	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
FA2	original	1 % Vol.	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12
FA3	original	1 % Vol.	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
FA4	original	1 % Vol.	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13
FA1	lavado	1 % Vol.	0,13	0,12	0,12	0,10	0,12
FA2	lavado	1 % Vol.	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
FA3	lavado	1 % Vol.	0,11	0,13	0,13	0,13	0,13
FA4	lavado	1 % Vol.	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
FM pa	original	1 % Vol.	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14

⁽¹⁾ Fonte de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de diferentes concentrados apatíticos: GCA concentrado apatítico grosso, FCA= concentrado apatítico fino, RCA= concentrado apatítico refluotável, FN= fosfato natural; F.M. p.a.= fosfato monocálcico p.a.

⁽²⁾ Preparo: original= sem lavagem; lavado= com lavagem para eliminação do P₂O₅ solúvel em água.

⁽³⁾ M. Apl.= modo de aplicação; Vol. total= em mistura com o volume total de terra no vaso e 1 % Volume: em mistura com 1 % do volume total de terra do vaso.

Tabela 3. Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, e fosfato monocálcico p.a.), aplicados na dose de 50 mg kg⁻¹ de P, e ainda, modo de preparo e de aplicação dos fosfatos no teor de P-resina de amostras de terra coletadas após a colheita do milho cultivado por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (dados originais para o experimento I)

Fonte ⁽¹⁾	Preparo ⁽²⁾	M. Apl. ⁽³⁾	Repetição				MÉDIA
			1	2	3	4	
----- mg dm ⁻³ -----							
FA1	original	Vol. total	20	12	11	18	15,3
FA2	original	Vol. total	11	11	16	16	13,5
FA3	original	Vol. total	17	13	14	16	15,0
FA4	original	Vol. total	18	18	14	14	16,0
FA1	lavado	Vol. total	15	18	14	15	15,5
FA2	lavado	Vol. total	11	13	16	15	13,8
FA3	lavado	Vol. total	22	22	19	21	21,0
FA4	lavado	Vol. total	17	17	17	19	17,5
FM pa	original	Vol. total	16	17	23	18	18,5
FA1	original	1 % Vol.	127	54	66	104	87,8
FA2	original	1 % Vol.	94	89	96	54	83,3
FA3	original	1 % Vol.	73	61	82	63	69,8
FA4	original	1 % Vol.	97	62	52	67	69,5
FA1	lavado	1 % Vol.	43	59	39	24	41,3
FA2	lavado	1 % Vol.	34	48	34	29	36,3
FA3	lavado	1 % Vol.	43	44	44	52	45,8
FA4	lavado	1 % Vol.	79	82	89	56	76,5
FM pa	original	1 % Vol.	53	95	71	61	70,0

⁽¹⁾ Fonte de fósforo= FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de diferentes concentrados apatíticos: GCA concentrado apatítico grosso, FCA= concentrado apatítico fino, RCA= concentrado apatítico reflatável, FN= osfato natural; F.M. p.a.= fosfato monocálcico p.a.

⁽²⁾ Preparo: original= sem lavagem; lavado= com lavagem para eliminação do P₂O₅ solúvel em água.

⁽³⁾ M. Apl.= modo de aplicação; Vol. total= em mistura com o volume total de terra no vaso e 1 % Volume: em mistura com 1 % do volume total de terra do vaso.

Tabela 4. Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, aplicados em diferentes doses - 0, 50 e 100 mg kg⁻¹ de P - e fosfato monocálcico p.a. nas doses 0, 25, 50, 100, 200 e 400 mg kg⁻¹ de P), e ainda, modo de preparo e de aplicação dos fosfatos, na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (dados originais para o experimento II)

Fonte ⁽¹⁾	Preparo	M. Apl.	Dose (mg kg ⁻¹ de P)									
			25		50		100		200		400	
			repetição		repetição		repetição		repetição		repetição	
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
g/vaso												
FA1	original	VT			20,0	23,9	32,2	33,9				
FA2	original	VT			22,1	19,3	29,3	26,9				
FA3	original	VT			21,9	20,1	28,8	31,7				
FA4	original	VT			22,6	22,2	29,9	27,0				
FA1	lavado	VT			16,7	18,8	25,2	24,8				
FA2	lavado	VT			17,5	20,0	26,9	25,1				
FA3	lavado	VT			19,7	20,7	33,1	30,0				
FA4	lavado	VT			24,3	20,3	30,1	26,5				
FM p.a.		VT	19,9	19,8	26,5	23,0	41,7	34,4	49,4	44,8	56,8	62,8
FA1	original	1 %			25,9	22,4	31,5	22,0				
FA2	original	1 %			21,0	21,2	26,5	26,9				
FA3	original	1 %			15,9	16,4	30,3	26,8				
FA4	original	1 %			12,2	11,1	17,2	18,0				
FA1	lavado	1 %			13,3	11,2	14,6	14,9				
FA2	lavado	1 %			11,2	11,1	12,8	14,3				
FA3	lavado	1 %			12,4	11,7	12,5	13,4				
FA4	lavado	1 %			15,0	15,9	18,0	19,4				
FM p.a.	original	1 %	15,6	17,6	33,0	30,6	40,4	45,7	47,4	44,1	49,9	49,5

⁽¹⁾ Fonte de fósforo= FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de diferentes concentrados apatíticos: GCA concentrado apatítico grosso, FCA= concentrado apatítico fino, RCA= concentrado apatítico reflatável, FN= Fosfato natural; F.M. p.a.= fosfato monocálcico p.a.

⁽²⁾ Preparo: original= sem lavagem; lavado= com lavagem para eliminação do P₂O₅ solúvel em água.

⁽³⁾ M. Apl.= modo de aplicação; Vol. total= em mistura com o volume total de terra no vaso e 1 % Volume: em mistura com 1 % do volume total de terra do vaso.

Tabela 5. Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, aplicados em diferentes doses - 0, 50 e 100 mg kg⁻¹ de P - e do fosfato monocálcico p.a. nas doses 0, 25, 50, 100, 200 e 400 mg kg⁻¹ de P), e ainda, modo de preparo e de aplicação dos fosfatos, na concentração de P na matéria seca de plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (dados originais para o experimento II)

Fonte ⁽¹⁾	Preparo	M. Apl.	Dose (mg kg ⁻¹ de P)									
			25		50		100		200		400	
			repetição		repetição		repetição		repetição		repetição	
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
%												
FA1	original	VT			0,12	0,11	0,12	0,10				
FA2	original	VT			0,08	0,06	0,08	0,07				
FA3	original	VT			0,07	0,08	0,08	0,08				
FA4	original	VT			0,08	0,08	0,08	0,08				
FA1	lavado	VT			0,07	0,08	0,08	0,08				
FA2	lavado	VT			0,07	0,08	0,07	0,08				
FA3	lavado	VT			0,08	0,07	0,07	0,08				
FA4	lavado	VT			0,06	0,05	0,06	0,06				
FM p.a.		VT	0,05	0,08	0,06	0,08	0,06	0,08	0,10	0,13	0,22	0,20
FA1	original	1 %			0,05	0,09	0,09	0,09				
FA2	original	1 %			0,09	0,14	0,10	0,13				
FA3	original	1 %			0,12	0,11	0,12	0,12				
FA4	original	1 %			0,12	0,13	0,12	0,12				
FA1	lavado	1 %			0,13	0,13	0,13	0,13				
FA2	lavado	1 %			0,14	0,13	0,13	0,12				
FA3	lavado	1 %			0,12	0,12	0,12	0,12				
FA4	lavado	1 %			0,12	0,11	0,11	0,11				
FM p.a.	original	1 %	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,13	0,15	0,19	0,23	0,26

⁽¹⁾ Fonte de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de diferentes concentrados apatíticos: GCA concentrado apatítico grosso, FCA= concentrado apatítico fino, RCA= concentrado apatítico reflowável, FN= fosfato natural; F.M. p.a.= fosfato monocálcico p.a.

⁽²⁾ Preparo: original= sem lavagem; lavado= com lavagem para eliminação do P₂O₅ solúvel em água.

⁽³⁾ M. Apl.= modo de aplicação; Vol. total= em mistura com o volume total de terra no vaso e 1 % Volume: em mistura com 1 % do volume total de terra do vaso.

Tabela 6. Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, aplicados nas doses 0, 50 e 100 mg kg⁻¹ de P para todas as fontes e do fosfato monocálcico p.a. aplicado nas doses 0, 25, 50, 100, 200 e 400 mg kg⁻¹ de P) e ainda, modo de preparo e de aplicação dos fosfatos, na produção de matéria seca (efeito residual em primeiro plantio) por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (dados originais para o experimento III)

Fonte ⁽¹⁾	Preparo	M. Apl.	Dose (mg kg ⁻¹ de P)									
			25		50		100		200		400	
			repetição		repetição		repetição		repetição		repetição	
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
g/vaso												
FA1	original	VT			13,9	15,7	18,2	14,3				
FA2	original	VT			13,5	14,4	15,9	17,4				
FA3	original	VT			14,5	16,9	16,8	17,9				
FA4	original	VT			13,6	14,2	17,5	15,3				
FA1	lavado	VT			16,1	15,3	17,2	16,9				
FA2	lavado	VT			14,8	13,7	16,0	16,4				
FA3	lavado	VT			16,1	16,7	16,0	17,1				
FA4	lavado	VT			15,6	14,0	16,2	17,7				
FM p.a.		VT	12,3	11,9	16,4	15,7	14,0	16,6	14,6	15,4	15,0	62,8
FA1	original	1 %			14,3	15,8	15,3	15,7				
FA2	original	1 %			15,6	11,6	16,0	16,0				
FA3	original	1 %			14,9	14,6	15,3	15,6				
FA4	original	1 %			9,3	11,9	16,2	16,5				
FA1	lavado	1 %			14,0	10,7	15,0	13,8				
FA2	lavado	1 %			13,5	15,5	13,5	16,3				
FA3	lavado	1 %			16,2	12,9	12,7	16,8				
FA4	lavado	1 %			12,0	14,7	20,0	16,7				
FM p.a.	original	1 %	13,7	12,8	15,2	13,4	15,3	14,7	14,1	15,3	16,1	15,4

⁽¹⁾ Fonte de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de diferentes matérias-primas: GCA concentrado apatítico grosso, FCA= concentrado apatítico fino, RCA= concentrado apatítico reflatável, FN= fosfato natural; F.M. p.a.= fosfato monocálcico p.a.

⁽²⁾ Preparo: original= sem lavagem; lavado= com lavagem para eliminação do P₂O₅ solúvel em água.

⁽³⁾ M. Apl.= modo de aplicação; Vol. total= em mistura com o volume total de terra no vaso e 1 % Volume: em mistura com 1 % do volume total de terra do vaso.

Tabela 7. Efeito de fontes de fósforo (fosfatos acidulados com diferentes composições químicas, aplicados nas doses 0, 50 e 100 mg kg⁻¹ de P, e do fosfato monocálcico p.a. aplicado nas doses 0, 25, 50, 100, 200 e 400 mg kg⁻¹ de P), e ainda, modo de preparo e de aplicação dos fosfatos, na concentração de P (efeito residual em primeiro plantio) na matéria seca de plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (dados originais para o experimento III)

Fonte ⁽¹⁾	Preparo	M. Apl.	Dose (mg kg ⁻¹ de P)									
			25		50		100		200		400	
			repetição		repetição		repetição		repetição		repetição	
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
%												
FA1	original	VT			0,12	0,10	0,12	0,13				
FA2	original	VT			0,09	0,11	0,12	0,11				
FA3	original	VT			0,11	0,10	0,12	0,10				
FA4	original	VT			0,10	0,09	0,10	0,10				
FA1	lavado	VT			0,09	0,10	0,09	0,10				
FA2	lavado	VT			0,09	0,10	0,11	0,09				
FA3	lavado	VT			0,08	0,10	0,10	0,10				
FA4	lavado	VT			0,11	0,11	0,14	0,13				
FM p.a.		VT	0,10	0,12	0,11	0,12	0,17	0,15	0,22	0,19	0,31	0,25
FA1	original	1 %			0,10	0,10	0,10	0,13				
FA2	original	1 %			0,10	0,10	0,13	0,14				
FA3	original	1 %			0,12	0,12	0,12	0,12				
FA4	original	1 %			0,10	0,11	0,12	0,11				
FA1	lavado	1 %			0,10	0,12	0,11	0,11				
FA2	lavado	1 %			0,11	0,10	0,11	0,12				
FA3	lavado	1 %			0,14	0,10	0,13	0,15				
FA4	lavado	1 %			0,10	0,09	0,09	0,10				
FM p.a.	original	1 %	0,07	0,10	0,09	0,10	0,10	0,12	0,16	0,14	0,22	0,27

(1) Fonte de fósforo: FA1, FA2, FA3 e FA4= fosfatos acidulados produzidos a partir de diferentes matérias-primas: GCA concentrado apatítico grosso, FCA= concentrado apatítico fino, RCA= concentrado apatítico refluotável, FN= fosfato natural; F.M. p.a.= fosfato monocálcico p.a.

(2) Preparo: original= sem lavagem; lavado= com lavagem para eliminação do P₂O₅ solúvel em água.

(3) M. Apl.= modo de aplicação; Vol. total= em mistura com o volume total de terra no vaso e 1 % Volume: em mistura com 1 % do volume total de terra do vaso.

Tabela 8. Efeito de fontes de fósforo, aplicados na dose de 70 mg kg⁻¹ de P, modo de preparo e de aplicação das fontes na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (dados originais para o experimento IV)

Fosfato	Preparo	M. Apl.	Repetição			Média
			1	2	3	
g/vaso						
FMM	original	Vol. total	22,5	18,8	18,9	20,0
01-18-00	original	Vol. total	20,7	22,0	20,9	21,2
SSimples	original	Vol. total	18,0	23,7	23,0	21,5
Fosnap	original	Vol. total	20,0	20,2	19,3	19,8
STriplo	original	Vol. total	21,3	27,3	23,6	24,1
FDeind	original	Vol. total	26,4	20,9	21,9	23,1
FMM	lavado	Vol. total	24,9	18,4	29,5	24,3
01-18-00	lavado	Vol. total	23,2	17,8	17,1	19,4
SSimples	lavado	Vol. total	18,5	21,7	25,8	22,0
Fosnap	lavado	Vol. total	16,8	21,3	17,3	18,4
STriplo	lavado	Vol. total	22,5	24,4	24,7	23,9
FDeind	lavado	Vol. total	25,3	22,4	23,2	23,6
TF	original	Vol. total	16,0	16,0	12,3	14,8
FMAR	original	Vol. total	15,3	21,1	17,7	18,0
FCN	original	Vol. total	12,9	13,9	13,8	13,6
FGAFSA	original	Vol. total	12,3	10,7	9,7	10,9
FM p.a.	original	Vol. total	24,7	21,6	23,9	23,4
FMM	original	1 % Vol.	24,9	22,6	20,4	22,6
01-18-00	original	1 % Vol.	26,0	21,1	25,5	24,2
SSimples	original	1 % Vol.	26,8	26,6	21,8	25,1
Fosnap	original	1 % Vol.	14,5	21,9	19,7	18,7
STriplo	original	1 % Vol.	35,2	26,1	23,3	28,2
FDeind	original	1 % Vol.	23,7	24,1	26,7	24,8
FMM	lavado	1 % Vol.	20,0	15,2	24,1	19,8
01-18-00	lavado	1 % Vol.	11,5	12,2	10,2	11,3
SSimples	lavado	1 % Vol.	13,3	10,8	11,7	11,9
Fosnap	lavado	1 % Vol.	8,8	11,2	10,0	10,0
STriplo	lavado	1 % Vol.	5,2	9,5	5,8	6,8
FDeind	lavado	1 % Vol.	8,8	8,0	8,0	8,2
TF	original	1 % Vol.	7,8	8,2	7,0	7,7
FMAR	original	1 % Vol.	5,8	6,5	5,3	5,84
FCN	original	1 % Vol.	4,8	4,4	5,8	5,0
FGAFSA	original	1 % Vol.	4,9	5,3	4,4	4,9
FM p.a.	original	1 % Vol.	33,0	32,5	31,4	32,3

(1) Fosfato: FMM= fosfato multi magnésiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSimples= superfosfato simples; Fosnap= fosfato natural parcialmente acidulado; STriplo= superfosfato triplo; FDeind= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do Maranhão; FCN= fosfato natural da Carolina do Norte; Fgafsa= fosfato natural de Gafsa; FM p.a.= fosfato monocalcico p.a.

(2) Preparo: original= sem lavagem; lavado= com lavagem para eliminação do P₂O₅ solúvel em água

(3) M. Apl.= modo de aplicação: Vol. total= incorporado com o volume total de terra no vaso; 1 % Vol.= incorporado com 1 % do volume total de terra.

Tabela 9. **Efeito** de fontes de fósforo, aplicados na dose de 70 mg kg⁻¹ de P, modo de preparo e de aplicação das fontes na concentração de P na matéria seca de plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (dados originais para o experimento IV)

Fosfato	Preparo	M. Apl.	Repetição			Média
			1	2	3	
			%			
FMM	original	Vol. total	0,12	0,16	0,13	0,14
01-18-00	original	Vol. total	0,12	0,12	0,10	0,11
SSimples	original	Vol. total	0,17	0,11	0,14	0,14
Fosnap	original	Vol. total	0,11	0,13	0,12	0,12
STriplo	original	Vol. total	0,10	0,09	0,12	0,10
FDeind	original	Vol. total	0,08	0,09	0,13	0,10
FMM	lavado	Vol. total	0,13	0,14	0,08	0,12
01-18-00	lavado	Vol. total	0,11	0,14	0,16	0,14
SSimples	lavado	Vol. total	0,14	0,11	0,11	0,12
Fosnap	lavado	Vol. total	0,16	0,12	0,13	0,14
STriplo	lavado	Vol. total	0,13	0,13	0,15	0,14
FDeind	lavado	Vol. total	0,11	0,12	0,12	0,12
TF	original	Vol. total	0,12	0,16	0,17	0,15
FMAR	original	Vol. total	0,12	0,11	0,09	0,11
FCN	original	Vol. total	0,14	0,17	0,15	0,15
FGAFSA	original	Vol. total	0,20	0,20	0,22	0,21
FM p.a.	original	Vol. total	0,11	0,12	0,14	0,13
FMM	original	1 % Vol.	0,07	0,10	0,09	0,09
01-18-00	original	1 % Vol.	0,09	0,09	0,08	0,09
SSimples	original	1 % Vol.	0,06	0,09	0,09	0,08
Fosnap	original	1 % Vol.	0,11	0,07	0,06	0,08
STriplo	original	1 % Vol.	0,08	0,11	0,07	0,09
FDeind	original	1 % Vol.	0,10	0,14	0,08	0,11
FMM	lavado	1 % Vol.	0,08	0,10	0,09	0,09
01-18-00	lavado	1 % Vol.	0,07	0,09	0,09	0,08
SSimples	lavado	1 % Vol.	0,08	0,10	0,08	0,09
Fosnap	lavado	1 % Vol.	0,10	0,09	0,10	0,10
STriplo	lavado	1 % Vol.	0,14	0,13	0,12	0,13
FDeind	lavado	1 % Vol.	0,10	0,12	0,09	0,10
TF	original	1 % Vol.	0,10	0,08	0,10	0,09
FMAR	original	1 % Vol.	0,11	0,10	0,12	0,11
FCN	original	1 % Vol.	0,10	0,18	0,09	0,12
FGAFSA	original	1 % Vol.	0,13	0,10	0,13	0,12
FM p.a.	original	1 % Vol.	0,11	0,12	0,11	0,12

(1) **Fosfato:** FMM= fosfato multi magnésiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSimples= superfosfato simples; Fosnap= fosfato natural parcialmente acidulado; STriplo= superfosfato triplo; Fdeind= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do Maranhão; FCN= fosfato natural da Carolina do Norte; Fgafsa= fosfato natural de Gafsa; FM p.a.= fosfato monocalcico p.a.

(2) **Preparo:** original= sem lavagem; lavado= com lavagem para eliminação do P₂O₅ solúvel em água

(3) **M. Apl.=** modo de aplicação: Vol. total= incorporado com o volume total de terra no vaso; 1 % Vol.= incorporado com 1 % do volume total de terra.

Tabela 10. Efeito de fontes de fósforo, aplicados na dose de 70 mg kg⁻¹ de P, modo de preparo e de aplicação das fontes no teor de P-resina de amostras de terra coletadas logo após a colheita do milho cultivado por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (dados originais para o experimento IV)

Fosfato	Preparo	M. Apl.	Repetição			Média
			1	2	3	
			mg dm ⁻³			
FMM	original	Vol. total	20	16	15	17,0
01-18-00	original	Vol. total	15	18	17	16,7
SSimples	original	Vol. total	15	10	14	13,0
Fosnap	original	Vol. total	23	19	14	18,7
STriplo	original	Vol. total	19	17	17	17,7
FDeind	original	Vol. total	18	18	19	18,3
FMM	lavado	Vol. total	14	17	11	14,0
01-18-00	lavado	Vol. total	14	17	15	15,3
SSimples	lavado	Vol. total	13	12	12	12,3
Fosnap	lavado	Vol. total	30	18	29	25,7
STriplo	lavado	Vol. total	28	24	23	25,0
FDeind	lavado	Vol. total	19	21	24	21,3
TF	original	Vol. total	30	30	35	31,7
FMAR	original	Vol. total	8	7	8	7,7
FCN	original	Vol. total	19	32	22	24,3
FGAFSA	original	Vol. total	37	22	20	26,3
FM p.a.	original	Vol. total	18	20	19	19,0
FMM	original	1 % Vol.	24	15	44	27,7
01-18-00	original	1 % Vol.	24	23	13	20,0
SSimples	original	1 % Vol.	15	29	13	19,0
Fosnap	original	1 % Vol.	26	8	35	23,0
STriplo	original	1 % Vol.	33	30	7	23,3
FDeind	original	1 % Vol.	8	16	32	18,7
FMM	lavado	1 % Vol.	13	37	14	21,3
01-18-00	lavado	1 % Vol.	21	30	45	32,0
SSimples	lavado	1 % Vol.	18	17	47	27,3
Fosnap	lavado	1 % Vol.	7	29	22	19,3
STriplo	lavado	1 % Vol.	54	28	26	36,0
FDeind	lavado	1 % Vol.	35	26	44	35,0
TF	original	1 % Vol.	8	27	24	19,7
FMAR	original	1 % Vol.	7	6	6	6,3
FCN	original	1 % Vol.	41	38	35	38,0
FGAFSA	original	1 % Vol.	24	12	16	17,3
FM p.a.	original	1 % Vol.	17	18	17	17,5

(1) **Fosfato:** FMM= fosfato multi magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSimples= superfosfato simples; Fosnap= fosfato natural parcialmente acidulado; Striplo= superfosfato triplo; Fdeind= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do Maranhão; FCN= fosfato natural da Carolina do Norte; Fgafsa= fosfato natural de Gafsa; FM p.a.= fosfato monocalcico p.a.

(2) **Preparo:** original= sem lavagem; lavado= com lavagem para eliminação do P₂O₅ solúvel em água

(3) **M. Apl.= modo de aplicação:** Vol. total= incorporado com o volume total de terra no vaso; 1 % Vol.= incorporado com 1 % do volume total de terra.

Tabela 11. Efeito residual (primeiro plantio) de fontes de fósforo, aplicados na dose de 70 mg kg⁻¹ de P, modo de preparo e de aplicação das fontes na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (dados originais para o experimento V)

Fosfato	Preparo	M. Apl.	Repetição			Média
			1	2	3	
			g/vaso			
FMM	original	Vol. total	15,3	19,1	18,4	17,6
01-18-00	original	Vol. total	19,7	19,0	16,9	18,5
SSimples	original	Vol. total	15,7	16,4	20,6	17,6
Fosnap	original	Vol. total	16,6	17,6	16,3	16,8
STriplo	original	Vol. total	17,5	16,4	18,4	17,4
FDeind	original	Vol. total	19,3	18,0	16,9	18,1
FMM	lavado	Vol. total	18,6	19,7	17,0	18,4
01-18-00	lavado	Vol. total	17,7	17,7	17,6	17,7
SSimples	lavado	Vol. total	17,2	17,9	15,5	16,9
Fosnap	lavado	Vol. total	16,4	18,3	18,6	17,8
STriplo	lavado	Vol. total	18,6	17,9	18,1	18,2
FDeind	lavado	Vol. total	18,0	19,3	17,2	18,2
TF	original	Vol. total	14,4	16,5	18,4	16,4
FMAR	original	Vol. total	16,1	16,5	15,0	15,9
FCN	original	Vol. total	16,6	17,1	18,1	17,3
FGAFSA	original	Vol. total	18,6	18,2	17,3	18,0
FM p.a.	original	Vol. total	16,1	16,2	16,4	16,2
FMM	original	1 % Vol.	17,4	16,9	16,3	16,9
01-18-00	original	1 % Vol.	17,7	13,6	15,3	15,5
SSimples	original	1 % Vol.	17,9	16,0	16,2	16,7
Fosnap	original	1 % Vol.	9,8	17,5	15,8	14,4
STriplo	original	1 % Vol.	15,3	17,2	18,2	16,9
FDeind	original	1 % Vol.	16,1	17,7	16,5	16,8
FMM	lavado	1 % Vol.	15,6	13,8	17,1	15,5
01-18-00	lavado	1 % Vol.	14,9	14,7	18,1	15,9
SSimples	lavado	1 % Vol.	19,9	17,5	17,5	18,3
Fosnap	lavado	1 % Vol.	11,9	12,3	17,0	13,7
STriplo	lavado	1 % Vol.	17,6	19,0	16,3	17,6
FDeind	lavado	1 % Vol.	17,6	20,5	15,0	17,7
TF	original	1 % Vol.	14,6	16,3	15,5	15,5
FMAR	original	1 % Vol.	16,2	14,2	13,7	14,7
FCN	original	1 % Vol.	15,4	14,4	16,3	15,4
FGAFSA	original	1 % Vol.	18,0	13,6	17,9	16,5
FM p.a.	original	1 % Vol.	13,7	17,1	15,5	15,4

(1) Fosfato: FMM= fosfato multi magnésiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSimples= superfosfato simples; Fosnap= fosfato natural parcialmente acidulado; Striplo= superfosfato triplo; Fdeind= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do Maranhão; FCN= fosfato natural da Carolina do Norte; Fgafsa= fosfato natural de Gafsa; FM p.a.= fosfato monocalcico p.a.

(2) Preparo: original= sem lavagem; lavado= com lavagem para eliminação do P₂O₅ solúvel em água

(3) M. Apl.= modo de aplicação: Vol. total= incorporado com o volume total de terra no vaso; 1 % Vol.= incorporado com 1 % do volume total de terra.

Tabela 12. Efeito residual (primeiro plantio) de fontes de fósforo, aplicados na dose de 70 mg kg⁻¹ de P, modo de preparo e de aplicação das fontes na concentração de P na matéria seca de plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (dados originais para o experimento IV)

Fosfato	Preparo	M. Apl.	Repetição			Média
			1	2	3	
%						
FMM	original	Vol. total	0,18	0,16	0,18	0,17
01-18-00	original	Vol. total	0,16	0,16	0,17	0,16
SSimples	original	Vol. total	0,15	0,17	0,13	0,15
Fosnap	original	Vol. total	0,18	0,18	0,14	0,17
STriplo	original	Vol. total	0,17	0,17	0,16	0,17
FDeind	original	Vol. total	0,17	0,25	0,18	0,20
FMM	lavado	Vol. total	0,14	0,13	0,19	0,15
01-18-00	lavado	Vol. total	0,16	0,16	0,17	0,16
SSimples	lavado	Vol. total	0,15	0,22	0,17	0,18
Fosnap	lavado	Vol. total	0,20	0,14	0,17	0,17
STriplo	lavado	Vol. total	0,16	0,18	0,16	0,17
FDeind	lavado	Vol. total	0,16	0,15	0,25	0,19
TF	original	Vol. total	0,20	0,14	0,18	0,17
FMAR	original	Vol. total	0,15	0,15	0,17	0,16
FCN	original	Vol. total	0,19	0,19	0,18	0,19
FGAFSA	original	Vol. total	0,16	0,18	0,20	0,18
FM p.a.	original	Vol. total	0,19	0,21	0,20	0,20
FMM	original	1 % Vol.	0,20	0,19	0,24	0,21
01-18-00	original	1 % Vol.	0,18	0,27	0,28	0,24
SSimples	original	1 % Vol.	0,19	0,27	0,26	0,24
Fosnap	original	1 % Vol.	0,29	0,23	0,23	0,25
STriplo	original	1 % Vol.	0,24	0,25	0,24	0,24
FDeind	original	1 % Vol.	0,25	0,19	0,22	0,22
FMM	lavado	1 % Vol.	0,18	0,25	0,20	0,21
01-18-00	lavado	1 % Vol.	0,25	0,24	0,25	0,25
SSimples	lavado	1 % Vol.	0,23	0,23	0,27	0,24
Fosnap	lavado	1 % Vol.	0,18	0,31	0,28	0,26
STriplo	lavado	1 % Vol.	0,23	0,24	0,19	0,22
FDeind	lavado	1 % Vol.	0,26	0,17	0,38	0,27
TF	original	1 % Vol.	0,22	0,18	0,21	0,20
FMAR	original	1 % Vol.	0,21	0,19	0,18	0,19
FCN	original	1 % Vol.	0,29	0,15	0,21	0,22
FGAFSA	original	1 % Vol.	0,23	0,28	0,19	0,23
FM p.a.	original	1 % Vol.	0,28	0,23	0,25	0,25

(1) Fosfato: FMM= fosfato multi magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSimples= superfosfato simples; Fosnap= fosfato natural parcialmente acidulado; Striplo= superfosfato triplo; Fdeind= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do Maranhão; FCN= fosfato natural da Carolina do Norte; Fgafsa= fosfato natural de Gafsa; FM p.a.= fosfato monocálcico p.a.

(2) Preparo: original= sem lavagem; lavado= com lavagem para eliminação do P₂O₅ solúvel em água

(3) M. Apl.= modo de aplicação: Vol. total= incorporado com o volume total de terra no vaso; 1 % Vol.= incorporado com 1 % do volume total de terra.

Tabela 13. Efeito residual (segundo plantio) de fontes de fósforo, aplicados na dose de 70 mg kg⁻¹ de P, modo de preparo e de aplicação das fontes na produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (dados originais para o experimento VI)

Fosfato	Preparo	M. Apl.	Repetição			Média
			1	2	3	
			g/vaso			
FMM	original	Vol. total	9,6	7,9	10,7	9,4
01-18-00	original	Vol. total	9,6	8,7	7,9	8,8
SSimples	original	Vol. total	8,2	7,9	7,9	8,0
Fosnap	original	Vol. total	12,4	10,0	8,1	10,2
STriplo	original	Vol. total	9,4	9,1	7,6	8,7
FDeind	original	Vol. total	6,9	8,1	9,1	8,0
FMM	lavado	Vol. total	11,9	12,4	9,3	11,2
01-18-00	lavado	Vol. total	7,5	9,0	9,2	8,6
SSimples	lavado	Vol. total	7,9	7,2	9,2	8,1
Fosnap	lavado	Vol. total	7,4	13,7	9,4	10,2
STriplo	lavado	Vol. total	13,5	9,9	9,3	10,9
FDeind	lavado	Vol. total	8,3	13,4	8,0	9,9
TF	original	Vol. total	8,1	8,3	10,7	9,0
FMAR	original	Vol. total	9,5	8,4	8,2	8,7
FCN	original	Vol. total	8,2	9,4	13,4	10,3
FGAFSA	original	Vol. total	13,7	9,7	13,1	12,1
FM p.a.	original	Vol. total	9,3	7,9	8,1	8,4
FMM	original	1 % Vol.	12,8	9,2	8,7	10,2
01-18-00	original	1 % Vol.	10,1	13,2	9,3	10,9
SSimples	original	1 % Vol.	12,2	8,4	10,2	10,3
Fosnap	original	1 % Vol.	9,7	7,5	8,2	8,5
STriplo	original	1 % Vol.	8,0	9,0	8,7	8,6
FDeind	original	1 % Vol.	7,2	9,0	11,3	9,2
FMM	lavado	1 % Vol.	13,2	12,4	9,7	11,8
01-18-00	lavado	1 % Vol.	9,1	11,8	12,2	11,0
SSimples	lavado	1 % Vol.	10,3	9,0	7,9	9,1
Fosnap	lavado	1 % Vol.	8,0	12,7	9,4	10,0
STriplo	lavado	1 % Vol.	10,1	11,2	9,4	10,3
FDeind	lavado	1 % Vol.	9,9	7,1	14,7	10,6
TF	original	1 % Vol.	9,1	10,3	8,6	9,3
FMAR	original	1 % Vol.	7,2	9,1	10,5	8,9
FCN	original	1 % Vol.	10,0	11,2	10,4	10,5
FGAFSA	original	1 % Vol.	9,4	5,5	12,0	9,0
FM p.a.	original	1 % Vol.	10,3	11,4	10,9	10,9

(1) Fosfato: FMM= fosfato multi magnésiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; Ssimples= superfosfato simples; Fosnap= fosfato natural parcialmente acidulado; Striplo= superfosfato triplo; Fdeind= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do Maranhão; FCN= fosfato natural da Carolina do Norte; Fgafsa= fosfato natural de Gafsa; FM p.a.= fosfato monocalcico p.a.

(2) Preparo: original= sem lavagem; lavado= com lavagem para eliminação do P₂O₅ solúvel em água

(3) M. Apl.= modo de aplicação: Vol. total= incorporado com o volume total de terra no vaso; 1 % Vol.= incorporado com 1 % do volume total de terra.

Tabela 14. Efeito residual (segundo plantio) de fontes de fósforo, aplicados na dose de 70 mg kg⁻¹ de P, modo de preparo e de aplicação das fontes na concentração de P na matéria seca de plantas de milho cultivadas por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (dados originais para o experimento VI)

Fosfato	Preparo	M. Apl.	Repetição			Média
			1	2	3	
%						
FMM	original	Vol. total	0,21	0,22	0,29	0,17
01-18-00	original	Vol. total	0,22	0,24	0,23	0,16
SSimples	original	Vol. total	0,28	0,19	0,23	0,15
Fosnap	original	Vol. total	0,24	0,25	0,23	0,17
STriplo	original	Vol. total	0,21	0,23	0,22	0,17
FDeind	original	Vol. total	0,24	0,25	0,20	0,20
FMM	lavado	Vol. total	0,24	0,21	0,20	0,15
01-18-00	lavado	Vol. total	0,22	0,22	0,23	0,16
SSimples	lavado	Vol. total	0,24	0,28	0,20	0,18
Fosnap	lavado	Vol. total	0,26	0,23	0,27	0,17
STriplo	lavado	Vol. total	0,24	0,25	0,25	0,17
FDeind	lavado	Vol. total	0,25	0,24	0,29	0,19
TF	original	Vol. total	0,21	0,18	0,20	0,17
FMAR	original	Vol. total	0,21	0,21	0,20	0,16
FCN	original	Vol. total	0,29	0,23	0,23	0,19
FGAFSA	original	Vol. total	0,27	0,25	0,29	0,18
FM p.a.	original	Vol. total	0,21	0,20	0,21	0,20
FMM	original	1 % Vol.	0,24	0,24	0,31	0,21
01-18-00	original	1 % Vol.	0,30	0,28	0,23	0,24
SSimples	original	1 % Vol.	0,27	0,29	0,28	0,24
Fosnap	original	1 % Vol.	0,25	0,24	0,30	0,25
STriplo	original	1 % Vol.	0,28	0,23	0,26	0,24
FDeind	original	1 % Vol.	0,26	0,22	0,25	0,22
FMM	lavado	1 % Vol.	0,24	0,29	0,23	0,21
01-18-00	lavado	1 % Vol.	0,29	0,24	0,34	0,25
SSimples	lavado	1 % Vol.	0,25	0,27	0,26	0,24
Fosnap	lavado	1 % Vol.	0,24	0,24	0,28	0,26
STriplo	lavado	1 % Vol.	0,30	0,31	0,23	0,22
FDeind	lavado	1 % Vol.	0,27	0,28	0,29	0,27
TF	original	1 % Vol.	0,23	0,26	0,23	0,20
FMAR	original	1 % Vol.	0,28	0,22	0,22	0,19
FCN	original	1 % Vol.	0,33	0,24	0,28	0,22
FGAFSA	original	1 % Vol.	0,29	0,22	0,33	0,23
FM p.a.	original	1 % Vol.	0,26	0,28	0,27	0,25

(1) Fosfato: FMM= fosfato multi magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; SSimples= superfosfato simples; Fosnap= fosfato natural parcialmente acidulado; Striplo= superfosfato triplo; Fdeind= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do Maranhão; FCN= fosfato natural da Carolina do Norte; Fgafsa= fosfato natural de Gafsa; FM p.a.= fosfato monocalcico p.a.

(2) Preparo: original= sem lavagem; lavado= com lavagem para eliminação do P₂O₅ solúvel em água

(3) M. Apl.= modo de aplicação: Vol. total= incorporado com o volume total de terra no vaso; 1 % Vol.= incorporado com 1 % do volume total de terra.

Tabela 15. Efeito residual (segundo plantio) de fontes de fósforo, aplicados na dose de 70 mg kg⁻¹ de P, modo de preparo e de aplicação das fontes no teor de P-resina após a colheita do milho cultivado por 35 dias em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (dados originais para o experimento VI)

Fosfato	Preparo	M. Apl.	Repetição			Média
			1	2	3	
			mg dm ⁻³			
FMM	original	Vol. total	13	12	10	11,7
01-18-00	original	Vol. total	11	12	10	11,0
SSimples	original	Vol. total	12	11	10	11,0
Fosnap	original	Vol. total	16	13	13	14,0
STriplo	original	Vol. total	12	9	10	10,3
FDeind	original	Vol. total	13	9	13	11,7
FMM	lavado	Vol. total	9	10	10	9,7
01-18-00	lavado	Vol. total	11	15	10	12,0
SSimples	lavado	Vol. total	10	10	12	10,7
Fosnap	lavado	Vol. total	13	18	26	22,3
STriplo	lavado	Vol. total	14	11	17	0,17
FDeind	lavado	Vol. total	14	9	13	12,0
TF	original	Vol. total	14	11	20	15,0
FMAR	original	Vol. total	9	8	10	9,0
FCN	original	Vol. total	14	12	16	14,0
FGAFSA	original	Vol. total	17	15	11	14,3
FM p.a.	original	Vol. total	10	11	11	10,5
FMM	original	1 % Vol.	9	8	9	8,7
01-18-00	original	1 % Vol.	17	18	12	15,7
SSimples	original	1 % Vol.	11	13	13	12,3
Fosnap	original	1 % Vol.	22	17	17	18,7
STriplo	original	1 % Vol.	13	13	16	14,0
FDeind	original	1 % Vol.	14	14	10	12,7
FMM	lavado	1 % Vol.	13	15	13	13,7
01-18-00	lavado	1 % Vol.	9	8	12	9,7
SSimples	lavado	1 % Vol.	12	35	10	19,0
Fosnap	lavado	1 % Vol.	22	19	23	21,0
STriplo	lavado	1 % Vol.	15	16	32	21,0
FDeind	lavado	1 % Vol.	15	19	12	15,3
TF	original	1 % Vol.	55	14	31	33,3
FMAR	original	1 % Vol.	8	5	8	7,0
FCN	original	1 % Vol.	14	17	17	16,0
FGAFSA	original	1 % Vol.	28	8	12	16,0
FM p.a.	original	1 % Vol.	17	5	12	12,3

(1) Fosfato: FMM= fosfato multi magnesiano; 01-18-00= superfosfato simples amoniado; Ssimples= superfosfato simples; Fosnap= fosfato natural parcialmente acidulado; Striplo= superfosfato triplo; Fdeind= superfosfato triplo da Flórida; TF= termofosfato; FMAR= fosfato natural do Maranhão; FCN= fosfato natural da Carolina do Norte; Fgafsa= fosfato natural de Gafsa; FM p.a.= fosfato monocálcico p.a.

(2) Preparo: original= sem lavagem; lavado= com lavagem para eliminação do P₂O₅ solúvel em água

(3) M. Apl.= modo de aplicação: Vol. total= incorporado com o volume total de terra no vaso; 1 % Vol.= incorporado com 1 % do volume total de terra.