APROVEITAMENTO DO FOSFATO PATOS DE MINAS PELO
TRIGO (*Triticum aestivum* L.) cv. IAC-5, CULTIVADO EM DOIS
SOLOS SOB VEGETAÇÃO DE CERRADO DO DF,
COM DOIS NÍVEIS DE CALAGEM.

JÚLIO CEZAR ARAÚJO JORGE DE MAGALHÃES

Orientador: Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS FERRAZ DE MELLO

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
Maio - 1984

Aos inesquecíveis e queridos papai,
Cesã e tia "Preta", sempre presentes
em ESPÍRITO, com extremado amor e
imorredoura saudade!

À memória de D.Laura e Dr. Dacorso ,
com agradecimento perpétuo pelo a
poio e estímulo recebidos.

À adorada mãezinha, tia Elza
e queridas irmãs.
Com enorme carinho!

À minha querida esposa Mariza
e adorados filhos Júlio, João
Valério, Laurinha e Alessan-
dro, razão maior e fundamen-
tal de minha vida e inspira-
ção superior para o esforço
desenvolvido na elaboração
deste trabalho.

Com imenso amor!

DEDICO.

RECONHECIMENTO

Ao Professor Doutor Francisco de Assis Ferraz de Mello, Orientador e, sobretudo, amigo. Figura humana extraordinária, que alia sólidos conhecimentos científicos a inegáveis dotes literários, ambos ocultos e, ao mesmo tempo, magnificamente realçados por qualidades admiráveis, como simplicidade, humildade e honestidade, tão raras hoje em dia, que contribuem, de forma relevante, para enaltecê-lo perante aqueles que tiveram o prazer de privar de seu convívio e amizade.

A ele, por sua orientação firme, consciente, compreensiva, incentivadora e, fundamentalmente, amiga, devo a conclusão deste modesto trabalho.

A G R A D E C I M E N T O S

O autor deseja, de modo especial, agradecer as seguintes pessoas e Instituições:

À minha esposa Mariza e filhos queridos, e à D. Zizinha, pelo estímulo e apoio proporcionados e, sobretudo, pela compreensão dos sacrifícios que lhes foram impostos, para a realização do Curso de Doutorado.

À mãezinha e tia Elza queridas, à Ivete e Osmar, pela ajuda valiosíssima, em Brasília, proporcionando a necessária tranquilidade de espírito para a conclusão do Curso.

À Hermínia, querida irmã, pela criteriosa revisão do texto, visando o aprimoramento de sua redação.

Ao bom amigo Sr. Ângelo Smaniotto, por sua abnegada dedicação e invulgar capacidade de trabalho, que possibilitaram a instalação e condução satisfatória dos ensaios em casa-de-vegetação.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela oportunidade e suprimento de recursos financeiros para a elaboração do trabalho de tese.

Às Chefias: Geral, Técnica e Administrativa do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), pela compreensão demonstrada e condições proporcionadas.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), pela oportunidade da realização do Curso e a seu Departamen

to de Solos, Geologia e Fertilizantes, pelas facilidades proporcionadas nos trabalhos de laboratório e casa-de-vegetação.

Ao colega e amigo Edson Lobato, pelo incondicional apoio e estímulo recebidos.

Aos colegas e amigos Luís Hernán Rodriguez e Antonio Carlos Gomes, pelo incentivo e auxílio inestimáveis, na orientação e execução das análises estatísticas.

Aos colegas Bernardo Van Raij, Cely Teixeira Feitosa e José Antonio Quaggio, do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), pelas condições propiciadas para a execução do método da resina de troca iônica, nas dependências da Seção de Fertilidade do Solo dessa Instituição de Pesquisa; as analistas Maria José Feltrin e Conceição Dalaqua, pela orientação e auxílio na execução das análises químicas de solos, pelo referido método.

Aos professores Toshiaki Kinjo e José Carlos Alcarde pelas valiosas sugestões recebidas.

O autor é grato, também, as seguintes pessoas por sua colaboração:

Sr. Mário Benedito Lodovico, João Álvaro Ramos Granja, Rosângela Aparecida Rocha e Solange Montenegro: análises químicas de solos.

Sr. Armando Porta: análises químicas e granulométricas de fertilizantes e calcário.

Funcionários do Laboratório de Química Analítica da ESALQ: análises químicas em fertilizantes.

Sr. Vinícius Ferraz e Sra. Eleusa Cecília Bassi Brancaliôn: orientação e facilidades proporcionadas nos trabalhos de laboratório.

Sr. Luiz Carlos Veríssimo e demais funcionários da Biblioteca da ESALQ; Sra. Maria Ferreira de Melo e funcionários da Biblioteca do CPAC: auxílio na pesquisa bibliográfica.

Srta. Zenaide Paiva do Rego Barros: revisão da " LITERATURA CITADA"; colega Walter Bowen: correções efetuadas no "SUMMARY".

Colega Sérgio Penna e funcionários Nilda Maria da Cunha Sette, Orestina Gomes Silva Cavalcanti e Adonias Pereira de Oliveira (CPAC): confecção dos gráficos.

Funcionários do Setor de Nutrição Mineral de Plantas (ESALQ) e Laboratório de Nutrição Vegetal (CPAC): análises químicas no tecido vegetal.

Colega Djalma M.G.Souza (CPAC) e professor Sérgio J.Wolkweiss (UFRGS): análise química de ferro livre (solos).

Juvenal Fernandes dos Santos e Sra. Aurelina Teixeira Santos; Alexandre Kiyotsuka do Nascimento: respectivamente, pelos serviços de datilografia definitiva e minuta (texto e tabelas).

Sr. Nilton Camilo de Freitas e demais funcionários do setor de xerografia do CPAC.

A todos, enfim, que contribuíram, de forma construtiva, com palavras amigas de incentivo e apoio, nos momentos difíceis, de dúvidas e apreensão.

ÍNDICE

Página

RESUMO.....	xii
SUMMARY.....	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Generalidades	5
2.2. Alguns fatores do solo e da planta, que influen- ciam a disponibilidade dos fosfatos naturais. .	7
2.2.1. pH do solo.....	9
2.2.2. Efeito da capacidade de adsorção do fós- foro.....	18
2.2.3. Efeito do cálcio na solução do solo...	24
2.2.4. Diferenças entre culturas na absorção do fósforo dos fosfatos naturais.....	26
2.3. Avaliação agronômica dos fosfatos naturais...	33
2.3.1. Eficiência dos fosfatos naturais e fon- tes solúveis de fósforo. Efeito resi- dual da adubação fosfatada.....	33
2.3.2. O emprego dos fosfatos naturais em so- los sob vegetação de cerrado, com ênfã- se para o fosfato Patos de Minas.....	41
2.4. Disponibilidade de fósforo avaliada por extra- tores químicos. Relação com a produção e ab- sorção de fósforo pelas culturas.....	48
2.4.1. Os extratores de fósforo Mehlich, Bray-1 e resina trocadora de íons. Fundamentos de sua ação extratora e emprego em dife- rentes condições de solo.....	49

2.4.2. A utilização de métodos de extração do fósforo extraível no Brasil, em solos adubados com diferentes fertilizantes fosfatados.....	54
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	61
3.1. Solos utilizados.....	61
3.2. Ensaaios em casa-de-vegetação.....	63
3.2.1. Condução dos ensaios.....	64
3.2.2. Calagem.....	67
3.2.3. Adubação básica.....	68
3.2.4. Adubação fosfatada.....	69
3.2.5. Tratamentos e delineamento experimental	72
3.3. Métodos de análise química das terras.....	74
3.3.1. Determinação de pH, cálcio, magnésio , potássio e alumínio trocáveis, acidez potencial, C orgânico e ferro livre...	74
3.3.2. Determinação do fósforo extraível, pelos métodos de Mehlich, Bray-1 e resina trocadora de íons.....	74
3.3.2.1. Método de Mehlich (Carolina do Norte): solução 0,025 N de H_2SO_4 + 0,05 N de HCl.....	74
3.3.2.2. Método de Bray-1: solução 0,03 N de NH_4F + 0,025 N de HCl...	76
3.3.2.3. Método da resina trocadora de íons.....	80
3.4. Análises químicas de plantas (parte aérea)...	82
3.4.1. Primeiro cultivo.....	82
3.4.2. Segundo cultivo.....	82

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
4.1. Produção de matéria seca e quantidades de fósforo, cálcio e magnésio absorvidos por plantas de trigo.....	84
4.1.1. Solo LE.....	84
4.1.1.1. Primeiro cultivo.....	84
4.1.1.2. Segundo cultivo.....	92
4.1.2. Solo LV.....	103
4.1.2.1. Primeiro cultivo.....	103
4.1.2.2. Segundo cultivo.....	111
4.2. Eficiência relativa do fosfato Patos de Minas, em função do superfosfato triplo, em dois cultivos, nos solos LE e LV.....	120
4.2.1. Solo LE.....	120
4.2.2. Solo LV.....	121
4.3. Relações entre os parâmetros produção de matéria seca e fósforo absorvido pelo trigo, por solo e cultivo.....	124
4.4. Concentração de fósforo extraído pelos métodos de Mehlich, de Bray-1, e pela resina trocadora de íons, por solo e cultivo. Correlações entre o P extraído pelos referidos métodos...	125
4.4.1. Solo LE.....	125
4.4.2. Solo LV.....	130
4.4.3. Correlações entre o P extraído pelos métodos de Mehlich, Bray-1 e resina trocadora de íons.....	136
4.5. Equações de regressão entre o fósforo absorvido pela planta nos dois cultivos de trigo, e	

	Página
o fósforo extraído pelos métodos de Mehlich, de Bray-1 e pela resina trocadora de íons, em amostras de solo coletadas após cada cultivo de trigo.....	140
4.5.1. Equações de regressão linear múltipla.	141
4.5.2. Equações de regressão de caráter geral	144
4.5.2.1. Equações de regressão entre o fósforo absorvido pelo trigo no primeiro cultivo e o extra ído pelo método de Mehlich, a pós cada cultivo.....	144
4.5.2.2. Equações de regressão entre o fósforo absorvido pelo trigo no primeiro cultivo e o extra ído pelo método de Bray-1 em amostras dos solos LE e LV , coletadas após o 1º cultivo ($P_{abs_1} \times P_{Bray-1_1}$).....	144
4.5.2.3. Equações de regressão entre o fósforo absorvido pelo trigo no primeiro cultivo e o extra ído pela resina trocadora de íons, em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o pri meiro cultivo ($P_{abs_1} \times P_{res_1}$)	149
4.5.2.4. Equações de regressão entre o fósforo absorvido pelo trigo no segundo cultivo e o fósfo- ro extraído pelo método Bray-1, em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o primeiro cul tivo ($P_{abs_2} \times P_{Bray-1_1}$).....	151

4.5.2.5. Equações de regressão entre o fósforo absorvido pelo trigo no segundo cultivo e o fósforo extraído pela resina trocadora de íons, em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o primeiro cultivo ($P_{abs_2} \times P_{res_1}$).....	156
4.5.2.6. Equações de regressão entre o fósforo absorvido pelo trigo no segundo cultivo e o fósforo extraído pelo método de Bray-1, em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o segundo cultivo ($P_{abs_2} \times P_{Bray-1_2}$).....	158
4.5.2.7. Equações de regressão entre o fósforo absorvido pelo trigo no segundo cultivo e o fósforo extraído pela resina trocadora de íons, em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o segundo cultivo ($P_{abs_2} \times P_{res_2}$).....	162
4.6. Apreciação final dos métodos de Mehlich, Bray-1 e resina trocadora de íons, pela correlação dos teores de P extraível, com a quantidade do nutriente absorvido pelo trigo.....	164
5. CONCLUSÕES.....	167
6. LITERATURA CITADA.....	170
7. APÊNDICE.....	192

APROVEITAMENTO DO FOSFATO PATOS DE MINAS PELO TRIGO (*Triticum aestivum* L.) CV. IAC-5, CULTIVADO EM DOIS SOLOS SOB VEGETAÇÃO DE CERRADO DO DF, COM DOIS NÍVEIS DE CALAGEM.

Autor: Júlio Cezar Araújo Jorge de Magalhães

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Ferraz de Mello

RESUMO

No presente trabalho foram conduzidos dois ensaios em casa-de-vegetação, durante dois cultivos, nos solos Latossolo Vermelho Escuro Álico A textura argilosa fase cerração subcaducifólio (Typic Haplustox), LE e Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico A fase Cerrado subcaducifólio (Typic Acrustox), LV, coletados em área do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) no Distrito Federal. Utilizou-se como planta teste o trigo (*Triticum aestivum*, L.) , cultivar IAC-5, tolerante a níveis tóxicos de alumínio no solo.

Os objetivos principais deste trabalho foram:

- 1) Comparar a eficiência agronômica do fosfato Patos de Minas, em relação ao superfosfato triplo (considerado como fonte padrão), adicionados em doses crescentes aos solos LE e LV;
- 2) Estudar o efeito da calagem na disponibilidade do fósforo adicionado aos solos na forma dos fertilizantes supracitados;
- 3) Avaliar o efeito residual dessas fontes de fósforo;
- 4) Fornecer subsídios para a seleção de um método de extração

ção de fósforo, mais adequado em estimar o P extraível de solos adubados com fertilizantes fosfatados de diferentes graus de solubilidade, por sua correlação com o P absorvido pela planta.

Os tratamentos consistiram na combinação de cinco doses de fósforo (como superfosfato triplo), quatro doses de fósforo (como fosfato Patos de Minas) e uma testemunha (sem fósforo), comum a ambos os fertilizantes, com duas doses de calcário. O número total de tratamentos foi de 20 no primeiro cultivo e 22 no segundo, com a inclusão de um tratamento adicional, que consistiu numa dose de manutenção de fósforo, como superfosfato triplo (equivalente a 80 kg de P_2O_5 /ha) adicionado a vasos extra-ensaios no primeiro cultivo e que receberam, neste, a dose maior de fósforo, na forma do citado fertilizante. Adotou-se um delineamento em Blocos Casualizados, com três repetições, sorteando-se os tratamentos por solo, em cada cultivo.

As doses de fósforo foram, respectivamente, para o superfosfato triplo e fosfato Patos de Minas, equivalentes a: 0, 100, 200, 400, 800 e 1600 kg de P_2O_5 /ha; 0, 200, 400, 800 e 1600 kg de P_2O_5 /ha. Os níveis de calagem foram estabelecidos, com base nos seguintes critérios:

- a) dose baixa de calcário (dolomítico), equivalente a 0,5 t/ha para ambos os solos, visando apenas o suprimento de cálcio e magnésio para as plantas.
- b) dose alta de calcário, calculada em função do alumínio trocável, com a finalidade de reduzir o índice de saturação do alumínio no solo, a valores inferiores a 10%. Para isto, foram empregados os seguintes fatores de calagem, no cálculo da quantidade de calcário (em t/ha) a aplicar aos solos: solo LE = $2 \times Al^{3+}$ trocável (e.mg/100cm³ de terra); solo LV = $3 \times Al^{3+}$ trocável no solo (e.mg/100cm³ de terra).

Foi efetuada uma adubação básica no primeiro cultivo, com os nutrientes N, K, Zn e B, uma re-adubação no 2º cultivo (N e K), além de adubações nitrogenadas em cobertura, nos dois cultivos. O enxofre foi fornecido indiretamente a todos os tratamentos, pelos fertilizantes sulfato de amônio e sulfato de zinco (fontes respectivamente de N e Zn) além do contido no superfosfato triplo, nos tratamentos com este fertilizante. As quantidades de nutrientes empregadas foram consideradas adequadas à nutrição das plantas de trigo.

Os parâmetros da planta avaliados foram a produção de matéria seca e quantidades de fósforo, cálcio e magnésio, absorvidos pelo trigo, por solo e cultivo.

No laboratório, além das análises de rotina (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e pH) efetuadas em amostras coletadas após o período de incubação com calcário (exceto para o potássio, nesta ocasião) e após cada cultivo, foram determinados os teores de P extraível, em amostragens pós-cultivos, pelos métodos de Mehlich, Bray-1 e resina trocadora de íons.

Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões de caráter geral, diretamente relacionadas aos objetivos do trabalho:

- o fosfato Patos de Minas foi ineficiente no suprimento de fósforo ao trigo (cv. IAC-5), em ambos os solos e cultivos, comparado ao superfosfato triplo, fonte solúvel tomada como padrão.
- O solo LV apresentou maior ação solubilizadora do fosfato Patos de Minas que o solo LE.
- Foi acentuado o efeito residual de doses elevadas de fósforo adicionado a ambos os solos, na forma de superfosfato triplo. Quanto ao fosfato Patos de Minas, apenas a do

se maior de fósforo, quando associada à dose maior de cal
cário, no solo LV, apresentou efeito residual relevante ,
alcançando uma eficiência relativa de 25%.

- A calagem favoreceu, de modo geral, uma maior liberação de fósforo, proporcionando maiores produções de matéria seca e quantidades de fósforo absorvido pelo trigo, nos tratamentos com superfosfato triplo, particularmente no solo LE, em ambos os cultivos. Não se verificaram diferenças significativas entre níveis de calagem, nos tratamentos com fosfato Patos de Minas, em ambos os solos e cultivos.
- O método de Mehlich mostrou-se inadequado em estimar o fósforo extraível, de amostras dos solos LE e LV, que receberam fertilizantes fosfatados de diferentes solubilidades.
- Os métodos de Bray-1 e resina trocadora de íons mostraram-se equivalentes na predição da quantidade de fósforo absorvido pelo trigo, em ambos os cultivos. A resina, no entanto, não mostrou dependência em relação ao tipo de solo, nas regressões estabelecidas entre os teores de P extraível e a quantidade de fósforo absorvido pelo trigo, ao contrário do constatado para o método de Bray-1, que se mostrou dependente do tipo de solo na predição do citado parâmetro da planta.
- Com o método da resina trocadora de íons, não foi possível estabelecer uma equação de regressão única para os fertilizantes superfosfato triplo e fosfato Patos de Minas, na regressão entre os teores de fósforo extraído na amostragem após o primeiro cultivo e a quantidade do nutriente absorvido pelo trigo neste cultivo. O método de Bray-1 mostrou-se superior ao da resina, nesta situação.
- As equações de regressão entre os teores de fósforo extraído pelo método de Bray-1 e a quantidade do nutriente ab

sorvido pelo trigo no segundo cultivo independeram da época de amostragem, principalmente no solo LV. Considerando-se o método da resina trocadora de íons, verificou-se influência da época de amostragem, na regressão estabelecida entre os teores de P extraído dos solos LE e LV e o fósforo absorvido pelo trigo, no segundo cultivo.

UTILIZATION OF "PATOS DE MINAS" PHOSPHATE BY WHEAT (*Triticum aestivum*, L.), VAR. IAC 5 CULTIVATED ON TWO SOILS UNDER "CERRADO VEGETATION IN D.F. - BRAZIL, WITH TWO LEVELS OF LIMING.

Author: Júlio Cêzar Araújo Jorge de Magalhães

Advisor: Prof. Dr. Francisco de Assis Ferraz de Mello

SUMMARY

Two greenhouse pot-experiments were carried out with two successive crops on the soil Dark Red Latosol Alic A clayey subcaducifolium "cerradão" phase (Typic Haplustox), L.E. and Red Yellow Latosol Dystrophic A "cerrado" phase (Typic A crustox), L.V. These soils were collected in the area of the Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) in the Federal District, Brazil. An aluminum tolerant wheat variety (IAC 5) was used as the test plant.

The main aims of this work were:

- 1) To determine the agronomic effectiveness of "Patos de Minas" phosphate as compared to triple superphosphate (used as a standard source) added at increasing rates to the soils L.E. and L.V.
- 2) To study the effects of lime on phosphorus availability to wheat, from both fertilizers mentioned above.
- 3) To evaluate the residual effects of these fertilizers.
- 4) To provide subsidies in order to select a method for the evaluation of extractable P from soils fertilized with different sources of phosphate fertilizers, for the correlation between soil extractable P and phosphorus uptake by wheat.

The treatments consisted of five rates of phosphorus as triple superphosphate, four rates of phosphorus as "Patos de Minas" phosphate, and one check (without phosphorus) common to both fertilizers. These treatments were combined with two levels of lime.

There were 20 treatments in the first crop and 22 in the second crop which included an additional treatment at both lime levels consisting of a maintenance rate of triple superphosphate (equivalent to 80 kg of P_2O_5 /ha) added to extra-trial pots which had received the highest rate of phosphorus (as triple superphosphate).

The rates of phosphorus respectively for triple superphosphate and "Patos de Minas" phosphate were: 0, 100, 200, 400, 800 and 1600 kg of P_2O_5 /ha; 0, 200, 400, 800 and 1.600 kg of P_2O_5 /ha. Two levels of lime were established based on the following criteria:

- a) the low level of lime (dolomitic) was equivalent to 0,5 t/ha for both soils and it was added only with the aim of supplying calcium and magnesium as plant nutrients.
- b) the highest level of lime was calculated as a function of the exchangeable aluminum in the soils with the aim of reducing the aluminum saturation index in the soils to values below than 10%. For that, the following equations were used to determine lime levels based on the amount of exchangeable aluminum in the soils.

Solo L.E.: amount of lime (t/ha) = 2 x exchangeable Al^{3+} (e.mg%) in the soil.

Solo L.V.: amount of lime (t/ha) = 3 x exchangeable Al^{3+} (e.mg%) in the soil.

The treatments were arranged in a Randomized

Block Design with three replications, having been disposed at random for each soil and crop.

A basic fertilization was given to the first crop with the nutrients N, K, Zn and B. N, as $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and K as KCl were added also as a maintenance fertilization in the second crop. In both crops N was topdressed to the soils and sulfur was added together with N (ammonium sulfate) and Zn (Zinc sulphate), besides that supplied by triple superphosphate in the treatments with this fertilizer.

The following plant parameters were evaluated: dry matter yield and amounts of P, Ca and Mg taken up by wheat for each soil and crop.

Routine soil analyses were performed in the laboratory for pH and exchangeable elements K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , on samples collected after the period of incubation with lime (except for K^+ at this time) and after each crop. Soil extractable P was performed on samples collected after each crop by Mehlich, Bray-1, and ion exchange resin methods.

The results led to the following general conclusions directly related to the purposes of this work:

- "Patos de Minas" phosphate was inefficient in supplying P to wheat on both soils and crops, as compared to the triple superphosphate.
- LV soil showed a greater dissolution action of "Patos de Minas" phosphate than LE soil.
- The residual effect of high rates of P added as triple superphosphate to both soils was significant. With "Patos de Minas" phosphate, only the highest rate of P in LV soil showed a relevant residual effect.

- Lime, as a general rule, increased P availability as indicated by the highest dry matter yield and amounts of phosphorus taken up by wheat in the treatments with triple superphosphate. For "Patos de Minas" phosphate there were no significant differences between levels of lime in both soils and crops.
- The Mehlich method was inadequate in predicting extractable P from samples of LE and LV soils which received different sources of phosphorus fertilizer.
- The Bray-1 and ion exchange resin methods were equivalent in predicting the amount of phosphorus taken up by wheat. However, the resin method did not show any dependence on the type of soil in the regressions set up between the rates of extractable P and the phosphorus taken up by wheat. Those calculated for Bray-1 method were dependent on the type of soil.
- It was not possible to set up one regression equation for both fertilizers, triple superphosphate and "Patos de Minas" phosphate, between the rates of extractable ion exchange resin P on the samples collected after the first crop and the amount of phosphorus taken up by wheat during this crop. The Bray-1 method had a better performance in this situation.
- The regressions of extractable Bray-1 P and the uptake of phosphorus by wheat were not dependent on the time of sampling, especially in LV soil. As for the resin method, a dependence on the time of sampling was observed in both LE and LV soils in the regressions between extractable P and phosphorus uptake by wheat in the second crop.

1. INTRODUÇÃO

A região sob vegetação de cerrados ocupa, no Brasil, uma área de aproximadamente 180.000.000 de hectares, estendendo-se, principalmente, pela região Centro-Oeste e atingindo ainda parte da região Norte, Nordeste e Sudeste (GOEDERT et alii, 1980). Esta vasta área apresenta-se, em sua maior parte, em face acelerada de expansão de seu potencial agropecuário, refletindo-se no consumo de fertilizantes, principalmente fosfatos (GOEDERT e LOBATO, 1980). Seus solos possuem baixa fertilidade, com elevada acidez e escassez generalizada de nutrientes, particularmente o fósforo, que é, por outro lado, fortemente adsorvido pelos mesmos. (LEAL, 1971; MAGALHÃES, 1974a; MAGALHÃES, 1979; LE MARE, 1982).

Devido a estas características, o uso da adubação fosfatada corretiva é normalmente recomendado, visando aumentar o nível de fósforo "disponível" em toda a camada arável do solo, principalmente para a produção de cereais. Com esta prática, utilizam-se quantidades elevadas de fósforo, havendo uma tendência ao acréscimo do consumo deste nutriente, conforme assinalaram GOEDERT e LOBATO (1980). Para estes autores, a indústria nacional encontra dificuldades em satisfazer a demanda do país, a curto prazo, em fertilizantes so

lúveis de fósforo, fato que, aliado à necessidade de substituição das importações, conduz à procura de soluções alternativas, dentre as quais o emprego de fosfatos naturais "in natura" mostra-se promissor, com vistas ao suprimento parcial das necessidades futuras de fósforo dos solos brasileiros.

A região sob vegetação de cerrados do Brasil Central, além de possuir, via de regra, solos com características químicas e físicas favoráveis à dissolução dos fosfatos naturais (SMYTH e SANCHEZ, 1982a), é dotada de extensas jazidas de fosfatos naturais, com reservas medidas, da ordem de 160 milhões de toneladas (PARADA e ANDRADE, 1977). A ocorrência desses fosfatos (principalmente os de Araxá, Patos de Minas e Catalão), possibilita seu emprego total ou parcial na adubação corretiva ou fosfatagem (GOEDERT et alii, 1980).

Os dados de pesquisa indicam que, geralmente, estes fosfatos (de baixa solubilidade) podem ser utilizados nas seguintes condições, de acordo com GOEDERT et alii, 1982:

- a) devem ser, preferivelmente, aplicados em solos ácidos, sem calagem, ou somente com um mínimo de calagem (apenas para o fornecimento de cálcio e magnésio como nutrientes), para culturas tolerantes ao alumínio, como arroz de sequeiro e Brachiaria.
- b) devem ser aplicados a lanço e em combinações com adições localizadas (no sulco de plantio), de fertilizantes fosfatados solúveis.
- c) O preço de uma unidade de P_2O_5 total, como fosfato natural, deve ser menor, a nível de lavoura, do que 50% daquele de uma unidade de P_2O_5 solúvel em água. O efeito residual das fontes de fósforo necessita ser levado em conta, para a escolha entre fosfatos naturais e fontes solúveis de fósforo. (GOEDERT et alii, 1980).

Um dos problemas, ainda em estudo pela pesquisa, refere-se à dificuldade de seleção de um método de extração satisfatório para o fósforo, que se correlacione com as respostas das culturas, em uma ampla variedade de solos, adubados com diferentes fontes de fósforo. O crescente emprego dos fosfatos naturais no Brasil, particularmente na região sob cerrados, demonstrou ser inadequado o uso de extratores ácidos, como o Mehlich, oficialmente adotado para determinar o fósforo considerado "disponível", na maioria dos Laboratórios de análise de rotina no Brasil (SFREDO et alii, 1979). O extrator Bray-1 tem proporcionado bons resultados em diversos trabalhos conduzidos na região (GOEDERT e LOBATO, 1980; YOST et alii, 1982). Este extrator equivaleu-se aos extratores Olsen e resina trocadora de íons, num Latossolo Vermelho Amarelo adubado com fosfato natural e fonte solúvel de P. (SMYTH e SANCHEZ, 1982b).

O presente trabalho objetiva fornecer uma contribuição adicional às pesquisas com o fosfato Patos de Minas, em dois solos sob vegetação de cerrado do Distrito Federal, especificamente nos seguintes aspectos:

- a) comparar a eficiência agronômica do fosfato Patos de Minas com a do superfosfato triplo, tomado como padrão (adicionados em doses crescentes aos solos), em dois níveis de calagem, utilizando-se como planta-teste, a cultivar de trigo (*Triticum aestivum* L.) IAC-5, tolerante ao alumínio e a baixos níveis de fósforo, adicionado como fonte solúvel aos solos. (MIRANDA e LOBATO, 1978; MAGALHÃES, 1979; MAGALHÃES et alii, 1980).
- b) estudar o efeito da calagem na disponibilidade do fósforo adicionado ao solo, na forma dos fertilizantes supracitados.
- c) avaliar o efeito residual dessas fontes de fósforo.

- d) fornecer subsídios para a seleção de um método de extração de fósforo mais adequado em estimar o fósforo extraível, por sua correlação com o P absorvido pela planta.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Generalidades

A relação funcional, entre o fósforo no solo e sua absorção pela planta, pode ser representada da seguinte forma, de acordo com GUNNARY e SUTTON (1967):

Segundo RAIJ (1978), em condições de crescimento vegetativo normal, K_3 e K_4 não são importantes e o sistema reduz-se a quatro fatores primários: quantidade (P_{solo}); taxa (K_1/K_2); intensidade (P na solução) e difusão. O fósforo da fase sólida costuma ser dividido em fósforo lábil e não lábil, sendo a primeira fração a mais disponível às plantas. Além destes fatores, é importante também o fator capacidade, que reflete a habilidade de um solo manter o

fósforo na solução, à medida que o mesmo vai sendo absorvido pelas plantas. Este fator é também denominado poder tampão potencial. (BECKETT e WHITE 1964, citados por RAIJ, 1978).

CABALA e WILD (1982) consideraram o seguinte esquema para explicar a reação de um fosfato natural adicionado ao solo:

Para estes autores, o termo imobilização refere-se à conversão do fósforo lábil ou isotopicamente trocável, a fósforo não lábil ou não isotopicamente trocável, ou ainda, do fósforo extraível, para o não extraível, por uma resina trocadora de íons.

O comportamento dos solos sob vegetação de cerrado, considerando-se os fatores do equilíbrio dinâmico do fósforo no solo, foram, de uma maneira genérica, descritos da seguinte forma (EMBRAPA, 1976):

- a) possuem pequena quantidade de P, ou seja, é baixo o fator quantidade;
- b) retêm o fósforo com grande energia, dificultando sua liberação para as plantas (taxa K_1, K_2 no esquema I);
- c) muito baixa quantidade de fósforo na solução do solo (fator intensidade). O fósforo adicionado à solução é imediatamente retido ou "fixado" pela fração sólida, com uma liberação posterior muito lenta para as plantas.

Recentemente, LE MARE (1982) determinou curvas de adsorção do fósforo isotopicamente trocável e do fósforo não isotopicamente trocável, em dez solos brasileiros e quatro colombianos. Entre os primeiros, dois solos sob ve

getação de cerrado (Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho Escuro), coletados na área experimental do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), no Distrito Federal, foram os que mostraram maiores capacidades de adsorção de fósforo. Estes solos apresentaram, como característica diferente em relação aos outros solos estudados, uma maior adsorção de P isotopicamente não trocável, do que trocável, até concentrações na solução do solo de 0,6 ppm de P. Para este pesquisador, quando uma grande quantidade de fósforo adsorvido é não trocável, os incrementos na produção das culturas são pequenos, com pequenas aplicações de fósforo, pois este será fortemente retido pelo solo. Com adições maiores de fertilizantes, quantidades mais elevadas de P tornar-se-ão disponíveis às plantas, com acréscimos nas produções, até que estas decresçam, após satisfeitas as exigências do nutriente, pelas culturas.

O autor verificou, ainda, que, para os dois citados Latossolos, as concentrações críticas de P no solo (ou seja, a concentração de P no solo, em relação à qual são iguais as afinidades do solo pelo P trocável e P não trocável) foram de 0,099 e 0,077 ppm de P, respectivamente, para o Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Vermelho Amarelo. Nesta concentração, 70% do fósforo total adsorvido estava na forma não trocável. A afinidade do solo, pelas frações trocável e não trocável do P total no solo, foi definida pelas respectivas declividades das curvas de adsorção (LE MAIRE, 1982).

2.2. Alguns fatores, do solo e da planta, que influenciam a disponibilidade dos fosfatos naturais.

Para KHASAWNEH e DOLL (1978), os principais parâmetros do solo que atuam como força determinante da dissolução dos fosfatos naturais são:

- a) gradientes de pH, em que a solubilidade dos fosfatos naturais aumenta com o decréscimo do pH.
- b) gradientes de pCa, em que a solubilidade aumenta com o decréscimo da atividade do cálcio na solução do solo.
- c) gradientes na atividade do íon H_2PO_4^- na solução do solo, em função dos quais se verifica um acréscimo na solubilidade dos fosfatos naturais, quando existe um sumidouro para reduzir a concentração do íon H_2PO_4^- e uma diminuição daquela, com um acréscimo na concentração de H_2PO_4^- na solução do solo.
- d) a solubilidade dos fosfatos naturais aumenta com o acréscimo da substituição do íon PO_4^{3-} por CO_3^{2-} , em valores de pH abaixo de certos níveis.

Segundo os mencionados autores, os três primeiros fatores são fatores do solo, e o quarto é um fator intrínseco dos fosfatos naturais, que determina a reatividade destes materiais. A substituição isomórfica do PO_4^{3-} por CO_3^{2-} altera profundamente a estrutura do cristal e a estabilidade física e química das apatitas (Mc CLELLAN e LEHR, 1969, citados por KHASAWNEH e DOLL, 1978). A dissolução adequada das apatitas está vinculada à dissociação dos íons Ca^{2+} , PO_4^{3-} e F^- da superfície das mesmas, e, em uma menor extensão, a íons substituídos isomorficamente, tais como o Mg^{2+} , Na^+ , CO_3^{2-} e OH^- . Os íons PO_4^{3-} são rapidamente protonados a H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , e a força determinante da dissolução dos fosfatos naturais deve, portanto, estar relacionada a gradientes nos potenciais químicos destes íons (KHASAWNEH e DOLL, 1978).

Em relação aos fatores da planta, verifica-se que existe uma grande variabilidade entre espécies e cultivares de uma mesma espécie, quanto à habilidade de utilizar

o fósforo existente no solo, aspecto este relacionado com a extensão da superfície de absorção, com a eficiência de absorção por unidade de comprimento da raiz e com mudanças químicas na interface solo-raiz (RAIJ et alii, 1982). Entretanto, a maior parte das pesquisas no Brasil têm sido conduzidas com fontes solúveis de fósforo, exceto alguns trabalhos recentes, realizados no Rio Grande do Sul (KOCHHAN et alii, 1982), em que foram avaliadas respostas de 14 espécies de plantas de inverno à adubação com o fosfato Patos de Minas, tendo-se verificado resposta da colza (*Brassica campestris* L.) à adição deste fertilizante. Das espécies de verão, o trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*) foi a única a responder significativamente aos fosfatos naturais.

Abordar-se-ão, a seguir, os efeitos dos principais fatores do solo e de algumas características das plantas, que tornam o fósforo, dos fosfatos naturais, mais disponível às plantas.

2.2.1. pH do solo

Inúmeros trabalhos têm relatado o efeito favorável da acidez do solo sobre a eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. Segundo KHASAWNEH e DOLL (1978), este efeito tem sido interpretado como um efeito simples do pH, em que a acidez é o agente responsável pelo acréscimo da disponibilidade dos fosfatos naturais. Estes autores acrescentam que, apatitas tipo francolitas ou carbonato-apatitas (resultantes de substituições isomórficas em vários graus, na estrutura básica da fluorapatita), são muito instáveis a baixos níveis de pH e liberam fósforo, para reagir com Al e Fe da matriz do solo e produzir compostos de ferro e alumínio.

ELLIS et alii (1955) admitiram o seguinte mecanismo para a formação, em solos ácidos, de compostos fos-

fatados de ferro, pouco disponíveis às plantas. Representando, por simplicidade, como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ a fórmula da apatita presente no fosfato natural, os autores consideraram as seguintes reações:

A reação (1) ilustra como o ácido carbônico a gua, em solos ácidos, sobre o fosfato natural apatítico, pa ra transformá-lo em fosfato monocálcico e bicarbonato de cálcio, ambos moderadamente solúveis. (Como admitem os autores em questão, embora, como adubo, o fosfato monocálcico seja ex tremamente solúvel). Num solo neutro ou alcalino, esta reação praticamente não ocorre, pois a solução do solo já se en contra saturada com $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Em solos ácidos, no entanto, à medida que o $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ moderadamente solúvel é introduzi do na solução do solo, o fosfato tenderá a reagir com a subs tância presente no solo, que proporcionará a formação do com posto de menor solubilidade possível sob estas condições, o qual, segundo os referidos autores, é usualmente a goetita, e a provável reação conduzirá à formação da estrengita (reação 2). A adição de calcário até pH = 6,5 favorecerá o des dobramento desta última reação, obtendo-se $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ finamen te dividido, facilmente disponível às plantas. Esta reação seria a seguinte, conforme ELLIS et alii (1953):

KHASAWNEH e DOLL (1978) afirmaram que, de um ponto de vista prático, o baixo pH do solo está, geralmente, associado com outros fatores, como o baixo teor de Ca^{2+} tro cável e altos teores de alumínio tro cável no solo. O efeito negativo da acidez do solo, no crescimento de certas cultu ras, pode sobrepujar seu efeito positivo na dissolução dos

fosfatos naturais, conforme ressaltaram os mencionados pesquisadores, opinião compartilhada por LOBATO (1982), que acentuou a necessidade de adaptação de espécies cultivadas às condições de acidez dos solos, para obtenção de melhor proveito da ação desta característica na solubilidade dos fosfatos naturais.

O efeito do pH, bem como de outros fatores do solo, que interferem na solubilização das apatitas, pode ser mais facilmente deduzido a partir da reação seguinte (KORNDÖRFER, 1978):

Pela reação acima, observa-se claramente o efeito do pH, pois, à medida que se aumenta a concentração dos íons H^+ , o equilíbrio tende a deslocar-se para a direita, ou seja, mais apatita é dissolvida.

O efeito direto do pH, influenciando a solubilidade dos fosfatos naturais e, portanto, sua eficiência agronômica, tem sido objeto de estudo por diversos pesquisadores, com várias culturas. FRIED e MACKENZIE (1950), por exemplo, utilizaram fosfato natural, irradiado com nêutrons, para investigar o efeito do pH, doses de aplicação de P e espécies de plantas, na utilização do fosfato natural e do superfosfato. Foram utilizadas como plantas-testes a alfafa (*Medicago sativa* L.) e a ervilhaca (*Vicia sativa* L.). Eles verificaram que, após três cultivos, a ervilhaca havia utilizado somente 6,5, 4,6 e 3,2% do fósforo adicionado como fosfato natural, em valores de pH de 4,9, 5,5 e 5,8 respectivamente. Para a alfafa, observaram que esta planta utilizou 4,8, 4,1 e 2,2% do P proveniente do fosfato natural, em valores de pH, respectivamente, de 4,9, 5,5 e 5,8. As mesmas tendências foram observadas com azevém perene (*Lolium perenne* L.).

JONES (1948) estudou a influência de sais de nitrogênio e potássio, calagem e matéria orgânica, na disponibilidade do fósforo de fosfatos naturais adicionados a um solo barro siltoso de pH = 5,0, cultivado com centeio (*Secale cereale* L.). Seus dados mostraram que o pH ou o nível de calagem, influenciaram a disponibilidade de fósforo dos fosfatos naturais, mais do que qualquer outro fator simples. Sem calagem, o centeio absorveu 235% mais fósforo das parcelas tratadas com fosfato natural, do que o fósforo absorvido por esta planta, nas parcelas com calagem. Verificou-se, também, um efeito positivo da mistura do fosfato natural com sulfato de amônio e cloreto de potássio adicionados ao solo, que proporcionou um acréscimo na absorção de fósforo de 28,5%, quando este tratamento foi comparado com aquele em que se adicionou isoladamente o fosfato natural.

Em ensaios em casa-de-vegetação, com vasos contendo areia, ELLIS et alii (1955) estudaram a influência do pH na disponibilidade do fósforo proveniente da adição do fosfato natural da Flórida para a cultura da aveia (*Avena sativa* L.). Os valores de pH foram ajustados para 4,9, 5,5, 6,2, 6,7 e 7,4 pela adição de argila bentonita saturada com H^+ . As produções mais elevadas de aveia foram obtidas em pH = 5,5, observando-se que o acréscimo do pH do meio de cultura, resultou em redução na produção, resultados que confirmam aqueles obtidos anteriormente por diversos autores, de que a calagem até pH próximo à neutralidade, decresce a disponibilidade de fósforo dos fosfatos naturais para as culturas. Entretanto, eles verificaram uma drástica redução na produção, em pH = 4,9, o que conflita com o esperado, baseado na solubilidade do fosfato natural. Foi estabelecida a hipótese de que, neste pH, poderia existir algum elemento, liberado do fosfato natural, que inibisse a absorção de P pela planta de aveia, ou que o elemento liberado produzisse e

feitos tóxicos na cultura. Acrescentaram que o elemento em questão poderia ser o flúor, que é muito ativo e presente em maior quantidade no fosfato natural, do que no superfosfato (a redução da produção nos tratamentos com este fertilizante foi menor). No entanto, CESCAS e TYNER (1976), reportando-se aos dados obtidos por ELLIS et alii (1955), sugeriram que os efeitos tóxicos produzidos em pH = 4,9, poderiam ser produzidos pelo alumínio.

Uma maior disponibilidade do fosfato natural em valores de pH de 4,6 e 5,6 do que em pH = 6,6, foi, também, observada por JOOS e BLACK (1950), ao cultivarem capim Sudão (*Sorghum sudanense*) em vasos com areia, onde previamente havia sido incubada uma mistura de bentonita com fosfato natural, em diferentes valores de pH, por um período de cinco meses. Eles obtiveram maiores produções e absorção de fósforo por esta gramínea, em pH = 5,6 do que em pH = 4,6. Sugeriram que, além do pH, outros fatores estariam envolvidos na disponibilidade do fosfato natural e propuseram que um deles seria a reação que o fosfato dissolvido sofre com o solo em diferentes valores de pH. Afirmaram, ainda, que a maior disponibilidade do fósforo para as plantas, após a reação do fosfato natural com o solo, não somente depende da proporção do volume do solo enriquecido com as partículas do fertilizante, mas, também, dos novos compostos de fósforo produzidos no solo.

Em experimentos conduzidos em casa-de-vegetação, com sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) PEASLEE et alii (1962) mostraram que a relação entre os coeficientes de disponibilidade do fósforo (RCD), dada pela fórmula:

$$RCD = P_{FN} - P_T / P_{ST} - P_T \times q_{ST} / q_{FN}, \text{ em que:}$$

P_{FN} e P_{ST} = respectivamente, quantidades de P absorvido pela planta do fosfato natural e do superfosfato.

P_T = fósforo absorvido da testemunha (sem fósforo).

q_{FN} q_{ST} = respectivamente, quantidades adicionadas ao solo, como fosfato natural e superfosfato.

decreceu, com o acréscimo do pH, tendo sido praticamente igual a zero, em solos com pH acima de 6,5. O acréscimo na relação entre os coeficientes de disponibilidade do fósforo, com o decréscimo do pH do solo, deveu-se principalmente, ao acréscimo na absorção do nutriente por plantas adubadas com fosfato natural ($P_{FN} - P_T$, na expressão acima). Os autores ressaltaram que a pronunciada relação entre o pH do solo e a eficiência do fosfato natural sugere que as diferenças em eficiência entre os solos estudados resultaram de diferenças na solubilidade deste fertilizante e que as mesmas foram controladas, em primeiro lugar, pelo pH.

Resultados discordantes dos anteriores, sobre o efeito benéfico da acidez na solubilização de fontes menos solúveis de fósforo, foram obtidos mais recentemente, por RYAN e SMILLIE (1975). Eles verificaram que o Phospal (material obtido da calcinação de um fosfato alumino-cálcico do Senegal) proporcionou acréscimos na produção de matéria seca e no conteúdo de fósforo do azevém perene italiano (*Lolium multiflorum* Lam), com o acréscimo do pH do solo. Entretanto, efeitos favoráveis da acidez do solo foram novamente relatados por JUO e KANG (1979), em trabalho conduzido em dois solos ácidos da Nigéria, utilizando os fosfatos naturais de Marrocos e do Togo. Os autores constataram que a calagem até pH próximo a 5,5, deprimiu a absorção de fósforo dos fosfatos naturais, pela planta, porém aumentou a absorção de P proveniente do superfosfato triplo. Resultados semelhantes foram encontrados por PICHOT et alii (1982), ao estudarem o comportamento de sete fosfatos naturais em solos

da África Ocidental, utilizando *Agrostis* sp. como planta-teste. Eles observaram que em pH = 4,6, todos os fosfatos naturais foram solubilizados e sua eficiência agronômica (medida em termos de exportação de fósforo pela parte aérea das plantas), variou de acordo com suas características mineralógicas). Em pH = 5,5, somente os fosfatos naturais mais solúveis mostraram uma eficiência marcante, enquanto que em pH = 6,5, apenas a fonte solúvel, utilizada como controle, apresentou uma eficiência real nas condições experimentais adotadas.

No Brasil, diversos trabalhos têm corroborado os benefícios da acidez dos solos na solubilização dos fosfatos naturais (MACHADO, 1975; MACEDO, 1975 e GOEPFERT, 1976, citados por KOCHANN et alii., 1982). BLANCO et alii (1965) conduziram ensaios em casa-de-vegetação com trigo (*Triticum aestivum* L.) em sucessão com soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cultivados em Latossolo Vermelho Escuro Orto. Verificaram que as melhores reações ao superfosfato simples e ao triplo ocorreram em valores de pH, respectivamente, de 5,4 e 5,3. Dos fosfatos naturais, a fosforita de Olinda apresentou melhor reação na faixa de pH entre 5,1 e 5,3, enquanto que os fosfatos de Araxá e Alvorada mostraram reação mais favorável nas faixas de pH respectivamente de: 4,7 a 5,0 e 4,8 a 5,3. Níveis de pH acima destes valores prejudicaram o aproveitamento dos adubos fosfatados, diminuindo a produção. Dosagens elevadas de corretivo, elevando o pH acima de 5,5, foram desfavoráveis na utilização dos adubos fosfatados pelo trigo. DYNIA (1977) mostrou também, em ensaios com o trigo como planta-teste, que a elevação do pH dos solos diminuiu a eficiência relativa do superfosfato triplo e do fosfato de Gafsa, porém praticamente não afetou a do fosfato de Pirocaua.

Em solos sob vegetação de cerrado, vários trabalhos abordaram o problema em pauta. TANAKA (1978) estudou o efeito da calagem sobre a eficiência agronômica do fosfato Patos de Minas, comparado ao superfosfato triplo, utilizando o milho (*Zea mays* L.) como planta-teste, cultivado em Latossolo Roxo Distrófico, em casa-de-vegetação. Ele verificou um efeito benéfico da calagem sobre a fonte solúvel e um efeito negativo, a curto prazo, sobre o fosfato Patos de Minas. Já MOREIRA et alii (1979) constataram uma ação variável do corretivo, em função do tipo de solo, no comportamento das gramíneas forrageiras, braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf, Prain), gordura (*Melinis minutiflora* P. de Beauv.) e Jaraguá (*Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf), em presença dos fosfatos naturais Patos de Minas, Araxá e Tapira. Seus resultados (1º corte) mostraram que, em certos solos, o efeito da calagem foi benéfico na solubilidade dos fosfatos naturais, refletindo-se favoravelmente no crescimento destas gramíneas, como ocorreu no Latossolo Vermelho Escuro Distrófico. Porém, no Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVd₁), a calagem prejudicou acentuadamente a produção de matéria seca destas forrageiras com todas as fontes de P empregadas, o mesmo ocorrendo, no segundo corte, nos tratamentos com fosfato Patos de Minas e Tapira, nos Latossolos Vermelho Amarelos.

Referindo-se aos dados obtidos por MOREIRA et alii (1979), LOPES et alii (1982) acentuaram os seguintes aspectos importantes, a respeito dos fosfatos naturais.

- a) O comportamento da interação fosfato natural x calagem é altamente dependente da duração do estudo.
- b) Há sensíveis diferenças de resposta entre os diversos fosfatos naturais.
- c) A capacidade de aproveitamento dos fosfatos naturais é altamente dependente da espécie vegetal.

Estas observações sugerem que uma opção razoável para os fosfatos naturais brasileiros, de baixa reatividade, consiste na formação de pastagens, com doses mínimas de calagem, tratando-se de espécies tolerantes à acidez (LOPES et alii, 1982).

GOEDERT e LOBATO (1980) apresentaram resultados de ensaios conduzidos em Latossolo Vermelho Escuro Distrófico argiloso sob vegetação de cerrado, da região de Brasília, com a cultura da soja. Foram adicionadas 1,0 e 5,0 t de calcário/ha e os dados obtidos mostraram um decréscimo no rendimento relativo desta cultura, com o acréscimo da quantidade do corretivo, quando se adicionou o fosfato Patos de Minas (400 kg de P_2O_5 /ha). Para a fonte solúvel (superfosfato triplo, mesma dose), o efeito do calcário foi favorável na produção desta leguminosa. Os mencionados autores sugeriram que o efeito benéfico da acidez na solubilização dos fosfatos naturais deve ser aproveitado, na prática, com a utilização de plantas mais tolerantes à acidez, como o arroz de sequeiro e braquiária, caso em que seria feita apenas a fosfatagem. A calagem seria empregada somente quando outra cultura mais exigente (por exemplo, a soja) fosse utilizada. Ressaltaram, contudo, que esta alternativa só será viável se os níveis de cálcio e magnésio no solo forem satisfatórios. Acrescentaram, por outro lado, que, mesmo em condições de elevada acidez no solo, é baixa a eficiência agronômica dos fosfatos naturais brasileiros.

Resultados obtidos por YOST et alii (1982) em experimentos de campo conduzidos em Latossolo Vermelho Escuro com braquiária, onde se estudou o efeito de doses e fontes de fósforo, combinadas a três níveis de calagem, mostraram que a ação da acidez do solo pode ser insuficiente, a curto prazo, para a solubilização de fosfatos naturais de baixa solubilidade em ácido cítrico, como o fosfato de Ara

xã. Entretanto, os autores verificaram um acrêscimo acentuado na disponibilidade do fósforo nas parcelas sem calagem, após um tempo de contato deste fertilizante com o solo, de 10 a 13 meses, proporcionando produções semelhantes às obtidas com o emprego do superfosfato. Já nas parcelas que receberam 4,5 t de calcário/ha, as produções máximas com o fosfato de Araxá foram apenas 6,6% daquelas obtidas com o superfosfato. Em cortes subsequentes, realizados 25 meses após o plantio, verificou-se, porém, que praticamente foi anulado o efeito depressivo da calagem na produção máxima de braquiária, nas parcelas tratadas com o fosfato de Araxá.

2.2.2. Efeito da capacidade de adsorção de fósforo.

A concentração de fósforo na solução do solo é fortemente determinada pela capacidade de retenção de fósforo (SYERS et alii, 1981) e pode ser expressa pela atividade do íon H_2PO_4^- ou pelo potencial fosfato ($\text{pH}_2\text{PO}_4 + 1/2 \text{ pCa}$). Sua importância para a dissolução dos fosfatos naturais foi, recentemente, ressaltada por KHASAWNEH e DOLL (1978), que também acentuaram o papel relevante do nível do íon Ca^{2+} na solução do solo, para a eficiência dos fosfatos naturais. Conforme estes autores, a matriz do solo fornece um gradiente positivo no potencial eletroquímico dos íons Ca^{2+} e H_2PO_4^- , assegurando uma dissolução adequada dos fosfatos naturais. Se um solo está supersaturado em relação à apatita presente no fosfato natural, este não será dissolvido significativamente, nem fornecerá suficiente fósforo para as plantas.

A preocupação em se estudar o comportamento dos fosfatos naturais e fontes solúveis de P, em função dos diferentes tipos de solo, entre os pesquisadores brasileiros, já se manifestava por volta da década de 50. Trabalhos

daquela época foram conduzidos na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), em Piracicaba-SP, por diversos autores. Neste sentido, KIEHL e GOMES (1953) verificaram que, em solo Terra Roxa Estruturada, a fosforita do Morro do Serrote foi inferior ao superfosfato, farinha de ossos e hiperfosfato (os quais não diferiram entre si), na produção de milho, em experimentos de campo. MALAVOLTA et alii (1953), trabalhando com a mesma cultura, observaram, no primeiro ano de cultivo, em terra arenosa pobre, que a fonte solúvel (superfosfato) foi superior aos demais adubos (fertifos, serranafosfato e hiperfosfato) que, por sua vez, foram superiores ao fospal e Latif. Estes autores, confrontando seus dados com os de KIEHL e GOMES (1953), sugeriram as seguintes explicações para o comportamento distinto das fontes de fósforo empregadas nos dois tipos de solo (terra argilosa e terra arenosa).

- a) na Terra Roxa Estruturada, a pequena quantidade de P_2O_5 do superfosfato, rapidamente solúvel, foi fixada ou precipitada no solo, antes que as plantinhas, muito novas, tivessem emitido raízes suficientes para absorver o fósforo.
- b) Já o fósforo do hiperfosfato foi se solubilizando lentamente, sendo ao mesmo tempo absorvido pelas plantas.
- c) Em terceiro lugar, é provável uma ação benéfica do hiperfosfato no caso de KIEHL e GOMES (1953), melhorando o pH do solo.

Ainda para MALAVOLTA (1967), o melhor comportamento do superfosfato na terra arenosa seria devido ao pouco ferro e alumínio existente no solo, como também às condições não muito boas para solubilizar os fosfatos naturais. MALAVOLTA et alii (1953) sugeriram que, na prática, fossem adotadas suas conclusões para as terras arenosas, enquanto que as de KIEHL e GOMES (1953), prevaleceriam para as terras argilosas.

Em trabalho mais recente, McLEAN e LOGAN (1970) compararam o efeito de fosfatos com diferentes solubilidades em água, em fornecer fósforo para plantinhas de milho cultivadas em câmara de crescimento. Considerando os resultados obtidos, eles afirmaram que, em geral, quanto maior a capacidade de fixação de fósforo dos solos, menor será a solubilidade em água do fósforo disponível, para obtenção de produções máximas. Estes pesquisadores, sumarizando respostas relativas de produção de diversas culturas (cultivadas em campo e/ou câmara de crescimento), verificaram que, em 18,2% dos casos em que se obtiveram acréscimos significativos na produção, com aplicação de fósforo, o fosfato natural, acidulado a 20%, proporcionou produções máximas. Estas foram iguais para ambos os materiais (fosfatos naturais com 20% e 100% de acidulação) em 62,5% dos casos, enquanto que em apenas 17 casos (19,3%), o material acidulado a 100% mostrou-se mais eficiente. Concluíram que, via de regra, as tendências de fixação de fósforo dos solos são mais importantes do que diferenças entre espécies de plantas cultivadas, na determinação das respostas relativas de produção proporcionadas por estes materiais.

Os resultados de experimentos conduzidos com o objetivo de avaliar o efeito da capacidade de retenção de fósforo dos solos, na eficiência agronômica dos fosfatos naturais, nem sempre são concordantes. A ação benéfica desta propriedade dos solos sobre a solubilidade destes materiais foi relatada em inúmeros trabalhos. DYNIA (1977), por exemplo, associou a maior eficiência relativa dos fosfatos de Gafsa e Pirocaua para o trigo cultivado no solo Passo Fundo, em relação àquela determinada nos solos Mendaíha e Bom Retiro, à maior capacidade de retenção de fósforo do primeiro. Sugeriu as seguintes hipóteses para explicar o comportamento desses fosfatos neste solo:

- a) aumento de sua eficiência relativa, devido à diminuição da eficiência do superfosfato, por problemas de retenção de fósforo.
- b) alta capacidade de retenção de fósforo destes solos, que promove uma rápida retirada da solução do P liberado pelos fosfatos.

Ele verificou, também, uma maior eficiência relativa dos referidos fosfatos, com o acréscimo da capacidade de retenção de P, em valores de $\text{pH} = 6,0$ do que em $\text{pH} = 5,5$, comprovada pela maior declividade da reta de regressão entre eficiência relativa e capacidade de retenção de fósforo. A conclusão foi a de que, face aos resultados obtidos, pode-se esperar uma maior eficiência do fosfato de GAFSA, quando aplicado em solos com alta capacidade de retenção de fósforo.

CHIEN et alii (1980) constataram que as quantidades de fósforo extraído em água, nos solos tratados com superfosfato concentrado ou fosfato natural, decresceram à medida que aumentou a capacidade de adsorção de fósforo. Entretanto, as quantidades relativas de fósforo solúvel em água do fosfato natural, em relação ao superfosfato concentrado, aumentaram de 22% para 70%, quando a capacidade de adsorção de P aumentou de 60 para 225 mg P/100g de solo. Segundo os autores, isto sugere que a eficiência agrônômica do fosfato natural, comparada ao superfosfato concentrado, seria mais elevada em solos com forte capacidade de adsorção de P.

Estudando o efeito dos vários fosfatos naturais em dois solos ácidos ajustados para $\text{pH} = 5,0$ e que diferiram cerca de 10 vezes em suas capacidades de adsorção de P, ANDERSON et alii (1980) verificaram que a produção e a absorção de fósforo por plantas de azevém perene, foram ge

ralmente maiores nos solos com elevada capacidade de retenção de P. Sugeriram que o pH e capacidades tampões elevadas de fósforo favorecem a dissolução do fosfato natural.

A relação entre concentração de P na solução do solo e a taxa de crescimento das plantas, foi estudada por KHASAWNEH et alii (1978), em experimentos em casa-de-vegetação com milho e cow-pea (*Vigna sinensis* L.), adubados com quatro fosfatos naturais (Carolina do Norte, Flórida Central, Jordânia e Tennessee), que apresentavam uma grande variação de reatividade. Eles observaram que o milho e o cow-pea responderam à adição de vários fosfatos naturais e a magnitude da resposta aumentou com o acréscimo das reatividades destes fertilizantes. As concentrações de fósforo na solução do solo foram, geralmente, aumentadas por adições de fosfato natural, sendo este efeito mais pronunciado com o material mais reativo. Acrescentaram que concentrações de fósforo na solução do solo suficientemente altas para promover o crescimento máximo das plantas, foram obtidas somente com altas doses de fosfato natural. Ainda, conforme os referidos pesquisadores, os resultados fornecem adequadas explicações para numerosos estudos de campo, em que as produções máximas variaram entre os fosfatos naturais, sendo sempre menores que as obtidas com fontes solúveis de P.

Opinião conflitante com as anteriormente citadas, foi emitida por PAAUW (1965) em estudos conduzidos em casa-de-vegetação com as culturas da batatinha (*Solanum tuberosum* L.) e centeio. Utilizando os fosfatos naturais de Gafsa e Flórida, em solos arenosos húmicos, com diferentes valores de pH e capacidades de fixação de fósforo, ele afirmou que a capacidade de fixação de fósforo do solo reduziu, em grau mais acentuado, a eficiência dos fosfatos naturais, do que a dos fosfatos monocálcicos, razão porque, segundo o aludido autor, não há razão para utilizar fosfatos insolúveis em água, em lugar de superfosfatos, em solos forte

ente fixadores de fósforo. Ressaltou, no entanto, que isto se aplica especialmente para culturas com pequena atividade dissolvente do fósforo presente nos fosfatos naturais, podendo ocorrer o contrário com culturas mais eficientes na solubilização destes fertilizantes. Outros trabalhos também não mostraram efeitos benéficos da capacidade de retenção de fósforo dos solos, na dissolução dos fosfatos naturais (NOVOA e NUNES, 1974; DEIST et alii, 1971a).

Entretanto, em trabalho conduzido em laboratório, utilizando solos sob vegetação de cerrado de Brasília, com diferentes capacidades de retenção de fósforo, SMYTH e SANCHEZ (1982a) concluíram que a habilidade que os solos ácidos sob vegetação de cerrado possuem, em manter o fósforo dissolvido dos fosfatos naturais numa forma insolúvel, serve, aparentemente, como força determinante da dissolução adicional dos fosfatos naturais. Eles comprovaram, ainda, que os solos com elevados teores de argila e Fe_2O_3 livre e, portanto, com elevadas capacidades de retenção de P, foram aqueles que mantiveram níveis baixos de fósforo disponível no solo, sob condições de doses baixas do nutriente, adicionadas aos solos. Esta constatação concorda com a assertiva de KHASAWNEH e DOLL (1978), que acentuaram serem os fosfatos naturais eficientes como fertilizantes, em solos forte a moderadamente deficientes de fósforo (baixo nível de H_2PO_4^- na solução do solo). SYERS et alii (1981) verificaram, também, uma acentuada relação entre a dissolução dos fosfatos naturais e a capacidade de retenção de P dos solos, assinalando, por outro lado, que o efeito desta propriedade tende a superar o efeito do pH na dissolução dos fosfatos naturais. A afirmação análoga foi emitida por CABALA e WILD (1982), trabalhando com o fosfato Patos de Minas, entre outros fosfatos. Verificaram que o efeito deste fertilizante, de baixa solubilidade, foi mais benéfico em solos com elevada capaci-

dade de adsorção de fósforo. Sugeriram a adição de doses e levadas de fosfato, preferentemente em solos ácidos e que sua aplicação nestes solos deve ser feita com bastante antecedência ao plantio das culturas, devendo o mesmo ser mais efetivo para a produção de culturas não intensivas.

2.2.3. Efeito do cálcio na solução do solo.

KHASAWNEH e DOLL (1978) afirmaram que a afinidade do solo pelo cálcio promove a dissolução do fosfato natural, porque fornece um sumidouro para o cálcio, que é liberado pela dissolução adequada da apatita. Para fluorapatitas, são dissolvidos 10 moles de cálcio para cada 6 moles de P, que permanecem na solução. Uma baixa afinidade do solo pelo cálcio aumenta o nível de Ca na solução do solo, à superfície da apatita. Conseqüentemente, o nível de H_2PO_4^- / HPO_4^{2-} diminui de acordo com o princípio do produto de solubilidade. O gradiente de H_2PO_4^- / HPO_4^{2-} entre a superfície da apatita e o volume da solução do solo diminui também, e o processo de dissolução dos fosfatos naturais é reduzido proporcionalmente. A afinidade de um solo pelo cálcio é alta, quando a percentagem de saturação de cálcio (fração da capacidade de troca do solo saturada com cálcio) é baixa, condição que usualmente ocorre, quando a percentagem de saturação de bases e o pH são baixos.

O efeito de gradientes de cálcio na dissolução dos fosfatos naturais foi estudado por GRAHAM (1955), que verificou, através do estudo de mudanças de energia (associadas com o pH, hidrogênio total, cálcio ativo e cálcio total) e calculadas em energias de retenção e troca, que a intemperização do fósforo na apatita foi relacionada aos íons ativos de cálcio, como também ao hidrogênio ativo do sistema coloidal. Para este autor, sistemas coloidais que exibem altas energias de retenção para o cálcio, possuem capacidade elevada para solubilizar o fosfato natural.

HOWE e GRAHAM (1957) procuraram relacionar a disponibilidade do fósforo contido no fosfato natural, aos teores de sais solúveis, em cultivos com argila e areia, utilizando alfafa como planta indicadora. Verificaram que o cálcio reduziu a absorção do fósforo, com pequenas reduções, na produção das plantas. Os efeitos com sais de magnésio foram variáveis na produção e na absorção de fósforo pelas plantas; com o potássio, os efeitos foram favoráveis na produção de alfafa, para o sulfato e carbonato de potássio, e depressivos, quando se utilizou o cloreto de potássio.

Mais recentemente, KHASAWNEH (1977), citado por KHASAWNEH e DOLL (1978), verificou, em experimentos conduzidos em casa-de-vegetação, utilizando o milho como planta-teste, que o tratamento do solo com diferentes materiais, CaCO_3 e SrCO_3 , aumentou a percentagem de saturação de bases e, portanto, o pH. Foram observadas maiores reduções na produção de matéria seca nos tratamentos com fosfato natural da Carolina do Norte, nas parcelas em que se adicionou carbonato de cálcio, do que naquelas em que se utilizou carbonato de estrôncio. Conforme o autor, isto foi devido ao acrêscimo do Ca trocável, com redução, portanto, da afinidade do solo pelo cálcio, ou seja, da habilidade do solo em proporcionar um sumidouro efetivo para o cálcio. Já nas parcelas tratadas com SrCO_3 , a afinidade pelo cálcio permaneceu alta, pois não houve acrêscimo no Ca trocável do solo e o decrêscimo na eficiência agrônômica do fosfato natural foi atribuído ao acrêscimo do pH do solo.

Em trabalho de laboratório, objetivando determinar o efeito da atividade do íon cálcio na solubilidade de seis fosfatos naturais, WILSON e ELLIS (1979) utilizaram citrato de amônio neutro, variando o teor de cálcio de zero a 0,05 M de Ca^{2+} , como nitrato de cálcio. Os resultados confirmaram a relação inversa entre solubilidade dos fosfa-

tos naturais e atividade do íon Ca^{2+} na solução. A solubilidade dos fosfatos naturais decresceu rapidamente, à medida que se aumentou a atividade do íon Ca^{2+} de 0,00 a 0,02 M de Ca^{2+} . Em atividades iônicas de cálcio mais elevadas, a taxa de decréscimo na solubilidade foi menor.

2.2.4. Diferenças entre culturas na absorção do fósforo dos fosfatos naturais.

KHASAWNEH e DOLL (1978), em sua revisão sobre a utilização dos fosfatos naturais para aplicação direta aos solos, mencionaram ter sido provavelmente TRUOG (1916) o primeiro pesquisador a reconhecer que as culturas variam a centuadamente em sua habilidade de utilizar o fósforo dos fosfatos naturais, sob diferentes condições de solo. Este autor, citado por CESCAS e TYNER (1976), trabalhando com cultivos em areia que receberam fosfato natural, observou que plantas com alto teor de cálcio cresceram melhor que aquelas com baixas exigências deste nutriente, devido à sua remoção pelas primeiras, o que teria favorecido a solubilização posterior do fosfato natural. TRUOG. (1916), ainda de acordo com esses autores, afirmou que a maior disponibilidade dos fosfatos naturais em solos ácidos, do que em solos não ácidos, especialmente para plantas com baixo poder de absorção de fósforo dos fosfatos naturais, foi devida à remoção do bicarbonato de cálcio pelo solo ácido, permitindo, com isto, a continuação do processo de solubilização do fosfato natural. Para este pesquisador, as diferentes demandas de cálcio pelas culturas, explicariam, portanto, a variabilidade entre elas na utilização do fósforo proveniente dos fosfatos naturais.

Os resultados supracitados foram confirmados por BAUER (1921), que, estudando o comportamento de 15 espécies de plantas, verificou que aquelas com alto teor de cál

cio possuem uma maior habilidade em absorver fósforo dos fosfatos naturais. Ele sugeriu que culturas como o trevo doce (*Trifolium repens* L.), com grande capacidade de absorver fósforo de fontes menos solúveis de P, seriam adequadas, quando se adicionassem estes fosfatos a um sistema de rotação com outras culturas, de baixa capacidade de utilização de fósforo, o que contribuiria para o fornecimento deste nutriente e, também, de matéria orgânica, a estas culturas.

A teoria de TRUOG (1916), citado por COOK (1935), foi testada por este autor, que verificou uma utilização efetiva do fosfato natural, pela aveia, milho e milheto (*Pennisetum typhoides* (Burm. f.) Stapf.) somente em presença de material trocador (bentonita) saturado com hidrogênio e, ainda, que o trigo mourisco podia utilizar o fosfato natural em presença de materiais saturados, quer com H^+ , quer com Ca^{2+} . COOK (1935) considerou a equação abaixo (sugerida por TRUOG, 1916) para explicar a diferença de comportamento entre as culturas estudadas.

em que $Ca_3(PO_4)_2$ representa a fórmula da apatita presente no fosfato natural.

Sua argumentação foi a seguinte:

- a) a relação entre a absorção de P e de Ca^{2+} pela aveia, milho e milheto é maior do que a relação existente entre P e Ca nos fosfatos naturais. Como resultado, o bicarbonato de cálcio acumula-se gradualmente, de forma que o equilíbrio da reação acima é atingido, o que elimina uma posterior formação de fosfato solúvel. A introdução de material trocador saturado com H^+ promove a remoção do Ca^{2+} da solução (troca de H^+ pelo Ca^{2+}), permitindo, portanto, o prosseguimento da reação entre o fosfato natural e o áci-

do carbônico (excretado continuamente pelas raízes das plantas), resultando numa maior disponibilidade de fósforo para as plantas. Segundo o autor, este fato explicaria a maior eficiência dos fosfatos naturais em solos ácidos.

- b) as plantas com teores relativamente elevados de cálcio utilizam eficientemente o fosfato natural, porque elas absorvem o Ca^{2+} tão rapidamente, que o mesmo não se acumula como bicarbonato e, desta forma, elas aceleram a reação entre o fosfato natural e o ácido carbônico. Para estas plantas, um material trocador saturado com H^+ seria menos benéfico. Os resultados obtidos com trigo mourisco mostraram que isto é verdadeiro. COOK (1935) verificou, também, que um acréscimo na saturação de bases dos solos reduz a disponibilidade imediata dos fosfatos naturais para culturas como o milho e aveia, porém tende a manter o fósforo nativo e o adicionado, como sal solúvel, no solo, conservando-os na forma de fosfatos de cálcio, preferentemente a fosfatos de ferro básicos, menos disponíveis às plantas.

Entretanto, BARTHOLOMEW (1928) não encontrou uma relação definida entre a razão cálcio/fósforo nas plantas e sua habilidade em utilizar fosfatos naturais.

Experimentos posteriores, com materiais radioativos, confirmaram diferenças entre espécies de plantas em sua habilidade de obter fósforo e cálcio dos fosfatos naturais (MURDOCK e SEAY, 1955; FRIED e MACKENZIE, 1949). MURDOCK e SEAY (1955) mencionaram que o trevo absorveu 23-30% de seu conteúdo total de P, do fosfato natural, enquanto, no trigo, este percentual variou somente de 13-15%. Estes autores constataram, também, que estas culturas absorvem mais fósforo que cálcio, do fosfato natural, devido à maior rela

ção de P^{32}/Ca^{45} encontrada nestas plantas (4,5 no trigo e cerca de 1,2 no trevo), quando comparada à mesma relação determinada no fosfato natural ($P^{32}/Ca^{45} = 0,44$).

FRIED (1953) verificou que o fósforo proveniente dos fosfatos naturais foi mais disponível para o trigo mou-risco e para leguminosas, quando estas foram comparadas às gramíneas. Ele asseverou que seus resultados com fosfatos naturais sugerem que as diferenças encontradas entre várias espécies, em sua capacidade de absorção de P destas fontes menos solúveis, não somente refletiria diferenças em tamanho e extensão das raízes, mas, também, diferenças em interações específicas fonte-espécie de planta. O autor ressaltou que seus dados não permitem identificar a natureza desta interação, porém, ela poderia ser interpretada à luz de teorias, como excreções de raízes, balanço de nutrientes e interações microbiológicas.

Para DRAKE e STECKEL (1955), a diferença entre espécies de plantas na utilização dos fosfatos naturais está relacionada à capacidade de troca catiônica das raízes. Estes autores observaram que plantas com sistemas radiculares com elevada capacidade de troca catiônica, foram duas a três vezes mais eficientes em absorver fósforo do solo e dos fosfatos naturais, que plantas com sistemas radiculares de baixa capacidade de troca catiônica. Verificaram, também, que plantas de aveia, com capacidade de troca catiônica relativamente baixa, quando cultivadas em associação com trevo vermelho (*Trifolium repens* L.) (raízes com alta capacidade de troca catiônica) continham 60% mais fósforo, do que as cultivadas isoladamente. Para os mencionados pesquisadores, raízes de plantas com elevada capacidade de troca catiônica retêm o cálcio com maior energia, que raízes de plantas com baixa capacidade de troca catiônica. Eles consideraram que os seguintes mecanismos estariam envolvidos na liberação de fósforo:

- a) a retenção do cálcio pela rizosfera das plantas, possibilitando a dissolução dos cristais de fosfato natural.
- b) a quelação dos íons Fe e Al pelos ânions orgânicos, conduzindo à solubilização dos fosfatos de ferro e alumínio.

Segundo COOKE (1956), citado por KHASAWNEH e DOLL (1978), culturas com raízes fibrosas, bem desenvolvidas, são mais eficientes em utilizar fósforo dos fosfatos naturais. Em uma série de experimentos em casa-de-vegetação, esse autor verificou que o fosfato natural de Marrocos foi equivalente ao superfosfato para o rabanete (*Rhaphanus sativus* L.), 50% menos eficiente que esta fonte para a colza e trigo mourisco e de pouco valor para mostarda (*Brassica juncea* (L.) Czern & Cross), trevo, azevém perene (*Lolium perenne* L.) trigo, cevada (*Hordeum vulgare* L.), centeio e alface (*Lactuca sativa* L.)

Um enfoque diferente ao estudo da habilidade que as diferentes espécies de plantas possuem, em utilizar o fósforo dos fosfatos naturais, foi dado nos trabalhos de MARAIS et alii (1970) e DEIST et alii (1971b). Os primeiros, trabalhando com dois solos de pomares, que haviam recebido fosfato natural, obtiveram valores L cerca de 40% mais elevados para o repolho (*Brassica oleracea* var. capitata), em relação aos obtidos para o centeio. Eles ressaltaram que, embora certas espécies de plantas possuam maior habilidade em absorver formas de fósforo indisponíveis a outras, diferenças de importância prática do ponto de vista agrônomo somente ocorrem em solos adubados com fosfatos naturais. DEIST et alii (1971b), trabalhando igualmente com isótopos radioativos (^{32}P), adicionaram fosfato natural a solos virgens, determinando valores L de algumas espécies de plantas. Verificaram que, em geral, as plantas dicotiledôneas produziram valores L mais elevados que plantas monocotiledôneas e que as

primeiras absorveram uma quantidade de cálcio consideravelmente maior do que as segundas. Os dados obtidos sugerem que o fosfato natural é mais disponível às dicotiledôneas, do que às monocotiledôneas e que a quantidade de cálcio absorvida pelas primeiras é um fator importante para determinar sua habilidade em utilizar o fosfato natural. Ainda de acordo com os referidos pesquisadores, tanto o conteúdo de fósforo como os valores L (calculados conforme RUSSELL et alii, 1957), são importantes na escolha de uma cultura que converta fosfatos naturais em formas mais disponíveis de P. Concluíram, afirmando que as quantidades reais de fósforo absorvido dos fosfatos naturais dependem do tipo de solo, dos teores de fósforo e cálcio do solo, da quantidade extra de P e Ca adicionados ao solo, além do tipo de fosfato natural utilizado.

KHASAWNEH e DOLL (1978) consideram que, provavelmente, o parâmetro mais geral para avaliar a utilização dos fosfatos naturais pelas plantas é a taxa de crescimento relativo e seus efeitos diretos no estabelecimento de padrões de demanda, tanto para o fósforo como para o cálcio. Plantas de crescimento rápido necessitarão de uma alta taxa de acumulação de P dentro da planta, para manter este ritmo de crescimento. Se uma determinada planta tem um sistema de raízes extenso, sua demanda de fósforo por unidade de comprimento das raízes é menor do que aquela de plantas com sistemas radiculares de limitado comprimento e extensão. Assim, para um dado nível de absorção de fósforo por comprimento unitário de raízes, a concentração de P na solução necessita estar acima de um certo valor, o qual é determinado pela cinética de absorção do nutriente, para a espécie de planta considerada. Portanto, se o fosfato natural adicionado ao solo não é capaz de manter tal concentração de P na solução, a taxa de absorção de fósforo por unidade de comprimento de

raízes declinará, o mesmo ocorrendo, proporcionalmente, com sua taxa de crescimento relativo. KHASAWNEH (dados não publicados) citado por KHASAWNEH e DOLL, 1978, mediu a taxa de crescimento relativo do milho, cultivado num solo barro silteoso adubado com três doses de quatro fosfatos naturais e com fosfato dicálcico em pó. Os resultados mostraram que a taxa de crescimento relativo do milho foi relacionada à concentração de fósforo que estas fontes mantiveram no solo e que, num gráfico, os pontos obtidos (de todas as fontes e doses de fósforo) podiam ser descritos por uma única relação curvilínea.

Em trabalho recente, RAIJ e DIEST (1979) estudaram a habilidade do trigo, milho, capim gordura, soja, capim Paspalum (*Paspalum plicatulum* Michx.) e trigo mourisco, em utilizar fósforo do superfosfato, fosfato Maranhão (um fosfato de alumínio calcinado) e de vários fosfatos naturais, entre os quais o hiperfosfato, o fosfato Patos de Minas e o fosfato Alvorada, além de um fosfato Africano (fosfato de Mali). Os resultados mostraram que apenas o trigo mourisco pôde utilizar satisfatoriamente o fósforo de todos os fosfatos. Para as outras culturas, somente o fosfato Maranhão e o hiperfosfato apresentaram valores fertilizantes significativos. Suas eficiências relativas, em função do superfosfato (eficiência relativa = 1,0), foram, respectivamente: 0,45 e 0,11 para o trigo; 0,73 e 0,43 para o capim paspalum; 0,50 e 0,37 para o milho; 0,46 e 0,42 para o capim gordura; 0,28 e 0,38 para a soja e 0,72 e 1,0 para o trigo mourisco. Os autores sugerem que culturas como o trigo mourisco, com um padrão de absorção alcalina (maior absorção de cátions do que ânions) e que utilizam eficientemente o fósforo dos fosfatos naturais, deveriam ser procuradas e pesquisadas, em razão da crescente utilização dos fosfatos naturais na agricultura dos países tropicais.

2.3. Avaliação Agronômica dos Fosfatos Naturais.

2.3.1. Eficiência dos fosfatos naturais e fontes solúveis de fósforo. Efeito residual da adubação fosfatada.

Conforme abordado no item anterior, diversos fatores do solo e da planta influenciam a solubilidade dos fosfatos naturais e, conseqüentemente, sua influência agronômica. São bem distintas as reações que ocorrem, quando são adicionados ao solo, fosfatos naturais e fontes solúveis de P. Os mecanismos responsáveis pela solubilização destes materiais, são, em linhas gerais, governados pelo gradiente de potencial osmótico estabelecido entre a solução fertilizante concentrada e a água do solo. A umidade do solo move-se em direção às partículas dos fertilizantes fosfatados adicionados ao solo. Entretanto, enquanto nos fosfatos solúveis em água forma-se uma solução quase saturada (sob condições não saturadas de umidade do solo) dentro e ao redor do grânulo do fertilizante, nos compostos de baixa solubilidade, como fosfatos dicálcicos e apatitas, estas soluções saturadas são muito diluídas e governadas pelo princípio do produto de solubilidade destes compostos. É pequeno, portanto, o gradiente osmótico estabelecido entre a solução fertilizante e a solução do solo, resultando num movimento muito lento da água em direção aos grânulos destes materiais. Conseqüentemente, somente pequenos volumes de solo ao redor da partícula são influenciados pela solução. (SAMPLE et alii, 1980).

São inúmeros os trabalhos na literatura científica que comparam a eficiência agronômica dos fosfatos naturais com fontes solúveis de fósforo. Serão relatados neste item, tanto os efeitos iniciais, como também, com maior ênfase, os efeitos residuais da adubação com fosfatos naturais, confrontando-os com os resultantes da aplicação de fontes solúveis de P.

BENNET et alii (1957) conduziram ensaios em casa-de-vegetação, comparando a eficiência agrônômica de sete fontes de fosfatos naturais, com o superfosfato, na produção de Capim Sudão e trevo ladino (*Trifolium repens* cv. ladino) em dois solos, com e sem calagem. Encontraram uma diferença significativa entre as quantidades de fósforo disponível às plantas, das várias formas de fosfato natural, considerando-se os parâmetros produção de matéria seca e absorção de fósforo. Os autores ressaltaram que, embora a calagem e o tipo de solo tenham influenciado a disponibilidade de P das diversas fontes, as características de cada uma delas foram mais importantes que aqueles fatores.

O emprego de fósforo radioativo, com determinação de valores A para avaliar a eficiência agrônômica dos fosfatos naturais e fontes solúveis de P, foi adotado por ESMINGER e PEARSON (1957) e MOSCHLER et alii (1957). Os primeiros estudaram, em experimentos de campo conduzidos em Alabama (EUA), a eficiência agrônômica de diferentes fontes de fósforo, para culturas de milho e algodão (*Gossypium hirsutum*, L.), cultivadas em um sistema de rotação, com ervilhaca. Após 15 anos, a adição de fertilizantes foi interrompida, para avaliação do efeito residual. Os valores A calculados mostraram que todas as fontes tiveram um efeito residual considerável, medido pela absorção do radiofósforo. Entretanto, verificaram-se diferenças, em função do tipo de solo: num solo barro arenoso fino, o superfosfato apresentou uma maior disponibilidade de fósforo residual, que o fosfato natural adicionado em dose dupla daquela da fonte solúvel; já num solo barro-siltoso, o fosfato natural apresentou disponibilidade idêntica ao superfosfato, quando ambas as fontes foram adicionadas em doses equivalentes. Para determinar a fonte de fósforo, o efeito residual foi proporcional às quantidades adicionadas, quer considerando-se os dados de produção como as quantidades de P absorvido. MOSCHER et alii

(1957) encontraram resultados semelhantes, trabalhando com uma rotação milho-trigo-centeio. Após 40 anos da aplicação de superfosfato e fosfato natural, estes pesquisadores verificaram que, aproximadamente, $3/4$ do P aplicado estava presente no solo como fósforo residual e que as produções das culturas foram iguais com a adição dos fertilizantes, exceto nos primeiros anos, quando o superfosfato proporcionou produções mais elevadas.

Estudos em casa-de-vegetação conduzidos por SMITH e GRAVA (1958), com a cultura do trigo, mostraram que a disponibilidade do fósforo no fosfato natural da Flórida (avaluada por dados de produção, percentagem e conteúdo de fósforo na planta), foi superior à da argila xistosa, embora inferior à do fosfato monocálcico.

Aplicações contínuas de superfosfato proporcionaram produções mais elevadas para o trigo, enquanto que adições sucessivas de fosfato natural favoreceram mais o milho e o centeio, quando estas culturas foram cultivadas num sistema de rotação milho-trigo e associação de centeio-leguminosas. A avaliação do efeito residual do superfosfato mostrou que as produções tenderam a decrescer rapidamente, ocorrendo o contrário com os resíduos de aplicações do fosfato natural, que tenderam a aumentar as produções de todas as culturas (DOLL et alii, 1960). Resultados semelhantes foram obtidos por ARNDT e Mc INTYRE (1963), que constataram uma maior eficiência imediata para o superfosfato simples, comparado ao fosfato natural, em fornecer fósforo para o sorgo cultivado em terra vermelha laterítica. Contudo, após 7 anos, a eficiência residual do superfosfato decresceu para 8%, enquanto o fosfato natural apresentou um valor residual de 60-70% do inicial.

Resultados concordantes com os supracitados foram obtidos por MOTSARA e DATTA (1971), que cultivaram trigo,

milho, ervilha (*Pisum sativum* L.), batata e arroz (*Oryza sativa* L.) inundado, em solos com diferentes valores de pH. Eles constataram, também, que produções semelhantes foram obtidas com doses de 80, 160 e 240 Kg de P_2O_5 /ha, adicionado como fosfato natural.

ENGELSTAD et alii (1974) comprovaram a superioridade do superfosfato triplo em dois cultivos de arroz inundado, sobre os fosfatos naturais que, no entanto, apresentaram efeitos residuais substanciais. Ainda com a cultura do arroz, SHINDE et alii (1978) verificaram que os fosfatos naturais de Carolina do Norte e Gafsa, adicionados a um solo aeróbico úmido, duas semanas antes da inundação, proporcionaram produções semelhantes às obtidas com o superfosfato. Eles salientaram que, em solos ácidos, os fosfatos naturais podem ser tão eficientes quanto os fosfatos solúveis em água, em doses equivalentes de aplicação, quando adicionados a solos aeróbicos úmidos, duas a três semanas antes da inundação e transplântio do arroz. Sugeriram, também, a manutenção de uma certa quantidade de enxofre (adicionado como sulfato de amônio), que, conforme os referidos pesquisadores, pode beneficiar a utilização direta dos fosfatos naturais, mesmo em doses baixas de aplicação de fósforo.

Trabalhando com a cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L. var. Tatui 76) em solos das planícies orientais da Colômbia, extremamente ácidos e deficientes em fósforo, SANCHEZ e OWEN (1978) comprovaram a superioridade do super-fosfato e da escória de Thomas, na primeira colheita, sobre o fosfato natural de Pesca; porém, no segundo cultivo, não foram observadas diferenças significativas entre as três fontes de fósforo. Resultados análogos foram obtidos por HAMOND e LEON, s.d., citados por LEON e FENSTER (1979), num Oxisolo da Colômbia, com braquiária, em que foram comparadas seis fontes de fosfato natural, com doses variando de 0 (zero) a 400

kg de P_2O_5 /ha. Somente no 1º cultivo, o superfosfato triplo mostrou-se superior aos fosfatos naturais. Estes, com o tempo, aumentaram sua eficiência, sobrepujando as produções obtidas com doses equivalentes de superfosfato triplo, já no 3º cultivo. Após 8 cortes, os autores sugeriram que doses de 50 a 100 kg de P_2O_5 /ha são adequadas para produções de braquiária próximas das máximas, independente da fonte utilizada.

Combinações de aplicações básicas de fosfato natural a lanço, seguidas por adubações de manutenção com fonte solúvel de fósforo (superfosfato triplo e simples), foram relatadas em experimentos conduzidos por LEON e FENSTER (1979) e MOKWUNYE (1979), respectivamente, em solos da Colômbia e solos sob savana, da Nigéria. Os primeiros recomendaram a aplicação de apenas 50 kg de P_2O_5 /ha, como adubação de manutenção, para o estabelecimento de *Brachiaria decumbens*, se aquela é precedida de uma aplicação básica de, no mínimo, 100 kg de P_2O_5 /ha, como fosfato natural. O segundo autor evidenciou, também, o acentuado efeito residual do fosfato natural de Togo (África), cuja eficiência relativa média (comparada ao superfosfato simples) elevou-se de 70% (1º cultivo), para 96% no 2º cultivo, com milho.

No Brasil, os trabalhos de pesquisa sobre eficiência agronômica dos fosfatos naturais tiveram grande impulso na década de 70, com a descoberta de extensas jazidas de fosfatos naturais, principalmente a de Patos de Minas, em Minas Gerais e Catalão, em Goiás, coincidindo com o acentuado encarecimento das fontes solúveis, conduzindo à necessidade do estabelecimento de estratégias para o uso adequado destes materiais (GOEDERT e LOBATO, 1980).

BRAGA (1970) efetuou uma extensa revisão dos trabalhos conduzidos com fosfatos naturais até aquela época. Entre outras conclusões, ressaltou a necessidade da avaliação

da interação solo x vegetal x fertilizante, além de considerações de ordem econômica sobre a utilização do fosfato de Araxá. Para o referido autor, este fosfato se mostrou equivalente ao superfosfato, quando aplicado em quantidade quatro vezes superior (BRAGA, 1967). Diversas pesquisas mais recentes têm sido conduzidas com diferentes fontes brasileiras de fosfatos naturais, comparando-as entre si e com fontes estrangeiras mais reativas no solo, como os fosfatos de Gafsa, Carolina do Norte e outros. Via de regra, os fertilizantes brasileiros apresentam baixíssima eficiência agrônômica no primeiro cultivo, porém, tendem a melhorar no decorrer do tempo, como mostraram GOEDERT e LOBATO (1980), que recomendam sua utilização apenas para adubação corretiva, visando elevar o nível de fósforo no solo. Esta adubação corretiva deve ser suplementada com uma adubação de manutenção no sulco de plantio dos cultivos anuais, utilizando-se uma fonte solúvel de P.

BLANCO et alii (1965) conduziram experimentos em casa-de-vegetação, num Latossolo Vermelho Escuro Orto, utilizando o trigo como planta-teste. Comprovaram a superioridade dos superfosfatos simples e triplo sobre os fosfatos naturais, com diferenças altamente significativas, que desapareceram, quando foi avaliado o efeito residual destes fertilizantes para a cultura da soja. Em ambas as culturas, o fosfato Alvorada propiciou produção superior à obtida com a fosforita de Olinda e apatita de Araxá. FEITOSA et alii (1978), igualmente com trigo, obtiveram resultados semelhantes, ao avaliarem a eficiência imediata de diversos fosfatos naturais para esta cultura. Dentre eles, sobressaíram-se os fosfatos Alvorada e Maranhão, embora inferiores às fontes mais solúveis (superfosfato triplo e termofosfato yoorin).

Utilizando-se de diferentes técnicas (fósforo radioativo, Neubauer e *Aspergillus niger*), MELLO et alii

(1974) avaliaram o efeito residual do superfosfato, fertifos e fosforita de Olinda aplicados a um solo arenoso (Regosol). Os efeitos residuais mais elevados foram observados para o fosfato natural de Olinda, a menos solúvel das fontes estudadas. O superfosfato e o fertifos (um fosfato precipitado) foram semelhantes em seus efeitos residuais. SIQUEIRA et alii (1975) também constataram efeito residual do fosfato de Jacupiranga, adicionado numa sucessão trigo-soja, em solo da unidade de mapeamento Passo Fundo (RS). Apesar dos baixos teores de P solúvel do adubo em questão, houve uma tendência a acrêscimos no rendimento dos cultivos, a partir do 2º ano de experimentação, observando-se um aumento da produção da ordem de 500 kg/ha para o 4º cultivo (soja), quando se elevou de 100 para 200 kg de P_2O_5 , a dose empregada.

CORDEIRO et alii (1978) apresentaram resultados de um experimento de campo em Latossolo Bruno (Guarapuava-PR), em que foram comparados diferentes fosfatos, quanto à sua eficiência agronômica para a soja (cv. Paraná). Equações de regressão estabelecidas entre doses de P_2O_5 adicionadas ao solo x produção de grãos de soja, mostraram superioridade para a fonte solúvel (superfosfato triplo), seguida do fosfato Patos de Minas e do termofosfato IPT (semelhantes entre si). Os dados de produção para estas fontes ajustaram-se a um modelo quadrático. O fosfato de Catalão comportou-se como material inerte no solo.

Cultivando também soja, em casa-de-vegetação, nos solos São Pedro (Podzólico Vermelho Amarelo) e Alto das Canoas (Laterítico Bruno-Avermelhado Eutrófico) no Rio Grande do Sul, FERREIRA e KAMINSKI (1979) verificaram que o fosfato Patos de Minas granulado e em pó, e o fosfato de Gafsa granulado e acidulado, não foram eficientes na liberação de fósforo para a soja; porém, o fosfato de Gafsa, em pó, foi equivalente ao superfosfato triplo. Para estes autores, as

diferenças entre os fosfatos naturais utilizados podem ser atribuídas às suas constituições, pois, enquanto o fosfato Patos de Minas é um fosfato apatítico, com pequeno grau de substituição isomórfica em sua estrutura cristalina, o fosfato de Gafsa apresenta alto grau de substituição do PO_4^{3-} pelo CO_3^{2-} , sendo, por isto, facilmente solubilizado. Resultados semelhantes, com a mesma cultura, foram obtidos por BRAGA et alii (1980), com os fosfatos de Patos de Minas, Catalão e Araxá adicionados a um Latossolo Vermelho Escuro, textura média, em experimentação de campo. Os autores sugeriram que a reatividade nula dos fosfatos apatíticos foi consequência da natureza das amostras utilizadas no experimento e, provavelmente, de algum fator ambiente, como o pH do solo, que foi superior a 5,5 em todos os tratamentos, podendo constituir-se em fator limitante da reação desses materiais com o solo.

Em trabalho recente, RAMOS (1982) avaliou o efeito de oito fosfatos como fontes de fósforo, na presença e ausência de calagem, para culturas de trigo (cv. IAC 5) e soja (cv. Davis) cultivadas em sucessão, em Latossolo Vermelho Escuro argiloso, na região dos Campos Gerais, Paraná. Para a cultura do trigo, destacaram-se os fosfatos de fusão (escória de Thomas e Termofosfato yoorin), bem como os fosfatos naturais (farinha de ossos e fosfato de Gafsa), com eficiência semelhante aos superfosfatos. Para a soja, sobressaiu-se o fosfato de Alvorada entre os fosfatos naturais, mostrando-se mais eficiente que os superfosfatos, a partir do segundo ano de utilização.

CABALA e WILD (1982) comprovaram, também, efeito benéfico da adição de um fosfato natural de baixa solubilidade, como o Patos de Minas, adicionado a 2 Ultisolos e um Oxisolo do Estado da Bahia. Num dos ultisolos (Tropudult Camaca), verificou-se uma boa resposta do sorgo à aplicação deste fosfato, embora a mesma tenha sido inferior àquela pro

porcionada por fosfatos mais solúveis, como Gafsa e Marrocos.

2.3.2. O emprego dos fosfatos naturais em solos sob vegetação de cerrado, com ênfase para o fosfato Patos de Minas.

Entre os primeiros trabalhos realizados com fosfatos naturais em solos sob vegetação de cerrado, visando avaliar sua eficiência agronômica, estão os desenvolvidos pelos pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa-MG. NOVAIS (1969) considerou viável a utilização do tufito de Patos de Minas (material originário da decomposição de lavas e cinzas vulcânicas, devido a derrames ocorridos no Neo-Jurássico, conforme GOMES, 1958, citado pelo autor), na recuperação de solos sob cerrado, em áreas não muito distantes dos afloramentos. Ele obteve um aumento de 781 kg/ha (testemunha) para 4368 kg/ha de milho, com a aplicação de 10 t de tufito/ha e 400 kg de sulfato de amônio/ha. No 2º ano, o aumento em resposta ao efeito residual foi de 163 para 1.357 kg/ha. O tufito de Patos e a fosforita de Abaeté foram empregados por BRAGA et alii (1971), que adicionaram doses variando de 200 a 3.000 kg de P_2O_5 /ha, num ensaio conduzido em casa-de-vegetação, com painço (*Setaria italica*, Beauv) como planta-teste, cultivado em Latossolo Vermelho-Escuro textura média. Os fosfatos naturais foram comparados ao superfosfato simples, por meio do índice coeficiente de disponibilidade I.C.D. (relação entre a quantidade disponível do elemento no fertilizante e a quantidade utilizada pelo vegetal). Foram obtidos valores de I.C.D. muito baixos, 0,22 e 0,13, respectivamente, para o tufito de Patos e fosforita de Abaeté, utilizando-se a produção de massa verde. Para os referidos pesquisadores, estes valores de I.C.D., comparados com o do superfosfato simples (que é unitário), mostram a reserva que se deve ter na utilização destas fontes, principalmente para aplicações a curto prazo.

PEREIRA et alii (1974) estudaram o efeito da aplicação a lanço, de fontes de fósforo (superfosfatos simples e triplo, farinha de ossos, apatita de Araxá, termofosfato e escória de Thomas) em três doses (0,50 e 100 kg de P_2O_5 /ha), na nodulação e absorção dos nutrientes P, N, Ca, Mg e K, pela cultura da soja, cv. Mineira, cultivada em Latossolo Vermelho Escuro. Seus resultados concordam com os anteriormente citados, tendo-se constatado baixa eficiência agrônômica do fosfato de Araxá, que apresentou uma resposta linear sobre a produção de nódulos e percentagem de fósforo na folha, sugerindo, consoante os referidos autores, a necessidade de aplicações de doses mais elevadas de fósforo.

A partir de 1975, diversos trabalhos foram conduzidos, após a localização de extensas jazidas de fosfatos naturais na região dos cerrados, como os fosfatos Patos de Minas em Minas Gerais, e Catalão, em Goiás.

A jazida do fosfato Patos de Minas, descoberta por Adamir Gonçalves Chaves, pesquisador da Equipe do Departamento de Produção Mineral, em 1974, ocorre nos locais denominados Rocinha e Pirubinhas, no município de Patos de Minas-MG. Este fosfato é constituído pela colofana, mineral típico de depósito sedimentar, com forma criptocristalina, semelhante à apatita em composição. Sua origem é sedimentar, marinha e singenética, e a jazida está encaixada em rochas do grupo Bambuí, que foram submetidas a um intenso processo dinâmico, resultando em leve metamorfismo. Elas estão associadas ao Eo-Cambriano, integrando a sequência de natureza pelítica, freqüente em várias ocorrências de fosfato sedimentar no mundo. O teor médio da jazida em P_2O_5 é de 12,17% e as reservas medida e inferida, são, respectivamente, de, aproximadamente, 160.000.000 e 237.000.000 de toneladas (CHAVES s.d.). GREMILLION et alii (1976), através de observações ópticas e de Raios-X, verificaram que as apatitas presentes em duas amostras de fosfato Patos de Minas eram, essencialmente, do tipo fluorapatitas, com um grau muito pequeno de

substituição isomórfica do fosfato pelo carbonato. A fórmula empírica aproximada de uma destas amostras (denominada "concentrado fosfático") seria a seguinte, conforme os aludidos au tores:

Tabela 1. Análise química de uma amostra de fosfato beneficiada ("Concentrado fosfático") do fosfato Patos de Minas.

Composição	% do total
CaO	29,6
P ₂ O ₅	22,7
F	1,8
CO ₂	0,67
Na ₂ O	0,12
MgO	0,49
SiO ₂	30,8
Al ₂ O ₃	5,6
Fe ₂ O ₃	2,9
K ₂ O	1,3
Enxofre total	0,02
Carbono total	0,24
Cl ⁻	0,009
P ₂ O ₅ solúvel em citrato de amônio neutro	1,8
P ₂ O ₅ solúvel em ácido cítrico a 2%	5,3

Fonte: GREMILLION et alii (1976)

A influência do tempo de incubação sobre o aumento da eficiência dos fosfatos de Araxá, Patos de Minas, Catalão e Tapira, em relação ao superfosfato triplo, foi estudada por SOUZA (1977), em ensaios conduzidos em casa-de-vegetação, utilizando-se sorgo como planta-teste, cultivado

nos solos Cambissol Latossólico Eutrófico, de Irecê (BA), de textura argilosa e Latossolo Vermelho Escuro, de textura média, coletado em área sob vegetação de cerrado de Ituiutaba-MG. Entre suas conclusões destacam-se:

- a) A acidez do solo e o acréscimo do tempo de incubação melhoraram a eficiência dos fosfatos naturais, proporcionando maior produção de matéria seca e maior quantidade de fósforo absorvido pelo sorgo.
- b) Os fosfatos naturais mostraram-se mais eficientes no Latossolo, do que no Cambissolo, em função do tempo de incubação, com maiores aumentos de produção de matéria seca e teor de fósforo absorvido.
- c) No Latossolo, o fosfato de Araxá foi superior ao fosfato Patos de Minas e este superior ao fosfato de Catalão e Tapira, que não apresentaram diferenças entre si, quanto à produção de matéria seca, em todos os níveis e períodos de incubação.
- d) a superioridade do superfosfato triplo sobre os fosfatos naturais (em ambos os solos e nos três períodos de incubação) decresceu com o tempo de incubação, sendo este decréscimo mais acentuado no solo sob cerrado.

Entretanto, BRAGANÇA (1979) e NOVAIS et alii (1980), trabalhando com fosfato de Araxá e com a mesma cultura, obtiveram resultados conflitantes com os supracitados.

Estes autores sugeriram que, embora haja uma reação do fosfato no solo, com o acréscimo do tempo de incubação, esta reação forma, aparentemente, produtos de menor disponibilidade de fósforo para as plantas, do que o material original.

Os resultados obtidos por CAMPO (1978), com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em três solos (LVD₁, LVD₂ e LEd) concordam com os de SOUZA (1977), com o fosfato de Araxá superando os fosfatos Patos de Minas e Tapira, quanto aos

parâmetros avaliados (peso de matéria seca da parte aérea , fósforo absorvido e acumulado na matéria seca; fósforo "disponível" no solo, número de bactérias, número de fungos e número de actinomicetos no solo).

As eficiências agronômicas dos fosfatos Patos de Minas e Gafsa foram avaliadas (empregando-se o superfosfato triplo como fonte padrão), em experimentação de campo conduzida por CORDEIRO et alii (1979), num Latossolo Roxo Distrófico, de textura argilosa, no município de DOURADOS (MS), com as cultivares de soja Santa Rosa e Paraná. Eles observaram efeitos residuais quadráticos, para o superfosfato triplo e fosfato de Gafsa e efeito linear para o fosfato Patos de Minas, cuja eficiência em relação ao superfosfato triplo aumentou linearmente com as doses aplicadas. Foram estabelecidas as seguintes conclusões:

- a) o fosfato de Gafsa apresentou uma eficiência média de 95% em relação ao superfosfato triplo, considerando-se o efeito residual. Com uma dose de manutenção de 70 kg P_2O_5 /ha , como superfosfato triplo, no 2º cultivo, sua eficiência superou à desta última fonte.
- b) O fosfato Patos de Minas apresentou uma eficiência média residual de 62% em relação à fonte padrão. Com a dose de manutenção de fósforo solúvel, a mesma elevou-se para 83%.

É oportuno realçar no trabalho em questão, a reação favorável do fosfato Patos de Minas no solo, contrastando com resultados obtidos em pesquisas conduzidas em outros solos da região dos cerrados. Por exemplo, GOEDERT e LOBATO (1980), em Latossolo Vermelho Escuro, textura argilosa, verificaram que este fosfato natural, após quatro cultivos sucessivos (trigo, soja, soja e arroz), mostrou eficiência agronô-mica semelhante aos fosfatos de Araxá e Abaeté, superando apenas o fosfato de Catalão. O fosfato Patos de Minas alcançou um rendimento relativo de 46% (Produção máxima = 100%, obtida com 800 kg de P_2O_5 /ha, como superfosfato triplo), apenas no

3º cultivo (soja), que aumentou para 79% no 4º cultivo (arroz), quando foi adicionada uma dose de 800 kg de P_2O_5 /ha.

A época de aplicação dos fosfatos naturais, em relação à calagem, foi estudada por CANTARUTTI et alii (1981), num solo Latossolo Vermelho Amarelo Câmbico Álico, em que se cultivou sorgo granífero, híbrido TEY-101. A maior eficiência agrônômica dos fertilizantes foi alcançada quando eles foram adicionados ao solo trinta dias antes da aplicação do corretivo. Embora, de um modo geral, o fosfato Patos de Minas tenha proporcionado menores produções de matéria seca que o fosfato de Araxá, seu comportamento igualou-se ao desta fonte, quando ambos foram adicionados ao solo 30 dias após a aplicação do calcário.

Adubações com fosfatos naturais adicionados a lanço e incorporados ao solo foram comparadas em diversos trabalhos na região dos Cerrados, com combinações entre esta forma de aplicação e adições da fonte solúvel, no sulco de plantio. Esta última alternativa foi sugerida por GOEDERT e LOBATO (1980), que recomendam a utilização de fontes menos solúveis de fósforo, como adubação corretiva ou "fosfatagem", que deve ser suplementada por adubações de manutenção, com fonte solúvel de P, no sulco de plantio dos cultivos anuais. Adotando esta linha de pesquisa, SMYTH e SANCHEZ (1982b) estudaram, num Latossolo Vermelho Amarelo coletado em área sob vegetação de cerrado, no CPAC, o efeito de doses de fosfato Patos de Minas e superfosfato simples e combinações destas fontes na produção de soja, cultivar Paraná-Precoce, durante um período de dois anos. Produções máximas de soja foram obtidas com o emprego da fonte solúvel (352 kg P/ha), a lanço. A adição isolada do Patos de Minas foi incapaz de fornecer fósforo suficiente às plantas, sendo necessários cerca de 4 kg de P/ha provenientes desta fonte, para obtenção de acréscimos em P disponível, semelhantes aos proporcionados por 1 kg de P/ha, como superfosfato simples. Entretanto, a combinação de, aproximadamente, 400 kg de P_2O_5 /ha, como fosfato Patos de Minas, a lanço, com cerca de

200 kg de P_2O_5 /ha, como superfosfato simples, no sulco de plantio, proporcionou um rendimento relativo de 81% da produção máxima de soja, a um custo de aplicação igual à 31% daquele decorrente da adição de 352 kg de P/ha, como superfosfato simples.

Resultados semelhantes foram obtidos por JUNQUEIRA NETTO et alii (1982), com a cultura do feijão, em Latossolo Vermelho Escuro Distrófico. A alternativa de combinação de fosfato natural e fonte solúvel de P, de modo análogo ao supra-indicado, apresenta-se, conforme os autores, mais eficiente e econômica que o uso somente de fonte solúvel de fósforo, pois os fosfatos naturais são mais baratos que os industrializados. GOEDERT (1983), avaliando o efeito residual dos fosfatos Patos de Minas, Araxá e Catalão, em Latossolo Vermelho Escuro Distrófico, após seis anos de cultivo, no CPAC, concluiu que, de uma forma global, a eficiência dos fosfatos naturais em relação às fontes solúveis, atingiu os seguintes índices: 84 a 89% para o Patos de Minas, 82% para o Araxá e 69% para o Catalão, quando estes fertilizantes foram adicionados na dose de 44 ppm de P ($200 \text{ kg de } P_2O_5/\text{ha}$). O autor afirmou, também, que, apesar de equivalentes, o fosfato Patos de Minas apresenta uma eficiência levemente superior ao Araxá, devendo ser, portanto, em iguais condições de preço, o mais recomendado para aplicação "in natura".

Trabalho bem recente, no CPAC, mostrou um efeito benéfico do fosfato Patos de Minas, semelhante ao do superfosfato simples, na produção de matéria seca de *Brachiaria humidicola*, em Latossolo Vermelho Amarelo. Após o terceiro ano de estabelecimento desta forrageira, os tratamentos com estes fertilizantes, na dose de $200 \text{ kg de } P_2O_5/\text{ha}$, proporcionaram, aproximadamente, 80% da produção máxima obtida no experimento. (EMBRAPA, 1982).

2.4. Disponibilidade de fósforo no solo avaliada por extratores químicos. Relação com a produção e absorção de fósforo pelas culturas.

FÄSSBENDER (1966) considera que o princípio do uso de um método químico para avaliação da disponibilidade de um nutriente está baseado no fato de que o solo, em contato com soluções extratoras, cederá a estas uma parte da reserva total do nutriente, assumindo-se que elas tenham o mesmo poder de extração que as raízes de uma planta sadia.

BRAGA e YANNER (1968) admitem que um método de análise de solo, para estimar o nível de fertilidade em fósforo do solo, será bom, desde que o coeficiente de correlação entre os teores extraídos num dado momento e a produção vegetal, ou absorção do elemento, seja significativo. Ressaltam, entretanto, que este critério, em condições experimentais, deve prevalecer somente, quando se tem certeza de que o elemento em estudo é o único fator limitante do crescimento vegetal.

Para RAIJ (1978), um método de laboratório passa a ser útil em avaliar a disponibilidade do fósforo, depois de convenientemente correlacionado com a resposta da planta à aplicação de fosfatos ou ao fósforo existente nos solos. Testes finais para o uso de um método e sua calibração são feitos através de ensaios de campo. Segundo este autor, para a seleção de métodos de avaliação de P extraível do solo, são preferidos ensaios em vasos, com uma série de solos de importância regional, sendo a quantidade de fósforo absorvido pela planta-teste, em ausência de adubação fosfatada (porém com o fornecimento das demais condições para o desenvolvimento vegetal), o parâmetro mais utilizado para expressar a resposta ao fósforo, em condições de casa-de-vegetação.

- 2.4.1. Os extratores de fósforo Mehlich, Bray-1 e resina trocadora de íons. Fundamentos de sua ação extratora e emprego em diferentes condições de solo.

O extrator Mehlich, utilizado para determinar o fósforo extraível na maioria dos laboratórios de rotina no Brasil, superestima os valores de fósforo no solo, quando se usam fosfatos naturais na adubação (FOLE e MIELNICZUCK, 1975, citados por SFREDO et alii, 1979). Considerando-se este fato e o emprego crescente dos fosfatos naturais na agricultura brasileira, SFREDO et alii (1979) ressaltaram a necessidade de novas pesquisas de laboratório, objetivando encontrar-se um método de extração de fósforo do solo que apresente alta correlação com o fósforo absorvido pelas plantas, independente da solubilidade do fosfato empregado. RAIJ (1978), além da restrição acima assinalada para o uso de extratores ácidos de fósforo no Brasil, acrescenta que, devido ao fato do P-lábil encontrar-se, em solos ácidos adubados, preferentemente na forma de fosfatos de alumínio, devem ser preferidos extratores ou métodos que tenham maior ação de dissolver esta fração, como é o caso dos extratores Bray-1, resina trocadora de íons e, mesmo, o Olsen.

Para BIASI (1978), os ácidos fortes diluídos como o extrator Mehlich, têm sua ação extratora baseada nos seguintes princípios:

- a) ação ácida, pela protonização do fosfato, conforme a reação:

- b) por troca aniônica: os radicais aniônicos (cloreto ou sulfato) substituem parte dos fosfatos ligados ao cálcio e porções daqueles ligados ao alumínio e ferro.

As soluções ácidas extraem mais fósforo do solo, das formas de fosfatos cálcicos, do que daquelas em que o fósforo está unido ao ferro e alumínio. Além disto, a função dos ácidos clorídrico e sulfúrico é dissolver maiores quantidades

de ferro, mais solúveis em ácidos mistos (OLSEN e DEAN, 1965).

A ação extratora do Bray-1 fundamenta-se, conforme OLSEN e DEAN (1965) e FRIED e BROESHART (1967) em:

- a) ação complexante e de troca. É atribuída ao ânion fluoreto, que dissolve os fosfatos de ferro e alumínio, pela formação de íons complexos com estes metais, em soluções ácidas; exerce também ação de troca com o íon fosfato.
- b) ação ácida, que possibilita a remoção de formas de fósforo facilmente solúveis em ácidos, principalmente fosfatos de cálcio.

COREY (1965), citado por BIASI (1978), acrescenta que o ânion fluoreto forma com o Ca, compostos de CaF_2 , que é insolúvel, deslocando, deste modo, os fosfatos para a solução e evitando a refixação do fósforo extraído. Segundo JACKSON (1970), a reação do íon fluoreto com os íons Al^{3+} e Fe^{3+} seria a seguinte, representando-se apenas a reação com o alumínio, pois a com o ferro é semelhante:

Nesta equação, a fórmula AlPO_4 representa os diferentes fosfatos hidratados e hidroxílicos de alumínio, incluindo os capeamentos superficiais adsorvidos ou precipitados sobre óxidos e aluminosilicatos. FePO_4 representaria formas análogas para o ferro. O extrator Bray-1 é mais indicado para solos ácidos a ligeiramente ácidos (FITTS e NELSON, 1956 e OLSEN e DEAN, 1965) e também para solos fertilizados com fosfatos naturais. (SMITH et alii, 1957).

O princípio de extração de fósforo pela resina trocadora de íons é o da simulação da troca aniônica efetuada pela raiz ativa de um vegetal. A resina cede ânions, em troca dos fosfatos existentes na solução do solo. As vantagens da utilização da resina, em comparação com soluções químicas seriam as seguintes (BIASI, 1978):

- a) ausência de soluções químicas que alterem características do solo.
- b) mecanismo semelhante às raízes das plantas.
- c) eliminação de "retenção" secundária.
- d) possibilidade de análise dos mais diversos tipos de solo.

GALRÃO (1976) menciona que a resina, após ser saturada com um outro ânion (geralmente o Cl^-), e entrar em contato com o solo, o P presente na solução do solo é adsorvido simultaneamente com a liberação do Cl^- , estabelecendo-se, portanto, uma reação de troca. À medida que o P da solução é retirado, o P da fase sólida vai sendo liberado a fim de restabelecer o equilíbrio original. Dependendo do tempo de agitação, o método poderá fornecer índices da capacidade do solo em fornecer fósforo e de sua taxa de liberação do elemento, para a solução do solo.

Em relação ao extrator Bray-1, diversos trabalhos têm mostrado sua adaptabilidade a diferentes condições de solo, nativos ou fertilizados com diferentes fontes de fósforo. SMITH et alii (1957) verificaram que este extrator mostrou-se excelente para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos que receberam fosfatos naturais, parecendo ser um meio eficiente na determinação do P liberado às plantas, proveniente destes fertilizantes. Segundo estes autores, o efeito repressivo do ânion fluoreto, em solos adubados com fosfatos naturais, sobre certas formas de fósforo pouco disponíveis às plantas, é muito importante e melhora acentuadamente a correlação entre os valores extraídos deste nutriente, com as respostas de crescimento das plantas. Por outro lado, em solos ácidos que não receberam adições de fosfatos naturais, este ânion aparentemente dissolve fósforo adicional, que não foi removido com o uso somente do ácido diluído. Eles sugeriram, por fim, que estas duas funções do ânion fluoreto po

dem manifestar-se simultaneamente, na extração de fósforo de um grande número de solos.

Visando elucidar a ação do extrator Bray-1 na avaliação do fósforo "disponível" em solos ácidos, incubados com diferentes fosfatos naturais, CHIEN (1978) sugeriu que o fósforo extraído pelo Bray-1 nas condições indicadas, é, parcialmente, derivado do fosfato natural que não reagiu com o solo e, também, dos produtos da reação deste fertilizante com o solo, e que ambas as fontes podem fornecer P disponível às plantas. Acrescentou, ainda, que isto é particularmente verdadeiro em solos fortemente ácidos, com baixo poder tampão e adubados com fosfatos naturais relativamente reativos em curtos períodos de tempo. Mencionando os dados obtidos por BARNES e KAMPRATH (1975), aquele pesquisador admitiu que o extrator Bray-1 pode extrair fósforo de duas fontes diferentes do nutriente no solo: a) no solo tratado com fosfatos naturais, as principais fontes de P seriam o fosfato natural não-reativo e os produtos de sua reação com o solo, presumivelmente fosfatos de alumínio; b) no solo fertilizado com superfosfato, os produtos da reação do mesmo com o solo, constituiriam a principal fonte de P para as plantas.

SYERS et alii (1981) investigaram a habilidade dos extratores Olsen e Bray-1, além de outros, em predizer os níveis de fósforo extraível, nos solos que receberam fosfatos naturais. Experimentos em casa-de-vegetação, utilizando o azevém-perene, como planta-teste, foram conduzidos em três solos diferentes, aos quais foram adicionados, separadamente, os fosfatos naturais de Sechura (Peru) e Chatam-Rise, em doses variáveis. O extrator Olsen mostrou-se menos efetivo que o Bray-1 em predizer a absorção de fósforo pelas plantas, tendo-se obtido um coeficiente de correlação de $r = 0,677^{**}$ para o primeiro e $r = 0,865^{**}$ para o segundo, sugerindo que o extrator Bray-1 pode ser mais útil em solos adubados com fosfatos naturais.

AMER et alii (1955) foram os primeiros a utilizar a resina trocadora de íons para avaliar o fósforo trocável, de disponibilidade imediata às plantas. Estes pesquisadores demonstraram que, sob condições apropriadas, a velocidade com que a resina absorve o fósforo depende somente da velocidade de liberação do fósforo do solo e não das propriedades inerentes à resina. Utilizando uma resina de troca aniônica (Dowex-2), eles verificaram que, num grupo de 16 solos, a correlação entre o P absorvido pela resina em 2 horas e a disponibilidade de P às plantas, em casa-de-vegetação, medida pelo método de diluição isotópica de FRIED e DEAN (1952) foi de $r = 0,95$. A correlação entre este último método e o fósforo extraído pelo extrator Bray-1, foi de 0,91.

Em seguida ao trabalho pioneiro de AMER et alii (1955), diversos trabalhos têm sido conduzidos com a resina trocadora de íons, fundamentados nos princípios estabelecidos por estes autores. Diversas técnicas foram propostas, visando tornar o método original exequível para análises de rotina em laboratório, como assinala RAIJ (1978). A absorção de fósforo pela resina foi bem correlacionada com o fósforo absorvido por diversas culturas, como mostram os trabalhos de MOSER et alii (1959), COOKE e HISLOP (1963), PALMA e FASSBENDER (1970), WALMSLEY e CORNFORTH (1973).

LATWELL et alii (1958) verificaram, ao comparar os métodos de percolação e de equilíbrio, de uma resina trocadora de ânions, com outros extratores de P no solo, que o primeiro proporcionou as melhores correlações com dados de respostas de cinco culturas, cultivadas em 21 solos dos Estados Unidos. Dentre os parâmetros testados, o fósforo total absorvido pela planta foi o que propiciou as melhores correlações com o P extraído pelos métodos da resina, como também com outros métodos (exceto o do bicarbonato de sódio).

SIBBESEN (1978) comparou a extração de fósforo pela resina, utilizada nas formas de cloreto e bicarbonato ,

com outros métodos de avaliação da disponibilidade do fósforo no solo (Olsen, valor L, valor E, solução de lactato de cálcio, cloreto de cálcio 0,01 M, entre outros). A correlação entre os dados de fósforo extraído por estes métodos e a absorção de fósforo pelo azevém perene, mostrou uma superioridade para o método da resina (na forma de bicarbonato) sobre os demais. O autor recomendou a utilização da resina trocadora de ânions, na forma de bicarbonato, para análise de rotina, como também, para estudos mais avançados sobre a habilidade dos solos em fornecer fósforo para as plantas.

ENWEZOR (1977), trabalhando com sete extratores químicos utilizados para avaliar a disponibilidade do fósforo, em amostras de solo coletadas em 30 localidades do sudeste da Nigéria, verificou que a extração com a resina foi superior à dos ácidos diluídos, em predizer a percentagem de produção, com um coeficiente de correlação de $r = 0,72^{***}$, superior ao obtido para o ácido sulfúrico 0,002 N e apenas inferior ao determinado para o método Bray-2.

No Brasil, MAGALHÃES (1974b), utilizando uma fonte solúvel de fósforo, comparou três métodos de extração de P com a técnica da resina (resinas saturadas com Cl^- , OH^- e NH_3^-), com o método de Mehlich. Concluiu, afirmando que os coeficientes de correlação entre o fósforo total absorvido pelo sorgo e o P extraído de cinco solos do Rio Grande do Sul, pelos referidos métodos, indicaram que os mesmos foram equivalentes.

2.4.2. A utilização de métodos de extração do fósforo extraível, no Brasil, em solos adubados com diferentes fertilizantes fosfatados.

Como assinalado no item precedente, o extrator Mehlich, como outros extratores ácidos, sofrem restrições severas em solos adubados com fosfatos naturais (KÖRNDORFER, 1978; RAIJ, 1978 e SFREDO et alii, 1979). Em face disto, pes

quisas recentes têm sido conduzidas, com o objetivo de se adaptar um método de extração de fósforo mais adequado a diferentes condições de solo. Uma alternativa promissora é a extração com a resina trocadora de ânions, que vem sendo investigada em algumas regiões do Brasil, mostrando ser a mesma superior a outros métodos em uso atualmente, sendo os resultados pouco afetados por resíduos de fosfatos naturais existentes no solo, e mais estreitas as correlações entre teores obtidos nas análises e respostas de culturas à adubação fosfatada (RAIJ et alii, 1982).

No Brasil, BRAGA (1967) foi, provavelmente, um dos primeiros pesquisadores a avaliar o fósforo "disponível" no solo, proveniente de fontes de diferentes solubilidades de fósforo. Estudando o comportamento do fosfato natural de Araxá, em relação ao superfosfato simples, ele correlacionou a produção e o teor de fósforo na folha do milho (cultivado num solo Podzólico Vermelho Amarelo, de Viçosa-MG), com o fósforo extraído pelos extratores ácido sulfúrico 0,05 N, Mehlich e Bray-2. Seus resultados mostraram boas correlações entre a produção e os teores de P no solo, para todos os extratores, no 1º ano de cultivo, não ocorrendo correlação no 2º cultivo. Os valores da análise foliar correlacionaram-se com os dados das análises do solo nos dois anos de cultivo.

Resultados obtidos por GOEPFERT et alii (1976) mostraram, via de regra, teores elevados de P no solo extraído pelo extrator Mehlich, de parcelas adubadas com fosfatos naturais, o que pode contribuir, em sua opinião, para uma subestimativa na recomendação do adubo fosfatado. KÖRNDORFER (1978) constatou a ausência de correlação entre o P extraído dos solos pelo extrator Mehlich e a absorção do nutriente pelo último cultivo de trigo. Já o extrator Olsen proporcionou correlações altamente significativas, para este parâmetro da planta, nos solos estudados. Ele sugeriu que a falta de significância dos coeficientes de correlação com o Mehlich, deve estar relacionada, em grande parte, com sua capacidade de dissolução de

apatitas, que até o final do experimento ainda não haviam reagido com o solo e que, portanto, não liberaram fósforo para a absorção pelas plantas.

Em Latossolo Roxo Distrófico do Paraná, nas parcelas que receberam cinco doses de fósforo, sob a forma de superfosfato triplo, fosfato de Gafsa e fosfato Patos de Minas, adicionadas à cultura da soja, SFREDO et alii (1979) constataram que, em relação à fonte solúvel, todos os extratores foram eficientes em recuperar o fósforo, havendo um correspondente acréscimo na produção, com o aumento dos teores de P, na amostragem efetuada aos 163 dias após a incorporação dos fosfatos. Com o fosfato de Gafsa, os extratores Bray-2, Mehlich e Bray-Kurtz extraíram fósforo em excesso, pois o acréscimo nos teores extraídos não correspondeu a um aumento na produção. Em relação ao fosfato Patos de Minas, houve também um excesso de P extraído pelo Bray-2 e Mehlich. Entretanto, com estes extratores verificou-se um aumento na produção, com o incremento dos teores de fósforo extraído, indicando que ambos podem correlacionar-se muito bem com as produções, apesar de extraírem quantidades maiores de P. Esta observação contraria resultados supra-relatados (KÖRNDORFER, 1978), em relação ao extrator Mehlich, embora concorde com os obtidos por BRAGA (1967), anteriormente citados. SFREDO et alii (1979) concluíram que, dentre todas as fontes de fósforo estudadas, as soluções extratoras de Olsen e Bray-1 foram as mais estáveis na recuperação do fósforo no solo, em função do tempo de incorporação.

Correlações entre fósforo absorvido pela parte aérea de plantas de trigo (cv. IRN-526/63) e o fósforo extraído pelo extrator H_2SO_4 0,05 N + NH_4F 0,03 N, foram determinadas por FEITOSA (1978), em experimentos em casa-de-vegetação. Estudou-se a disponibilidade de P do solo e dos fertilizantes termofosfato, hiperfosfato e apatita de Araxá, para o trigo e milho (efeito residual), cultivados em dois solos do Estado de São Paulo. Nos três períodos de incubação estu-

dados, o extrator em pauta mostrou-se superior aos de Olsen e H_2SO_4 0,05 N, quer para dados de peso de matéria seca da parte aérea, como para fósforo absorvido pelas duas culturas.

TANAKA et alii (1981) estudaram o efeito de doses de fosfato Patos de Minas na produção de matéria seca e fósforo absorvido por plantas de milho, cultivado num Latossolo Roxo Distrófico de Lavras - MG. A correlação entre estes parâmetros da planta e o fósforo extraído do solo foi significativa, apenas, para o extrator Bray-2 modificado, não sendo significativa para os extratores Olsen, IAC e Bray-2. Os resultados obtidos por PALHANO (1980) mostram, uma vez mais, a divergência existente nos trabalhos de pesquisa, com relação a extratores de fósforo, quando se variam as condições experimentais, o que acentua a dificuldade da seleção de um único extrator, válido para todas as situações. Este autor verificou que o extrator Olsen foi o que proporcionou melhores correlações com a produção de matéria seca da soja (cultivares Bragg, Paraná e Santa Rosa), cultivada num solo Podzólico Vermelho Amarelo Variação Piracicaba, ao qual se adicionou o fosfato de Alvorada e o fosfato monocálcico, como fontes de P. Os extratores Mehlich e Bray-2 mostraram maior capacidade de extração de fósforo que o Olsen, porém suas correlações com o parâmetro vegetal indicado foram inexpressivas. O melhor desempenho do Olsen contrasta com o citado por TANAKA et alii (1981), embora, em ambos os trabalhos, o extrator Bray-2 tenha sido inferior na avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas.

Os fosfatos naturais de Patos de Minas, Alvorada, fosfato de alumínio calcinado do Maranhão e hiperfosfato foram comparados ao superfosfato triplo, como fontes de fósforo para a soja, cultivada num oxissolo brasileiro, num ensaio conduzido em casa-de-vegetação por RAIJ e DIEST (1980). Eles verificaram que as melhores correlações entre

o fósforo absorvido pela soja e o P extraído, foram, em ordem decrescente: CaCl_2 0,01 M, resina trocadora de ânions, Bray-1 e Mehlich, sendo que este último não mostrou correlação significativa. A resina, na opinião dos autores, mostrou-se inferior ao extrator CaCl_2 0,01 M, porque estima mais o fator quantidade, enquanto o último caracteriza melhor os baixos valores de fósforo absorvido, decorrentes do curto crescimento das plantas no ensaio.

A superioridade da resina de troca aniônica foi mostrada no trabalho de CABALA e WILD (1982), que compararam o fosfato Patos de Minas, de baixa solubilidade, com os fosfatos de Gafsa e Marrocos (utilizando-se o fosfato monocálcico como padrão), em três solos ácidos do sudeste da Bahia. As correlações lineares entre peso de matéria seca e conteúdo de fósforo da parte aérea do sorgo x P extraído por diferentes extratores, mostraram maiores valores para a resina, seguindo-se em ordem decrescente, o fósforo isotopicamente trocável e o fósforo solúvel em água.

Em trabalho recente, RAIJ et alii (1983) avaliaram as correlações entre o P extraído pelos extratores IAC, Bray-1, Olsen e resina e as produções relativas obtidas em 16 ensaios de milho e 16 ensaios de algodão, em diferentes solos do Estado de São Paulo. Concluíram que a resina apresentou a melhor correlação ($r = 0,802^{**}$), com a resposta das culturas ao fósforo aplicado.

Em áreas sob vegetação de cerrado, são ainda em pequeno número os trabalhos com extratores de fósforo, visando avaliar a disponibilidade deste nutriente em solos adubados com diferentes fontes de fósforo. GOEDERT e LOBATO (1980) determinaram os teores de P extraído pelos extratores Mehlich e Bray-1, em diferentes períodos, num Latossolo Vermelho Escuro argiloso (localizado na área experimental do CPAC), ao qual haviam sido adicionados diferentes fosfatos naturais e superfosfato triplo, num experimento de campo ini

ciado no ano agrícola 1975-76. Os resultados com o Mehlich confirmaram os já citados (KORNDÖRFER, 1978, SFREDO et alii, 1979). Em relação ao extrator Bray-1, os autores sugerem que ele reflete melhor a situação de disponibilidade de P. Ressaltaram, contudo, que o teor de P extraído por este extrator, não tem aumentado com o tempo, apesar do acréscimo na produção das culturas.

YOST et alii (1982) compararam os extratores Bray-1, Mehlich e Olsen (no mesmo tipo de solo e em área próxima à supracitada), na avaliação da disponibilidade do fósforo, aplicado sob a forma de diversos fosfatos, para a *Brachia*
ria decumbens. Foram estabelecidas curvas de resposta entre o fósforo extraído pelos referidos extratores e a produção relativa de matéria seca da forrageira, considerando-se como 100% a produção máxima obtida com superfosfato simples. Nenhum dos extratores satisfaz o critério de um extrator "ideal", definido pelos aludidos pesquisadores como aquele que fornece uma curva única, relacionando produção relativa com valores de P extraído, para todas as fontes do nutriente. Em geral, o extrator Mehlich extraiu maior quantidade de fósforo que o Bray-1 e este mais que o Olsen. Estes dois últimos produziram curvas, com o fosfato de Araxá, mais semelhantes àquela relativa ao superfosfato simples. Constatou-se, também, que, após 13 meses de plantio, as curvas estabelecidas para os vários fosfatos foram menos divergentes entre si.

Num Latossolo Vermelho Amarelo, adubado com superfosfato simples e fosfato Patos de Minas, SMYTH e SANCHEZ (1982b) encontraram resultados que conflitam com os anteriormente citados, pois estes autores, ao correlacionarem produção relativa de grãos de soja com teores de P extraído pelos extratores Olsen, Bray-1 e resina trocadora de íons, não verificaram diferenças específicas nos padrões de correlação, para as duas fontes de fósforo. Segundo eles, este fato sugere que as interpretações de análises de solo, baseadas nos extra

tores em questão, não exige conhecimento prévio da forma de P adicionado ao solo. Os níveis críticos encontrados para o Bray-1, Olsen e resina foram de, respectivamente: 11 a 15, 5 a 8 e 8 a 12 ppm de P.

Em trabalho recente (EMBRAPA, 1982), conduzido no CPAC, cultivou-se *Brachiaria humidicola* em Latossolo Vermelho Amarelo, sendo o fósforo extraído do solo pelos extratores Mehlich e Bray-1. Com este último, obteve-se uma maior extração de fósforo e a pastagem respondeu até 3 ppm de P. Foi sugerido que, por serem baixas as aplicações de fósforo em pastagens, o extrator Bray-1 adapta-se melhor na predição da disponibilidade desse nutriente, além de não apresentar problemas com as fontes de fósforo pouco solúveis.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Solos utilizados.

Os solos utilizados nos ensaios foram classificados como Latossolo Vermelho Escuro Álico A, textura argilosa fase cerrado subcaducifólio (Typic Haplustox) e Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico A fase cerrado subcaducifólio (Typic Acrustox), de acordo com EMBRAPA (1978a). As amostras de solo foram coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade, em locais próximos aos perfis 01 (BRASIL, 1969) e DF₁ (EMBRAPA, 1978a) na área experimental do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), situado no Km 18 da rodovia BR-020 (Brasília-Fortaleza), nas cercanias da cidade-satélite de Planaltina-DF. Os referidos solos, de ora em diante, neste trabalho, serão designados, na ordem supra-indicada, por L.E. e L.V.

As análises químicas e físicas destes solos constam das Tabelas 2 e 3, respectivamente.

TABELA 2. Análises químicas iniciais dos solos LE e LV, efetuadas nos Laboratórios do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da E.S.A. "Luiz de Queiroz" (ESALQ). Os dados, quando não enziados pela letra a/, consti-
tuem a média de 4 repetições.

Solo	pH (H ₂ O) 1:1	$\frac{a}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$		K ⁺	Al ³⁺ + HO+Al ³⁺ + potencial CTC	$\frac{c}{P_M}$	$\frac{c}{P_B}$	$\frac{c}{P_R}$	V	Sat. Al ³⁺	C	$\frac{d}{Fe_2O_3}$		
		eng%											%	
LE	4,7	0,23	0,05	0,11	1,76	9,44	11,59	1,8	2,6	2,8	3	82	1,86	9,29
LV	4,8	0,15	0,06	0,10	0,50	7,23	8,04	0,4	0,4	1,4	4	62	1,89	3,50

a/ Valores médios de 06 repetições.

b/ Acidez potencial ou acidez titulável (acidez total), conforme KINJO, 1983.

c/ P_M = P extraído pelo extrator Mehlich.

c/ P_B = P extraído pelo extrator Bray-1.

c/ P_R = P extraído pela resina trocadora de íons (Laboratório de Fertilidade do Solo do IAC - Campinas)

d/ Análise efetuada no Laboratório de Química do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

A metodologia utilizada foi a descrita por MELLO et alii (1972), exceto para o fósforo extraível (descrita a seguir) e para o cálcio e magnésio trocáveis, em relação à sua determinação, efetuada por absorção atômica, como indicado adiante, neste trabalho.

Tabela 3 - Análises físicas dos solos L.E. e L.V. determinadas no Laboratório de Análises Físico-Hídricas do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados.

Solo	Análise Granulométrica ^{a/}				Densidade ^{b/}
	Argila	silte	areia fina	areia grossa	Aparente
			%		g/cm ³
L.E.	37	9	45	9	0,90
L.V.	65	13	18	4	0,78

^{a/} valores médios de 03 repetições.

^{b/} valor médio de determinações efetuadas às profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm.

Utilizou-se o método da pipeta (análise granulométrica) e o método do anel volumétrico (densidade aparente), conforme descrito em EMBRAPA (1979).

3.2. Ensaio em casa-de-vegetação.

Foram conduzidos dois ensaios em casa-de-vegetação pertencente ao Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ, um em cada solo (LE e LV), por dois períodos, utilizando-se o trigo (cv. IAC-5) como planta-teste. Os ensaios foram instalados nos anos de 1980 (1º cultivo) e 1981 (2º cultivo), sempre no período de julho a setembro. A cultivar IAC-5 foi escolhida devido à sua tolerância ao alumínio (MIRANDA e LOBATO, 1978; MAGALHÃES, 1979; MAGALHÃES et alii, 1980), condição necessária, particularmente nos tratamentos com a dose inferior de calagem.

3.2.1. Condução dos ensaios

Foram utilizados vasos plásticos, inicialmente em número de 144 (72 para cada solo), com capacidade para 5 kg de terra, de forma aproximadamente prismática, de base quadrada, medindo cerca de 19 cm de altura por 16 cm de largura. Eles foram enchidos com 4,8 kg de terra fina, seca ao ar, peneirada em peneira com malha de 2,5 cm de diâmetro. Foi adicionado calcário dolomítico (cujas características e quantidades empregadas são descritas a seguir). O corretivo foi bem misturado ao solo, fazendo-se rolar o conjunto solo + calcário sobre uma lâmina de plástico, até perfeita homogeneização da mistura. O período de incubação com o calcário foi de 35 dias, sendo os solos mantidos com um teor de umidade aproximadamente igual ao valor da "capacidade de campo", determinada conforme método prático descrito por MAGALHÃES (1974a). Durante a incubação, os vasos foram cobertos por uma lâmina de plástico preto, retirada por ocasião da reposição da água evaporada (duas vezes por semana).

Após este período, o solo foi novamente seco ao ar, após o que foram coletadas, aproximadamente, 100 g de terra de cada vaso, para análises de pH, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis. Em seguida, foram efetuadas as adubações básica e fosfatada (superfosfato triplo e fosfato Patos de Minas), em quantidades de acordo com os respectivos tratamentos. Procederam-se a estas operações de forma análoga à assinalada para o calcário. Os vasos correspondentes ao tratamento testemunha (sem fósforo), somente receberam a adubação básica.

A semeadura do trigo foi efetuada logo a seguir, colocando-se 22 sementes por vaso, a uma profundidade de, aproximadamente, 2,5 cm. Esta operação foi realizada a 24 de julho de 1980, completando-se a germinação no dia 31 do mesmo mês. Procedeu-se ao desbaste aos 8 dias após a emergência, reduzindo-se para 10 o número de plantas por vaso. Foi adicio

nado nitrogênio em cobertura (dose equivalente a 20 kg de N/ha), aos 30 dias após a semeadura, em solução nutritiva, como efetuado no 2º cultivo, conforme adiante descrito. Durante o desenvolvimento inicial das plantas, a umidade foi mantida em torno de 80% da capacidade de campo, controlando-se diariamente a água a ser repostada, pesando-se o conjunto vasos + terra úmida (descontando-se o peso das estacas de madeira, colocadas em alguns vasos, para evitar o tombamento das plantas). Esta operação foi sempre feita vaso por vaso, com os mesmos colocados sobre a balança, repondo-se a água até o teor inicial de umidade.

As plantas foram colhidas 60 dias após a semeadura, cortando-se sua parte aérea rente ao solo, com auxílio de uma tesoura. Na época da colheita, observou-se que as mesmas apresentavam-se espigadas, nos tratamentos com doses mais elevadas de fósforo, principalmente na forma de superfosfato triplo. Notou-se, num mesmo vaso, plantas no estágio de emborrachamento, outras recém-espigadas, algumas em floração e, mesmo, umas poucas, no estágio inicial de formação do grão. Face a esta desuniformidade nos estádios da cultura, decidiu-se pela colheita após 60 dias a contar da semeadura, considerando-se a planta inteira para determinação de nutrientes (P, Ca, Mg e K) no tecido.

Após a colheita, o solo foi seco ao ar e novamente peneirado, ocasião em que foram retiradas as raízes e coletadas amostras de terra (aproximadamente 400 g) para a análise química de rotina (pH, cálcio, magnésio, potássio e alumínio trocáveis) e para o fósforo, determinado por três extratores, como descrito posteriormente. No intervalo entre os cultivos, o solo foi novamente umedecido até o valor da "capacidade de campo", por um período de, aproximadamente, 50 dias (20/01 a 10/03/81), durante os quais a água foi repostada, como já indicado. Seguiram-se as operações de secagem e peneiramento, descritas anteriormente. Previamente à semeadura do

2º cultivo, foi adicionado superfosfato triplo, em tratamentos adicionais (que receberam a dose máxima desse nutriente no 1º cultivo, em vasos extra-experimentos), como dose de manutenção, equivalente a 80 kg de P_2O_5 /ha.

A segunda sementeira do trigo ocorreu a 6 de julho de 1981, procedendo-se a seguir a operações de cultivo, i dênticas às já relatadas para o 1º cultivo. As quantidades de terra no 2º cultivo foram de 4,0 kg e 3,8 kg, respectivamente, para os solos L.E. e L.V. (a diferença entre estas quantidades, em relação à inicial, foi devido à perda desigual de material nas operações precedentes, além da retirada de terra para as análises químicas). Após 11 dias da sementeira, efetuou-se uma re-adubação, com os nutrientes N (sulfato de amônio) e K (cloreto de potássio), em doses equivalentes, respectivamente, a 80 Kg N/ha e 100 kg K_2O /ha, que foram aplicados em solução. Procedeu-se posteriormente a uma aplicação de N em cobertura, de maneira análoga à supra-indicada, aos 30 dias após a sementeira (dose idêntica à aplicada no 1º cultivo).

Nos dois cultivos, efetuou-se o combate a lagartas, com o inseticida Carvin 85-M, na concentração de 0,075%. No primeiro cultivo, utilizou-se Thiodan na concentração de 0,2%, contra o pulgão verde, além do fungicida Derasol 60 M a 0,075%, empregado no combate ao oídio. Estes defensivos foram aplicados em pulverizações foliares.

Após a colheita, coletaram-se amostras de solo (aproximadamente 400 g) para as análises químicas já mencionadas. A parte aérea das plantas, em cada cultivo, foi seca em estufa a 65-70°C, até peso constante, moendo-se a seguir o material em moinho Wiley de malha nº 20 (as plantas menores foram moídas em micromoinho de mesma marca e abertura de malha). Em seguida, o material moído foi acondicionado em saquinhos plásticos, devidamente identificados, e encaminhado para o laboratório, onde foram determinados os nutrientes P, Ca, Mg e K no tecido vegetal.

3.2.2. Calagem

Os níveis de calagem foram estabelecidos, objetivando a obtenção de duas condições distintas de acidez nos solos, utilizando-se, para isto, os seguintes critérios:

- a) dose baixa de calcário, equivalente a 0,5 t/ha, visando apenas o suprimento de cálcio e magnésio para as plantas.
- b) dose alta de calcário, calculada em função do alumínio trocável, com vistas à redução da saturação de alumínio no solo a valores inferiores a 10%.

Os fatores de calagem empregados para os solos L.E. e L.V. foram iguais, respectivamente, a duas e três vezes o teor de Al^{3+} trocável no solo, conforme proposto por SOARES et alii (1975). As doses de calcário, em função dos critérios expostos, foram para o solo L.E. equivalentes a 0,5 t/ha (C_1) e 3,6 t/ha (C_2), considerando-se o valor do PRNT como 100%, correspondendo, respectivamente, a 1,9 g e 13,2 g de calcário/vaso. (Após correção para 100%, do PRNT do calcário utilizado). Para o solo L.V., a dose baixa de calcário foi idêntica à incorporada ao solo L.E. e a maior foi de 1,5 t de calcário/ha (PRNT = 100%) equivalente a uma quantidade de 5,5 g de calcário/vaso, corrigido como indicado para o solo L.E. Utilizou-se um calcário dolomítico, cujas características constam da Tabela 4.

Tabela 4 - Análises químicas e granulométricas do calcário dolomítico empregado nos ensaios.

Análise Química		Tamanho de Partículas (m/p)		
CaO	MgO	< 50 ^{a/}	> 50 ^{b/} < 10 ^{b/}	PRNT
28,92	16,88	50,75	48,98	65,86

^{a/}< 50 = partículas que passam pela peneira de 50 malhas/pol.

^{b/}> 50; < 10 = partículas retidas na peneira 50 e passando na peneira 10.

As análises químicas de CaO e MgO foram feitas em Laboratório do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ, em Piracicaba, conforme metodologia descrita em Brasil (1975). O poder relativo de neutralização total (PRNT), foi calculado pela fórmula seguinte, conforme RAIJ (1977).

$$\text{PRNT} = \text{equiv. CaCO}_3 \cdot [(50 \text{ m/p}\%,1,0) + (10-50 \text{ m/p}\%,0,4)] / 100$$

3.2.3. Adubação básica

A adubação básica empregada no 1º cultivo foi baseada no trabalho de MAGALHÃES (1979), excluindo-se a adição do FTE-BR 12, sendo os micronutrientes zinco e boro adicionados como reagentes p.a. Os fertilizantes nitrogênio e potássio foram adicionados ao solo, em doses equivalentes a 80 kg de N e 100 kg de K₂O/ha, na forma, respectivamente, de sulfato de amônio (20,5% N) e cloreto de potássio (60% K₂O), utilizando-se adubos comerciais. A exclusão de molibdênio e outros micronutrientes (Cu, Fe e Mn) deveu-se ao fato da inexistência de respostas significativas aos mesmos, em solos sob cerrado, como mostra trabalho conduzido no CPAC, por quatro anos consecutivos (EMBRAPA, 1982). GALRÃO e LOPES (1979), relataram serem raras as respostas a micronutrientes nesses solos, exceto o zinco. Esses autores afirmaram que, em alguns casos, foram observados efeitos positivos, devido à aplicação de boro e molibdênio, principalmente para leguminosas. O boro foi incluído na adubação básica por sua importância na redução dos efeitos do denominado "chochamento" ou esterilidade masculina do trigo, como recentemente comprovado. (SILVA e ANDRADE, 1983). O enxofre foi fornecido pelo sulfato de amônio e sulfato de zinco, nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas, acrescido do adicionado como superfosfato triplo, nos tratamentos com este último fertilizante.

Para o cálculo das adubações básicas (1º e 2º

cultivo), adubação fosfatada e adubações em cobertura, levou-se em consideração o volume ocupado pela terra nos vasos, em cada cultivo, o qual variou entre solos, visto serem diferentes suas densidades aparentes, como mostra a Tabela 3. O volume médio aproximado foi calculado medindo-se a altura do vaso, (de sua base até a superfície nivelada, de cada solo) e a largura (ambos em cm). Procederam-se a dez determinações para cada solo, com os vasos preenchidos com terra fina seca ao ar, nas quantidades citadas em 3.2.1. Calculou-se o volume pela fórmula:

$$V = S_{base} \times h$$

Em que S_{base} corresponde à área de um quadrado (em cm^2) de aproximadamente 16 cm de lado e h à sua altura (em cm). O volume, calculado em cm^3 , foi transformado para m^3 . Para o cálculo da quantidade de fertilizantes a adicionar por vaso, considerou-se o volume de 2.000 m^3 , para 1 ha de terra, à profundidade de 20 cm.

A aplicação dos fertilizantes, quer na re-adubação, como na adubação nitrogenada em cobertura, foi efetuada como descrito anteriormente (3.2.1). A Tabela 5 mostra as quantidades de fertilizantes adicionados como adubação básica (1º cultivo), re-adubação (2º cultivo) e adubações em cobertura (soma dos dois cultivos).

3.2.4. Adubação fosfatada

Foram empregadas como fontes de fósforo, o superfosfato triplo (fonte padrão) e o fosfato Patos de Minas, cujas análises (efetuadas conforme metodologia descrita em BRASIL, 1975), constam da Tabela 6.

TABELA 5. Quantidades de nutrientes adicionados como adubação básica, re-adubação e adubação nitrogenada, nos dois cultivos com trigo.

Fertilizante	Solo L.E.			Solo L.V.		
	Nutriente		Fertili- zante	Nutriente		Fertili- zante
	kg/ha	mg/vaso		kg/ha	mg/vaso	
Adubação básica (1º Cultivo)						
N-(NH ₄) ₂ SO ₄	80	178	870	80	195	950
K ₂ O-KCl	100	223	370	100	244	410
Z _n -Z _n SO ₄ ·7H ₂ O	10	22	98	10	24	108
B-Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	1	2,2	20	1	2,4	22
S _a - (NH ₄) ₂ SO ₄ + Z _n SO ₄ ·7H ₂ O	99	221	968	99	242	1.058
Re-adubação (2º cultivo)						
N-(NH ₄) ₂ SO ₄	80	164	800	80	181	883
K ₂ O-KCl	100	205	342	80	227	378
S-(NH ₄) ₂ SO ₄	95	194	800	95	214	883
Adubação nitroge- nada em cobertura (Soma dos culti- vos).						
N-(NH ₄) ₂ SO ₄	40	86	420	40	94	459
S-(NH ₄) ₂ SO ₄	48	102	420	48	111	459

^{a/} Nos tratamentos com superfosfato triplo, foi adicionada uma pequena quantidade de enxofre fornecida por este fertilizante.

TABELA 6. Análise química ^{a/} do superfosfato triplo e do fosfato Patos de Minas, utilizados nos ensaios em casa-de-vegetação.

Determinações	Fonte de Fósforo	
	Superfosfato Triplo	Fosfato Patos de Minas
	%	
P ₂ O ₅ total	45,65	24,68
P ₂ O ₅ solúvel em água	34,40	-
P ₂ O ₅ solúvel em solução de ácido cítrico 2%, relação 1:100	41,61	5,41
P ₂ O ₅ ^{b/} solúvel em água + solução neutra de citrato de amônio.	41,31	1,39

^{a/} Análises realizadas em Laboratório do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ.

^{b/} Análise realizada no Laboratório de Química Analítica da ESALQ.

As características granulométricas do fosfato Patos de Minas utilizado, uma amostra de "concentrado fosfático", fornecida pela Fosfêrtil (Fertilizantes Fosfatados S.A.), foram determinadas em Laboratório do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ, adotando-se o processo descrito em BRASIL (1975), partindo-se de uma amostra de 100 g, seca em estufa a 105°C, e pesando-se o material que passou pela peneira de 200 (0,075 mm). O valor encontrado (média de 2 determinações) foi de 79,24 g ou 79,24% de partículas de fosfato passando pela peneira 200, valor este um pouco inferior ao limite mínimo estabelecido pela legislação brasileira (BRASIL, 1975).

As doses adicionadas do superfosfato triplo e do fosfato Patos de Minas foram equivalentes, respectivamente, a 0, 100, 200, 400, 800 e 1600 kg de P_2O_5 /ha e 0, 200, 400, 800 e 1600 kg de P_2O_5 /ha. Para o cálculo das quantidades de fertilizantes adicionados aos solos, levou-se em conta o teor total de P_2O_5 (%), cujos valores (para ambas as fontes) constam da Tabela 6. A Tabela 7 mostra quantidades dos referidos fertilizantes: equivalentes a kg/ha, em mg de P/vaso e em g de fertilizante/vaso.

3.2.5. Tratamentos e Delineamento Experimental.

Os tratamentos consistiram na combinação de cinco doses de superfosfato triplo e quatro doses de fosfato Patos de Minas, além de um tratamento testemunha, comum a ambas as fontes de P. Estas doses de fósforo (Tabela 7), foram associadas a duas doses de calcário (descritas em 3.2.2), totalizando 20 tratamentos no 1º cultivo e 22 no segundo cultivo, com a inclusão de dois tratamentos adicionais de P (dose de manutenção), como superfosfato triplo, nos dois níveis de calagem (Tabela 7). Adotou-se um delineamento em Blocos Casualizados, com três repetições, sorteando-se os tratamentos por

TABELA 7. Quantidades de fósforo e dos fertilizantes fosfatos adicionados aos solos LE e LV, em diferentes níveis, no 1º cultivo (adubação básica) e no 2º cultivo (adubação de manutenção)^{a/}, na forma de superfosfato triplo e fosfato Patos de Minas.

Fertilizante	Nível de P_2O_5	Solo LE		Solo LV	
		P/vaso	Fertilizante/vaso	P/vaso	Fertilizante/vaso
	kg/ha	mg	g	mg	g
Superfosfato Triplo (ST)					
ST	100 (P_1)	97	0,49	107	0,54
ST	200 (P_2)	194	0,98	214	1,07
ST	400 (P_3)	388	1,96	428	2,14
ST	800 (P_4)	776	3,92	856	4,28
ST	1.600 (P_5)	1.552	7,84	1.712	8,56
ST+M ^{a/}	80 (P_5+M)	72	0,36	79	0,43
TESTEMUNHA	0 (P_0)	0	0	0	0
Fosfato Patos de Minas (PA-M)					
PA-M	200 (P_2)	194	1,80	214	1,98
PA-M	400 (P_3)	388	3,60	428	3,96
PA-M	800 (P_4)	776	7,20	856	7,92
PA-M	1.600 (P_5)	1.552	14,40	1.712	15,84
TESTEMUNHA	0 (P_0)	0	0	0	0

^{a/} A adubação de manutenção (M), com 80 kg de P_2O_5 /ha, foi efetuada no 2º cultivo, em vasos considerados extras no 1º cultivo, quando receberam 1.600 kg de P_2O_5 /ha, na forma de superfosfato triplo.

solo e por cultivo. Na casa-de-vegetação, os vasos 3.3.
Métodos de análise química das terras

3.3.1. Determinação de pH, cálcio, magnésio, potássio e alumínio trocáveis, acidez potencial, C orgânico e ferro livre.

A metodologia utilizada foi a descrita por MELLO et alii (1972), já citada. O cálcio e o magnésio trocáveis, após extração com KCl, foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, utilizando-se um espectrofotômetro marca PERKIN-ELMER, modelo 560, cujos comprimentos de onda para o cálcio (chama vermelha) e o magnésio (chama azulada) foram, respectivamente, de 422,7 nm e 285,2 nm. O ferro livre foi determinado de acordo com a metodologia descrita em JACKSON (1970).

3.3.2. Determinação do fósforo extraível pelos Métodos de Mehlich, de Bray-1 e resina trocadora de íons.

3.3.2.1. Método de Mehlich (Carolina do Norte): Solução 0,025 N de H_2SO_4 + 0,05 N de HCl.

Foi utilizada a metodologia descrita por EMBRAPA (1979), para "fósforo assimilável", modificando-se, apenas, a quantidade de terra (5 g) e o volume da solução extratora (50 ml), mantendo-se a mesma relação solo-solução (1:10). Uma pequena alteração foi efetuada no preparo da solução de ácido ascórbico, que foi adicionado em gotas, após serem dissolvidas 2 g deste reagente (p.a.) em 10 ml de água, adicionando-se 3 gotas em cada tubo de ensaio (procedimento utilizado no Laboratório do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ). Esta quantidade equivale a, aproximadamente, 30 mg

TABELA 8. Combinações de Tratamentos Estudados nos Ensaios em Casa-de-Vegetação

Tratamento nº	Combinação ^{a/} fonte P x dose P x dose calcário	Tratamento nº	Combinação ^{a/} fonte P x dose P x dose calcário
1	STP ₁ C ₁	12	STP ₁ C ₂
2	STP ₂ C ₁	13	STP ₂ C ₂
3	STP ₃ C ₁	14	STP ₃ C ₂
4	STP ₄ C ₁	15	STP ₄ C ₂
5	STP ₅ C ₁	16	STP ₅ C ₂
6	TEST. (Po)C ₁	17	TEST. (Po)C ₂
7	PA-M P ₂ C ₁	18	PA-M P ₂ C ₂
8	PA-M P ₃ C ₁	19	PA-M P ₃ C ₂
9	PA-M P ₄ C ₁	20	PA-M P ₄ C ₂
10	PA-M P ₅ C ₁	21	PA-M P ₅ C ₂
11 ^{b/}	STP ₅ C ₁ +M	22 ^{b/}	STP ₅ C ₂ +M

^{a/}ST = Superfosfato triplo; PA-M = fosfato patos de Minas; TEST (Po) = Testemunha (sem fósforo), porém com os demais nutrientes; P₁, P₂, P₃, P₄, P₅ = doses de P, conforme Tabela 7; C₁ e C₂, respectivamente, doses baixa e alta de calcário (item 3.2.2).

^{b/}Tratamentos adicionais, incluídos no 2º cultivo; M = dose de manutenção (Tabela 7).

de ácido ascórbico, ou uma "pitada", conforme VETTORI (1969). Procedeu-se à leitura em fotocolorímetro KLETT-SUMMERSON, filtro vermelho, com comprimento de onda de 680 nm. Para o cálculo do teor de fósforo, foi estabelecida uma equação de regressão entre as médias dos valores de absorbância determinados de cinco repetições e os valores de P (ug), nas diferentes soluções padrões. Partiu-se de uma solução estoque de 50 ppm de P, obtendo-se soluções padrões com 0, 1, 2, 3, 4 e 5 ppm de P. As alíquotas da solução estoque foram adicionadas a balões volumétricos de 50 ml, por meio de microbureta. Após completado o volume, pipetaram-se 5 ml de cada uma delas, adicionando-se os reagentes, conforme EMBRAPA (1979), exceto em relação ao ácido ascórbico, utilizado como já assinalado.

Para o cálculo do teor de fósforo utilizou-se a seguinte expressão, obtida a partir da equação de regressão relativa às curvas padrões:

$$x = 0,118322 (L + 0,6180)$$

em que:

x = ppm P na amostra de solo

L = Leitura (absorbância) da amostra.

3.3.2.2. Método de Bray-1: solução 0,03 N NH_4F + 0,025 N HCl.

Adotou-se a metodologia original de BRAY e KURTZ (1945), empregando-se ácido ascórbico como redutor e o subcarbonato de bismuto como catalisador (adicionado à solução sulfomolíbica). Estas modificações foram introduzidas por HYDE (1970) e adotadas anteriormente no Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ, para determinação do fósforo solúvel. Uma pequena alteração, em relação ao método original, foi quanto à quantidade de terra pesada e ao volume da solução extratora, que foram, respectivamente, de 5 g e 35 ml, mantendo-se portanto a relação 1:7 (BRAY e KURTZ, 1945). O tempo de agitação foi de 1 minuto, seguindo-se a filtragem, usando-se papel de filtro S & S faixa branca, praticamente isento de P.

Utilizou-se, também, a solução de ácido bórico

conforme o método anteriormente citado (HYDE, 1970), com a finalidade de evitar interferência do flúor no desenvolvimento da cor. Segundo KURTZ (1942), citado por OLSEN e DEAN (1965), a necessidade do ácido bórico não foi estabelecida para a maioria dos solos. Para este autor, solos arenosos e ácidos podem apresentar alguma interferência de fluoretos. ALMEIDA NETO (1979) recomendou o emprego do ácido bórico na concentração de 0,8 M, utilizando, em seu trabalho, 4 ml desta solução nos métodos que continham fluoreto. BIASI (1978), verificou, em dois solos de Santa Catarina, que a adição de ácido bórico aumentou o teor de fósforo, de 2 a 4%. Efetuaram-se, entretanto, no presente trabalho, testes com os solos LE e LV em amostras com e sem ácido bórico, não se constatando, praticamente, diferenças nos teores de P extraído.

Para o cálculo da Curva Padrão de fósforo, adotou-se a metodologia em uso no Laboratório de Análises Químicas de Solo, do CPAC, exceto nos seguintes pontos:

- a) na solução de molibdato de amônio, utilizou-se como catalisador o subcarbonato de bismuto, como descrito por EMBRAPA (1979), para o Método de Mehlich.
- b) incluiu-se 5 ml de solução diluída de ácido bórico, reduzindo-se, portanto, a quantidade de água destilada em cada balão volumétrico de 25 ml, em que foram colocadas as diversas alíquotas da solução estoque de P, excluindo-se aquela de maior concentração (12 ml) utilizada no CPAC.

A Tabela 9 mostra as diferentes alíquotas, tomadas (por meio de microbureta) da solução estoque de P (2,5 ppm), os volumes de reagentes e solução extratora adicionados e a concentração de P de cada solução padrão, no volume final de 25 ml. Após completo o volume dos balões, contendo as diferentes soluções padrões, procedeu-se à perfeita homogeneização das mesmas, passando-as, em seguida, para tubos de ensaio, aos quais foram adicionadas 3 gotas de ácido ascórbico, procedendo-se à leitura no mesmo apare

Tabela 9. Alíquotas da solução estoque de P (2,5 ppm), volumes dos reagentes e concentração final de P nas soluções padrões (Método de Bray-1).

Alíquotas da sol. estoque	sol. diluída H_2BO_3	sol. sulfo mclíbdica	sol. extratora Bray - 1	H_2O destilada de P na sol.	Concentração de P na sol.	Volume final
ml	ml	ml	ml	ml	ppm	µg
						ml
0	5	5	5	10	0	0
1	5	5	5	9	0,1	2,5
3	5	5	5	7	0,3	7,5
5	5	5	5	5	0,5	12,5
8	5	5	5	2	0,8	20,0
10	5	5	5	0	1,0	25,0
						25

lho mencionado em 3.3.2.1, após 30 minutos da adição do redutor. Calculou-se, igualmente, uma equação de regressão entre os valores médios de absorbância de cinco repetições e teores de P em μg de P/25 ml de solução.

Para a determinação de P dos extratos de solo, pipetaram-se 5 ml do filtrado, colocando-se em tubos de ensaio, aos quais foram adicionados, em sequência: 5 ml de solução de ácido bórico diluído, 5 ml da solução sulfomolibdica, 10 ml de água destilada e 3 gotas de solução de ácido ascórbico, agitando-se os tubos de ensaio, após a adição de cada reagente. Procedeu-se à leitura após 30 minutos da adição do último reagente e até 2 horas após. O aparelho foi "zerado" com a prova em branco (solução contendo os reagentes, sem ter estado em contato com o solo, contendo 5 ml de H_2O destilada, em substituição aos 5 ml do extrato). Teve-se o cuidado de fazer passar a solução extratora pelo papel de filtro utilizado, efetuando-se a comparação da leitura do extrato obtido, com aquela da prova em branco.

Nas amostras com doses altas de fósforo foi necessário efetuar a diluição das mesmas, de modo a obter-se leitura na escala do colorímetro. Para isto, pipetaram-se 5 ml do extrato, que foram colocados em balão volumétrico de 50 ml, completando-se o volume com água destilada. Após agitar-se, para homogeneização da solução, foram pipetados 5 ml para o tubo de ensaio, adicionando-se, a seguir, os reagentes na forma supra-indicada. Deste modo, as amostras sofreram uma diluição de 1:10. O valor da absorbância encontrado foi, portanto, multiplicado por 10. Procedeu-se de maneira análoga para o método de Mehlich.

O fósforo foi calculado de acordo com a expressão

$$x = 0,132783 (L + 0,5075)$$

em que: x = ppm P nas amostras de solo

L = Leitura (absorbância)

3.3.2.3. Método da Resina Trocadora de Íons

As análises de fósforo, pelo método da resina trocadora de íons, foram conduzidas no Laboratório da Seção de Fertilidade do Solo do Instituto Agrônomo de Campinas (I.A.C.), empregando-se a metodologia desenvolvida nessa Instituição de pesquisa, descrita por RAIJ e QUAGGIO (1983). Foi utilizada uma resina dupla (catiônica e aniônica), composta de duas partes de cátions, para uma de ânions. A resina trocadora de cátions foi a Amberlita IR-120 (ácido forte) e a trocadora de ânions foi a Amberlita IRA-400 (base forte). As operações de pré-condicionamento, lavagem, recuperação e tratamento da resina com NaCl, encontram-se descritas no trabalho supracitado. Resumidamente, descrever-se-ão as operações de extração e determinação de fósforo.

a) Extração de fósforo.

a₁) mediram-se volumes de 2,5 cm³ de terra fina seca ao ar, que foram transferidos para copos plásticos de 100 ml, com auxílio de um cachimbo. Adicionou-se, a proximadamente, 25 ml de água destilada, junto com uma bolinha de vidro, agitando-se durante 15 minutos em 220 r.p.m. (a bolinha de vidro é colocada para desagregação do solo). Após a agitação, foi retirada a bolinha de vidro, com auxílio de uma colherinha e colocados 5,0 cm³^{a/} de resina previamente preparada, utilizando-se o cachimbo na operação. A seguir, os copinhos foram tampados e agitados em agitador horizontal, durante 16 horas (período noturno) em 220 r.p.m.

a/ atualmente, o volume adicionado de resina, na metodologia do I.A.C. é de 2,5 cm³. (RAIJ e QUAGGIO, 1983).

- a₂) Após o período de agitação, a resina foi separada do solo com auxílio de um jato de água, sendo esta operação processada no "separador de resina" (conjunto de copinhos plásticos providos de telinha de nylon, aparelhagem idealizada no IAC, que torna bem prática a separação solo-resina). A resina, a seguir, foi separada da tela do separador, adicionando-se sobre a mesma um volume exato de 50 ml de NaCl 1 N (em HCl 0,1N), que foi recebido em frascos plásticos colocados embaixo daqueles do "separador de resina".
- a₃) O extrato de NaCl + resina obtido, foi posteriormente agitado durante 1 hora, em 220 r.p.m., para a extração dos nutrientes da resina. O fósforo foi determinado colorimetricamente, no extrato, após a agitação.

b) Determinação do fósforo.

- b₁) Para a determinação do fósforo, tomou-se 4 ml do extrato + 16 ml da solução extratora, preparada conforme RAIJ e QUAGGIO (1983). A operação foi efetuada por meio de um diluidor. Após 20 minutos, procedeu-se às leituras, em espectrofotômetro ótico modelo VARIAN, série 634, utilizando-se um comprimento de onda de 885 nm. O aparelho foi "zerado" com a solução padrão sem fósforo, contendo, porém, todos os demais reagentes.
- b₂) O fósforo foi calculado multiplicando-se a leitura (absorbância) por um fator obtido de uma curva padrão, construída a partir de soluções contendo quantidades, que equivaleram (no extrato de NaCl 1 N, 50 ml) a resultados finais no solo, de 0, 16, 32, 46, 64, 80, 112 e 160 µg P/cm³ de terra. Completou-se o volume (com água desionizada) de cada uma das soluções padrões, para 25 ml, passando-as, a seguir, para frascos

plásticos, do tipo usado para receber os extratos finais de resina. Acrescentou-se 5,0 cm³ de resina, deixou-se em contato por 30 minutos, agitando-se depois por 1 hora a 220 rpm, procedendo-se, a seguir, como indicado para solos.

O Fator F calculado foi de $f = 0,1455$.

3.4. Análises Químicas de Plantas (parte aérea)

3.4.1. Primeiro Cultivo.

As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral da ESALQ, conforme metodologia descrita por SARRUGE e HAAG (1974), em que se utilizou a digestão nitro-perclórica, determinando-se os nutrientes fósforo, cálcio, magnésio e potássio. O fósforo foi determinado pelo método do vanado-molibdato de amônio, procedendo-se à leitura em colorímetro KLETT-SUMMERSON (filtro roxo), com comprimento de onda de 620 nm. O cálcio e o magnésio foram determinados em espectrofotômetro marca PERKIN-ELMER, modelo 360. Estes elementos foram determinados, respectivamente, em comprimentos de onda de 422,7 nm e 285,2 nm, usando-se gás acetileno. O potássio foi determinado num fotômetro de chama marca CORNING-EEL, chama de cor amarelo-claro na base, e azul na parte superior.

3.4.2. Segundo Cultivo.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Nutrição Vegetal do CPAC, utilizando-se a digestão sulfúrica, conforme procedimento descrito por SOUZA (1980). O fósforo foi determinado no extrato, pelo método de MURPHY e RILEY (1962), procedendo-se à leitura em espectrofotômetro óptico, marca SHIMADZU - modelo UV-210A, em comprimento de onda de 880 nm. O cálcio e o magnésio foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, utilizando-se, respectivamente, lâmpadas de 8A e comprimento de onda de

422,7 nm, e 5A e 285,2 nm. Determinou-se o potássio em fotômetro de chama EKO, modelo FLD, sendo sua leitura efetuada na mesma solução usada para determinação do cálcio e magnésio (óxido de lantânio, 0,1%). A curva foi ajustada para um fator $f = 10$ ppm, sendo alaranjada a cor da chama para o potássio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentar-se-ão, a seguir, os dados obtidos da produção de matéria seca, fósforo, cálcio e magnésio absorvidos por plantas de trigo e comparações entre as eficiências relativas das fontes de fósforo nos dois cultivos, como também os teores de fósforo extraível pelos métodos de Mehlich, de Bray-1 e resina trocadora de íons, nos solos LE e LV, e equações de regressão entre estes valores e o fósforo absorvido por plantas de trigo nos dois cultivos.

4.1. Produção de matéria seca e quantidades de fósforo , cálcio e magnésio absorvidos por plantas de trigo.

4.1.1. Solo LE.

4.1.1.1. Primeiro cultivo.

Os dados de produção de matéria seca, fósforo, cálcio e magnésio absorvidos encontram-se, respectivamente , nas Tabelas 11, 12, 13 e 14, e as análises químicas dos solos LE e LV, em amostras coletadas após o período de incubação com calcário e antes da aplicação dos fertilizantes, na Tabela 10. Verifica-se que, de um modo geral, os tratamentos mostraram a mesma tendência, considerando-se os parâmetros avaliados, embora com pequenas diferenças, quanto à significância das médias, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Em relação à produção de matéria seca, os maiores valores foram obtidos com as doses maiores de fósforo e calcário nos tratamentos com superfosfato triplo (Tabela 11). Exceto em relação à dose maior de fósforo, as diferenças entre doses de calcário, num mesmo nível de fósforo, foram estatisticamente significativas. Estes resultados concordam, de um modo geral, com os obtidos por MAGALHÃES et alii (1980), trabalhando também com a cultivar de trigo IAC-5 e com a mesma fonte de fósforo, em experimento de campo conduzido no solo LE, quando se aumentou a dose de calcário de 0,5 para 2,75 t/ha. Verifica-se, portanto, que a IAC-5 responde à calagem, com doses relativamente baixas do corretivo, ainda que seja tolerante à toxidez de alumínio, como mostrado em diversos trabalhos (MUZILLI et alii, 1978; MIRANDA e LOBATO, 1978; MAGALHÃES, 1979). Pelas Tabelas 2 e 10, verifica-se, respectivamente, que o índice inicial de saturação de alumínio no solo foi reduzido à metade (82% para 41%) com a adição de 0,5 t de calcário/ha. O valor de 41% situa-se, ainda, na faixa de tolerância da cultivar IAC-5 aos efeitos tóxicos do alumínio trocável no solo (MUZILLI et alii, 1978). A observação da Tabela 10 mostra que foram obtidos valores inferiores a 10% para o índice de saturação de alumínio nos solos LE e LV, na dose maior de calcário, concordando, pois, com os resultados obtidos por SOARES et alii (1975).

O comportamento do fosfato Patos de Minas neste solo foi bem inferior ao da fonte solúvel, apresentando dados de produção de matéria seca muito baixos, em relação aos obtidos com o superfosfato triplo e não diferindo significativamente da testemunha. Portanto, o fosfato Patos de Minas foi ineficiente em fornecer fósforo para as plantas no solo LE, em condições de 1ª cultivo, fato que confirma resultados obtidos por diversos pesquisadores (FERREIRA e KAMINSKI, 1979; BRAGA et alii, 1980; GOEDERT e LOBATO, 1980). Por outro lado, observa-se ter sido pequeno o efeito da acidez na solubilidade deste fosfato, como mostram os dados da Tabela 11. Ocorre

ram diferenças favoráveis à dose menor de calcário somente nos níveis mais altos de fósforo, porém não foram significativas as diferenças entre níveis de calagem, em quaisquer das doses de fósforo adicionadas. O valor do pH, nas amostras com a dose menor do corretivo, foi de 4,2 (Tabela 10), havendo, portanto, condições de acidez bastante favoráveis à dissolução dos fosfatos. Estes dados não concordam com os obtidos por TANAKA (1978) com a cultura do milho e GOEDERT e LOBATO (1980) com a soja, que verificaram efeitos benéficos e marcantes da acidez, a curto prazo, sobre a solubilidade do fosfato Patos de Minas, tendo os últimos autores trabalhado também num solo LE sob cerrado, com características químicas e físicas análogas às do solo utilizado no presente trabalho.

É provável que, nas condições experimentais adotadas neste estudo, em casa-de-vegetação, o tempo de reação do fosfato Patos de Minas com o solo (aproximadamente 60 dias) tenha sido insuficiente para uma maior liberação do fósforo, impedindo um melhor aproveitamento do nutriente pela IAC-5, não obstante as condições químicas do solo fossem adequadas (Tabela 10), considerando-se sua tolerância à acidez.

TABELA 10. Análises químicas dos solos LE e LV, após o período de incubação com calcário. Os dados constituem a média de 36 repetições.

Solo	Calcário (PRNT= 100%)	Análises Químicas					
		pH (H ₂ O)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ ^{a/}	Al ³⁺	Sat. ^{b/} Al ³⁺
	t/ha	1:1	e.mg/100cm ³				%
LE	0,50	4,2	0,59	1,34 ^{c/}	0,11	1,43	41
LE	3,60	5,3	2,81	2,20	0,11	0,10	2
LV	0,50	4,3	0,46	0,87 ^{d/}	0,10	0,26	15
LV	1,50	4,8	1,39	1,41	0,10	0,16	5

^{a/} Valor do potássio nativo no solo (Tabela 2).

^{b/} Saturação de alumínio no solo dada pela fórmula:

$$\text{Sat. Al}^{3+} = \frac{\text{Al}^{3+}}{\text{Al}^{3+} + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+}} \times 100$$

^{c/} Média de 35 repetições.

^{d/} Média de 32 repetições.

TABELA 11. Produção de matéria seca^{a/} de trigo, obtida nos diferentes tratamentos, no 1º cultivo, em solo LE.

Tratamento ^{b/}	Matéria seca g/vaso	Tratamento ^{b/}	Matéria seca g/vaso
ST P ₅ C ₂	21,92 a	PA-M P ₄ C ₁	2,95 g
ST P ₄ C ₂	21,63 a	PA-M P ₅ C ₁	2,68 g
ST P ₅ C ₁	21,25 a	PA-M P ₅ C ₂	2,48 g
ST P ₃ C ₂	19,39 ab	PA-M P ₂ C ₂	2,43 g
ST P ₄ C ₁	17,61 b	TEST. (PO)C ₂	2,39 g
ST P ₂ C ₂	17,13 bc	PA-M P ₄ C ₂	2,23 g
ST P ₃ C ₁	14,09 cd	PA-M P ₃ C ₂	2,00 g
ST P ₁ C ₂	12,87 de	PA-M P ₂ C ₁	1,80 g
ST P ₂ C ₁	10,22 ef	PA-M P ₃ C ₁	1,77 g
ST P ₁ C ₁	7,87 f	TEST. (PO)C ₁	1,56 g
dms Tukey 5% = 3,21 c.v. = 11,08%			

a/ Os dados constituem médias de 3 repetições.

b/ Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2. As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

TABELA 12. Fósforo absorvido^{a/} por plantas de trigo nos diferentes tratamentos, no 1º cultivo, em solo L.E.

Tratamento ^{b/} Fósforo absorvido mg/vaso		Tratamento ^{b/} Fósforo absorvido mg/vaso	
ST P ₅ C ₂	66,86 a	PA-M P ₅ C ₁	5,26 h
ST P ₅ C ₁	54,53 b	PA-M P ₄ C ₁	3,88 h
ST P ₄ C ₂	46,69 c	PA-M P ₂ C ₂	2,43 h
ST P ₃ C ₂	34,14 d	PA-M P ₃ C ₁	2,15 h
ST P ₄ C ₁	33,59 d	PA-M P ₅ C ₂	2,02 h
ST P ₂ C ₂	27,37 e	PA-M P ₃ C ₂	2,00 h
ST P ₃ C ₁	24,71 ef	PA-M P ₃ C ₁	1,98 h
ST P ₁ C ₂	20,03 fg	PA-M P ₄ C ₂	1,78 h
ST P ₂ C ₁	18,73 g	TEST. (Po)C ₂	1,67 h
ST P ₁ C ₁	15,46 g	TEST. (Po)C ₁	1,47 h
d.m.s. Tukey = 5,66			
C.V. = 9,93%			

^{a/} Os dados constituem médias de 3 repetições.

^{b/} Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2. As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

TABELA 13. Cálcio absorvido^{a/} por plantas de trigo nos diferentes tratamentos, no 1º cultivo, em solo L.E.

Tratamento ^{b/}	Ca absorvido mg/vaso	Tratamento ^{b/}	Ca absorvido mg/vaso
ST P ₄ C ₂	80,80 a	PAM-P ₅ C ₂	7,86 fg
ST P ₅ C ₂	80,02 a	PAM-P ₃ C ₂	7,81 fg
ST P ₃ C ₂	80,02 a	PAM-P ₂ C ₂	7,76 fg
ST P ₅ C ₁	66,48 b	TEST. (Po)C ₂	7,56 fg
ST P ₂ C ₂	61,11 bc	PA-M P ₅ C ₁	6,99 fg
ST P ₄ C ₁	54,48 bcd	PA-M P ₄ C ₂	6,98 fg
ST P ₁ C ₂	52,59 cd	PA-M P ₄ C ₁	6,66 g
ST P ₃ C ₁	41,41 de	PA-M P ₂ C ₁	4,04 g
ST P ₂ C ₁	31,41 ef	PA-M P ₃ C ₁	3,78 g
ST P ₁ C ₁	20,25 f	TEST. (Po)C ₁	3,30 g

d.m.s. Tukey 5% = 13,53

C.V. = 13,79%

^{a/} Os dados constituem médias de 3 repetições.

^{b/} Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2. As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

TABELA 14. Magnésio absorvido^{a/} por plantas de trigo nos diferentes tratamentos, no 1º cultivo, em solo L.E.

Tratamento ^{b/}	Mg absorvido mg/vaso	Tratamento ^{b/}	Mg absorvido mg/vaso
ST P ₅ C ₂	93,85 a	PA-M P ₂ C ₂	8,56 gh
ST P ₃ C ₂	89,74 a	PA-M P ₅ C ₂	7,72 gh
ST P ₄ C ₂	89,35 a	PA-M P ₃ C ₂	7,68 gh
ST P ₂ C ₂	73,63 b	TEST. (Po)C ₂	7,40 gh
ST P ₁ C ₂	57,01 c	PA-M P ₄ C ₂	6,98 gh
ST P ₅ C ₁	46,05 cd	PA-M P ₄ C ₁	5,88 gh
ST P ₄ C ₁	39,50 de	PA-M P ₅ C ₁	5,88 gh
ST P ₃ C ₁	33,49 de	PA-M P ₂ C ₁	3,88 h
ST P ₂ C ₁	26,27 ef	TEST. (Po)C ₁	3,41 h
ST P ₁ C ₁	17,86 fg	PA-M P ₃ C ₁	3,24 h
d.m.s. Tukey 5% = 13,30			
C.V. = 13,64%			

a/ Os dados constituem médias de 3 repetições.

b/ Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2.. As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

Os dados de fósforo absorvido pelas plantas constam da Tabela 12. Observa-se que este parâmetro comportou-se de modo semelhante à produção de matéria seca, considerando-se ambas as fontes de fósforo. As Tabelas 13 e 14 contêm dados, respectivamente, de cálcio e magnésio absorvidos. O comportamento dos diferentes tratamentos quanto a estes nutrientes, foi semelhante ao observado para produção de matéria seca. As diferenças existentes nos tratamentos com superfosfato triplo ocorreram em função da calagem, verificando-se os maiores valores nas doses maiores de fósforo e sendo significativas as diferenças entre cálcio e magnésio absorvidos, em todas as doses de fósforo, favoráveis à dose maior de calcário. Nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas não se verificaram diferenças significativas entre os diferentes tratamentos, quanto ao cálcio e magnésio absorvidos pelas plantas. Os teores de cálcio e magnésio na matéria seca da parte aérea de plantas de trigo (APÊNDICE 1), em solo LE, nos diferentes tratamentos com fósforo, em ambas as doses de calcário, são suficientes de acordo com WARD et alii (1973), em que pese o teor baixo de cálcio no solo, nos tratamentos com a dose inferior do corretivo, em amostras coletadas antes da aplicação dos fertilizantes (Tabela 10).

As análises de variância para dados de produção de matéria seca, fósforo, cálcio e magnésio absorvidos no 1º cultivo, em solo LE, constam do APÊNDICE 5, tendo-se efetuado comparações de médias, pelo Teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (Tabelas 11, 12, 13 e 14).

4.1.1.2. Segundo cultivo.

Os dados de produção de matéria seca, fósforo, cálcio e magnésio absorvidos por plantas de trigo, no 2º cultivo em solo LE, constam, respectivamente, das Tabelas 16, 17, 18 e 19. Os dados das análises químicas do solo LE, em amostras coletadas após o 1º cultivo,

encontram-se na Tabela 15. A observação dos dados das primeiras tabelas mostra que foram baixos os valores nos diferentes tratamentos, quer de produção de matéria seca, como de conteúdos de fósforo, cálcio e magnésio na planta, excetuando-se aqueles obtidos nas doses maiores de fósforo, quando este nutriente foi adicionado como superfosfato triplo, com a dose maior de calcário. A redução na produção de matéria seca e conteúdos desses nutrientes na planta, nos tratamentos com a fonte solúvel de fósforo, em relação aos valores obtidos no 1º cultivo, foi, provavelmente, devida a problemas de retenção de fósforo, pois o solo LE apresenta valores elevados para esta característica dos solos, como demonstraram diversos trabalhos (MAGALHÃES, 1974a; SMYTH e SANCHEZ, 1982a; GOEDERT, 1983). SMYTH e SANCHEZ (1982a) afirmaram que solos com altos teores de argila e Fe_2O_3 livre, geralmente têm elevadas capacidades de adsorção de fósforo e mantêm níveis baixos de fósforo disponível no solo, principalmente quando são adicionadas doses baixas do elemento aos solos. Ademais, o elevado índice de saturação de alumínio no solo, em amostras coletadas após o 1º cultivo de trigo (Tabela 15) no nível inferior de calagem, pode ter contribuído para uma maior fixação de fósforo, embora LOPES e COX (1979) tenham encontrado baixa correlação entre P adsorvido e teor de alumínio trocável no solo. É provável, pois, que, nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas, o fósforo liberado da apatita tenha sido adsorvido pelo solo, com pequeno aproveitamento pelas plantas de trigo, ainda mais considerando-se que, entre o 1º e o 2º cultivos, o solo permaneceu incubado por um período aproximado de 50 dias. GOEDERT (1983) admitiu que o fósforo liberado do fosfato Patos de Minas esteve por algum tempo na solução do solo, sendo, posteriormente, adsorvido por sua fração sólida, o que explicaria resultados aparentemente contraditórios entre a quantidade de fósforo solubilizada da apatita e o fósforo absorvido pelas culturas.

TABELA 15. Análises químicas do solo LE^a, em amostras de solo coletadas após o primeiro cultivo de trigo, nos diferentes tratamentos com superfosfato triplo, fosfato Patos de Minas e testemunha (sem fósforo).

Tratamento ^{b/}	Determinações analíticas					Tratamento ^{b/}	Determinações analíticas				
	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺ + Sat. Al ³⁺		pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺ + Sat. Al ³⁺
	(H ₂ O)										
Superfosfato triplo	1:1	e.mg%			—	Fosfato Patos de Minas	1:1	e.mg%			—
STP ₁ C ₁	4,7	0,74	0,57	0,08	1,53	PA-M P ₂ C ₁	4,7	0,76	0,64	0,22	1,49
STP ₂ C ₁	4,8	0,86	0,58	0,07	1,54	PA-M P ₃ C ₁	4,6	0,78 ^{c/}	0,62 ^{c/}	0,21	1,68
STP ₃ C ₁	4,9	1,03	0,58	0,05	1,46	PA-M P ₄ C ₁	4,7	0,83	0,59	0,13	1,54
STP ₄ C ₁	5,0	1,29	0,51	0,07	1,34	PA-M P ₅ C ₁	4,7	0,93	0,57	0,18	1,45
STP ₅ C ₁	5,0	1,93	0,55	0,06	1,27	PA-M P ₂ C ₂	5,3	3,39	3,04	0,17	0,15
STP ₁ C ₂	5,6	3,29	2,85	0,07	0,14	PA-M P ₃ C ₂	5,3	3,29	3,07	0,18	0,22
STP ₂ C ₂	5,5	3,31	2,77	0,04	0,19	PA-M P ₄ C ₂	5,3	3,38	3,12	0,17	0,19
STP ₃ C ₂	5,5	3,41	2,69	0,07	0,15	PA-M P ₅ C ₂	5,3	3,41	3,19	0,19	0,20
						Testemunha					
STP ₄ C ₂	5,5	3,66	2,75	0,07	0,14	P ₀ C ₁	4,9	0,68	0,60	0,22	1,57
STP ₅ C ₂	5,5	4,18	2,76	0,07	0,10	P ₀ C ₂	5,3	3,23	3,02	0,20	0,20
STP ₅ C ₁ +M ^{d/}	5,0	1,90	0,53	0,06	1,19	STP ₅ C ₂ +M ^{d/}	5,6	4,15	2,34	0,06	0,11

a/ Dados médios de 3 repetições.

b/ Combinação fonte x dose de P x dose de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas em 3.2.2.

c/ Dados médios de 2 repetições.

d/ Tratamentos extras no 1º cultivo e que receberam dose de manutenção de 80 Kg de P₂O₅/ha, no 2º cultivo, como superfosfato triplo.

TABELA 16. Produção de matéria seca^{a/} de trigo obtida nos diferentes tratamentos, no 2º cultivo, em solo L.E.

Tratamento ^{b/}	Matéria seca g/vaso	Tratamento ^{b/}	Matéria seca g/vaso
ST P ₅ C ₂ + M	20,58 a	PA-M P ₃ C ₂	1,56 cd
ST P ₅ C ₂	18,44 a	PA-M P ₂ C ₂	1,46 cd
ST P ₅ C ₁ + M	14,20 b	TEST. (Po)C ₂	1,26 cd
ST P ₄ C ₂	12,61 b	PA-M P ₅ C ₁	1,03 cd
ST P ₅ C ₁	10,81 b	PA-M P ₄ C ₁	0,85 d
ST P ₃ C ₂	4,36 c	ST P ₃ C ₁	0,84 d
ST P ₂ C ₂	2,92 cd	ST P ₂ C ₁	0,79 d
PA-M P ₅ C ₂	1,81 cd	PA-M P ₃ C ₁	0,76 d
ST P ₁ C ₂	1,66 cd	ST P ₁ C ₁	0,69 d
ST P ₄ C ₁	1,60 cd	PA-M P ₂ C ₁	0,64 d
PA-M P ₄ C ₂	1,57 cd	TEST. (Po)C ₁	0,62 d
d.m.s. Tukey 5% = 3,41			
C.V. = 23,44%			

a/ Os dados constituem médias de 3 repetições.

b/ Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2.. As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

TABELA 17. Fósforo absorvido^{a/} por plantas de trigo nos diferentes tratamentos, no 2º cultivo, em solo L.E..

Tratamento ^{b/}	Fósforo absorvido mg/vaso	Tratamento ^{b/}	Fósforo absorvido mg/vaso
ST P ₅ C ₂ + M	39,97 a	PA-M P ₃ C ₂	1,06 d
ST P ₅ C ₂	35,64 a	PA-M P ₂ C ₂	0,91 d
ST P ₅ C ₁ + M	23,65 b	TEST. (Po)C ₂	0,76 d
ST P ₅ C ₁	16,32 bc	PA-M P ₅ C ₁	0,72 d
ST P ₄ C ₂	13,41 c	ST P ₃ C ₁	0,67 d
ST P ₃ C ₂	4,65 d	PA-M P ₄ C ₁	0,62 d
ST P ₂ C ₂	2,74 d	ST P ₂ C ₁	0,62 d
ST P ₄ C ₁	2,05 d	PA-M P ₃ C ₁	0,44 d
PA-M P ₅ C ₂	1,79 d	ST P ₁ C ₁	0,40 d
ST P ₁ C ₂	1,60 d	PA-M P ₂ C ₁	0,32 d
PA-M P ₄ C ₂	1,18 d	TEST. (Po)C ₁	0,31 d
d.m.s. Tukey 5% = 8,49			
C.V. = 39,50%			

a/ Os dados constituem médias de 3 repetições.

b/ Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2.. As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

TABELA 18. Cálcio absorvido^{a/} por plantas de trigo nos diferen-
tes tratamentos, no 2º cultivo, em solo L.E.

Tratamento ^{b/}	Ca absorvido mg/vaso	Tratamento ^{b/}	Ca absorvido mg/vaso
ST P ₅ C ₂ + M	75,33 a	PA-M P ₃ C ₂	6,21 cd
ST P ₅ C ₂	73,73 a	PA-M P ₄ C ₂	6,15 cd
ST P ₅ C ₁ + M	72,67 a	TEST. (Po)C ₂	5,91 cd
ST P ₅ C ₁	50,23 b	ST P ₃ C ₁	4,92 d
ST P ₄ C ₂	42,56 b	ST P ₂ C ₁	4,25 d
ST P ₃ C ₂	17,46 c	PA-M P ₅ C ₁	4,23 d
ST P ₂ C ₂	12,62 cd	PA-M P ₄ C ₁	3,52 d
ST P ₄ C ₁	8,68 cd	ST P ₁ C ₁	3,20 d
PA-M P ₅ C ₂	7,20 cd	PA-M P ₃ C ₁	2,77 d
ST P ₁ C ₂	7,13 cd	PA-M P ₂ C ₁	2,48 d
PA-M P ₂ C ₂	6,24 cd	TEST. (Po)C ₁	1,94 d
d.m.s. Tukey 5% = 12,51			
C.V. = 20,93%			

a/ Os dados constituem médias de 3 repetições.

b/ Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2. As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

TABELA 19. Magnésio absorvido^{a/} por plantas de trigo nos diferentes tratamentos, no 2º cultivo, em solo L.E.

Tratamento ^{b/}	Mg absorvido mg/vaso	Tratamento ^{b/}	Mg absorvido mg/vaso
ST P ₅ C ₂ + M	77,42 a	PA-M P ₄ C ₂	5,74 fg
ST P ₅ C ₂	74,41 a	TEST. (Po)C ₂	5,50 fg
ST P ₄ C ₂	47,86 b	ST P ₄ C ₁	3,96 fg
ST P ₅ C ₁ + M	34,03 c	ST P ₃ C ₁	2,91 fg
ST P ₅ C ₁	25,55 cd	ST P ₂ C ₁	2,74 fg
ST P ₃ C ₂	18,46 de	ST P ₁ C ₁	2,32 fg
ST P ₂ C ₂	12,98 ef	PA-M P ₅ C ₁	1,87 fg
ST P ₁ C ₂	7,54 efg	PA-M P ₄ C ₁	1,83 fg
PA-M P ₅ C ₂	6,43 fg	PA-M P ₂ C ₁	1,67 fg
PA-M P ₃ C ₂	6,01 fg	TEST. (Po)C ₁	1,53 g
PA-M P ₂ C ₂	5,79 fg	PA-M P ₃ C ₁	1,47 g
d.m.s. Tukey 5% = 11,30			
C.V. = 22,79%			

a/ Os dados constituem médias de 3 repetições.

b/ Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2. As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

O efeito do período de incubação dos fosfatos, no acréscimo da disponibilidade de fósforo dos fosfatos naturais, foi estudado por vários autores e suas opiniões são conflitantes. SOUZA (1977) verificou que o pH e o tempo de incubação melhoraram a eficiência do fosfato Patos de Minas e outros fosfatos, num Latossolo Vermelho Escuro sob cerrado, proporcionando acréscimos na produção de matéria seca e fósforo absorvido pelo sorgo. Com a mesma cultura, CANTARUTTI et alii (1981), também constataram efeito favorável do tempo de incubação do solo, na solubilidade dos fosfatos de Araxá e Patos de Minas. Entretanto, BRAGANÇA (1979) e NOVAIS et alii (1980) afirmaram que a reação dos fosfatos naturais no solo pode, em função do tempo de incubação, conduzir à formação de compostos menos solúveis que o material original, opinião concordante com a de KAMINSKI (1983), que não verificou melhor desempenho do fosfato de Araxá pré-aplicado ao solo, no suprimento de fósforo para plantas de sorgo.

SMYTH e SANCHEZ (1982a) ressaltaram a importância da adsorção de fósforo pelos solos ácidos sob vegetação de cerrado, afirmando que a manutenção do fósforo disponível dos fosfatos naturais, numa forma insolúvel, proporcionaria condições favoráveis para a dissolução adicional dessas fontes de fósforo.

Os baixos valores de produção de matéria seca e fósforo absorvido pelas plantas de trigo (respectivamente, Tabelas 16 e 17), nos tratamentos com fosfato Patos de Minas, em todas as doses de fósforo e níveis de calagem, comprovam, por outro lado, a pequena solubilidade deste material, mesmo em condições de elevada acidez dos solos (GOEDERT e LOBATO, 1980). Aliás, a acidez do solo teve efeito desfavorável na produção de matéria seca e fósforo absorvido pelo trigo, tanto nos tratamentos com a fonte

solúvel, como naqueles com o fosfato Patos de Minas. Nos primeiros, as diferenças entre níveis de calagem foram altamente significativas, considerando-se os parâmetros em pauta, particularmente nas doses maiores de fósforo. Nos segundos, as diferenças não foram significativas, porém ocorreram em todas as doses de fósforo. Observa-se, também, que a calagem favoreceu uma liberação de fósforo nativo do solo, com maiores produções de matéria seca e conteúdos de fósforo na planta, para o tratamento testemunha, na dose maior de calcário.

A ineficiência da acidez na solubilização do fosfato Patos de Minas, contraria resultados obtidos por outros pesquisadores (TANAKA, 1978; GOEDERT e LOBATO (1980) . Contudo, YOST et alii (1982) em experimentos de campo, em Latossolo Vermelho Escuro sob cerrado, com Braquiária, mostraram que a acidez do solo pode ser ineficiente, a curto prazo, na solubilização de fosfatos naturais de baixa solubilidade em ácido cítrico, como o fosfato de Araxá.

Os dados da Tabela 15 mostram, em amostras coletadas após o 1º cultivo de trigo, teores elevados de alumínio trocável e índices de saturação de alumínio no solo, bem como baixos valores de pH, nos tratamentos com a dose inferior de calcário, considerando-se ambas as fontes de fósforo (médias de saturação de alumínio e pH de, respectivamente 45% e 4,9, para os tratamentos com superfosfato triplo e 49% e 4,7 para aqueles com o Patos de Minas). Constata-se que estes valores situam-se, ainda, na faixa de tolerância da IAC-5 à toxidez de alumínio (MUZILLI et alii, 1978), pois, apesar dos teores relativamente baixos de cálcio e magnésio no solo (Tabela 15), esta cultivar satisfaz suas exigências em cálcio e magnésio, como comprovam os

teores destes nutrientes na parte aérea das plantas (APÊNDICE 2), considerados suficientes conforme WARD e WHITNEY (1973).

Os dados do presente trabalho, sugerem, pois, que a ação negativa da acidez na produção de matéria seca e fósforo absorvido e acumulado na parte aérea do trigo, no 2º cultivo, em solo LE, tenha sido, provavelmente, devida, entre outros, aos seguintes fatores:

a) capacidade elevada de retenção de fósforo (MAGALHÃES, 1979; LOPES e COX, 1979; LE MARE, 1982) favorecida pelo alto teor de alumínio trocável, nos tratamentos com superfosfato triplo, na dose inferior de calagem. Observa-se que houve redução do teor de alumínio trocável e índice de saturação de alumínio, na dose maior de fósforo (Tabela 15), confirmando resultados de MAGALHÃES et alii (1980), permitindo uma maior produção de matéria seca e fósforo absorvido pelo trigo (Tabelas 16 e 17);

b) efeito adverso do tempo de incubação, conforme admitido por diversos pesquisadores (BRAGANÇA, 1979; NOVAIS et alii, 1980; KAMINSKI, 1983), superando os efeitos favoráveis dos íons hidrogênio (KHASAWNEH e DOLL, 1978) e da elevada capacidade de adsorção de fósforo na solubilização da apatita (SMYTH e SANCHEZ, 1982a; SYERS et alii, 1981; CABALA e WILD, 1982), nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas.

BRAGANÇA et alii (1981) verificaram efeito solubilizador crescente, direto ou indireto, do alumínio trocável sobre o fosfato de Araxá e um declínio na produção de matéria seca, absorção e acumulação de fósforo em plantas de sorgo, com o acréscimo do tempo de incubação, contrariando, segundo os autores, a idéia geralmente aceita, de que o tempo de incubação

ção favorece a disponibilidade dos fosfatos. Eles sugeriram que o fósforo liberado do fosfato de Araxá, pela ação direta ou indireta do alumínio, teria sido prontamente absorvido pelas plantas nos tratamentos sem incubação, tendo reduzida, posteriormente, sua solubilidade, seja pela ação dos colóides do solo, seja pela precipitação em formas menos disponíveis, nos tratamentos em que o tempo de contato fosfato-solo foi mais prolongado.

É bem provável que a hipótese supra seja adequada para explicar os resultados do presente trabalho, em que se constatou um efeito benéfico da acidez nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas, no 1º cultivo (quando não houve incubação prévia do fertilizante com o solo), refletindo-se, de um modo geral, em maiores produções de matéria seca e fósforo absorvido pelo trigo, no nível inferior de calagem (Tabelas 11 e 12), particularmente nas doses mais elevadas de fósforo. Convém ressaltar, contudo, que, em ambos os cultivos, não foram estatisticamente significativas as diferenças entre níveis de calagem, nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas.

Verifica-se, por outro lado, um reduzido efeito residual nos tratamentos com ambas as fontes de fósforo, exceto quanto ao superfosfato triplo, na dose mais elevada de fósforo, em ambos os níveis de calagem, e na dose de fósforo imediatamente inferior, associada à dose maior de calcário, (tratamento STP_4C_2 , Tabela 16). Assim, a comparação das Tabelas 11 e 12 (1º cultivo), com as Tabelas 16 e 17 (2º cultivo), mostra valores inferiores, respectivamente, para produção de matéria seca e fósforo absorvido pelo trigo no 2º cultivo, em relação aos obtidos no 1º cultivo. O decréscimo nos valores destes parâmetros foi marcante nas doses menores de fósforo, em ambos os níveis de calagem, para o superfosfato triplo e ocorreu em todos os tratamentos

com o fosfato Patos de Minas, contrariando resultados obtidos no mesmo solo com este fertilizante, que mostram acréscimos em sua solubilidade, com o tempo de cultivo (GOEDERT e LOBATO, 1980). O efeito residual de doses elevadas de fósforo adicionado ao solo LE, como superfosfato triplo, é também comprovado pela observação dos dados das Tabelas 16 e 17, que mostram não ter havido diferenças significativas entre os tratamentos com e sem manutenção de fósforo, respectivamente, para dados de produção de matéria seca e fósforo absorvido pela planta. Verificaram-se, contudo, diferenças significativas entre níveis de calagem, nos tratamentos com manutenção de P, para ambos os parâmetros da planta considerados.

As Tabelas 18 e 19 contêm dados de cálcio e magnésio absorvidos por plantas de trigo no 2º cultivo, em solo LE. As tendências entre os diferentes tratamentos com ambas as fontes de fósforo são semelhantes às já analisadas para os demais parâmetros (Tabelas 16 e 17). As análises de variância para dados de produção de matéria seca, fósforo, cálcio e magnésio absorvidos, constam do APÊNDICE 6, efetuando-se a comparação de médias dos tratamentos, como indicados em 4.1.1.1.

4.1.2. Solo LV.

4.1.2.1. Primeiro cultivo.

Os dados de produção de matéria seca, fósforo, cálcio e magnésio absorvidos e acumulados na parte aérea do trigo, no 1º cultivo, em solo LV, constam, respectivamente, das Tabelas 20, 21, 22 e 23. Na discussão destes resultados, procurar-se-á estabelecer comparações com os obtidos no 1º cultivo, em solo LE (item 4.1.1.1.), ressaltando-se, no entanto, a impossibilidade de uma compa

TABELA 20. Produção de matéria seca^{a/} de trigo obtida nos dife

Tratamento ^{b/}			Tratamento ^{b/}		
ST P ₅ C ₂			PA-M P ₅ C ₁		
ST P ₅ C ₁			PA-M P ₅ C ₂		
ST P ₄ C ₁			PA-M P ₄ C ₁		
ST P ₄ C ₂			PA-M P ₄ C ₂		
ST P ₃ C ₂	18,91	bc	PA-M P ₃ C ₂	2,33	fg
ST P ₃ C ₁	18,51	c	PA-M P ₃ C ₁	2,15	fg
ST P ₂ C ₂	18,21	c	PA-M P ₂ C ₁	1,98	fg
ST P ₂ C ₁	14,07	d	TEST. (Po)C ₂	1,79	fg
ST P ₁ C ₂	12,05	d	PA-M P ₂ C ₂	1,76	fg
ST P ₁ C ₁	8,48	e	TEST. (Po)C ₁	1,09	g
d.m.s. Tukey 5% = 2,99					
C.V. = 9,36%					

a/ Os dados constituem médias de 3 repetições.

b/ Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2... As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

TABELA 21. Fósforo absorvido^{a/} por plantas de trigo nos diferentes tratamentos, no 1º cultivo, em solo L.V.

Tratamento ^{b/}	Fósforo absorvido mg/vaso	Tratamento ^{b/}	Fósforo absorvido mg/vaso
ST P ₅ C ₂	74,19 a	PA-M P ₅ C ₂	5,69 hi
ST P ₅ C ₁	52,13 b	PA-M P ₅ C ₁	4,98 hi
ST P ₄ C ₂	44,87 bc	PA-M P ₄ C ₂	3,68 i
ST P ₄ C ₁	40,44 cd	PA-M P ₄ C ₁	2,85 i
ST P ₃ C ₂	33,96 de	PA-M P ₃ C ₂	2,49 i
ST P ₃ C ₁	27,59 ef	PA-M P ₃ C ₁	1,61 i
ST P ₂ C ₂	26,05 ef	PA-M P ₂ C ₂	1,53 i
ST P ₁ C ₂	21,03 fg	PA-M P ₂ C ₁	1,52 i
ST P ₂ C ₁	16,33 g	TEST. (Po)C ₂	1,24 i
ST P ₁ C ₁	13,81 gh	TEST. (Po)C ₁	0,42 i
d.m.s Tukey 5% = 9,31			
C.V. = 15,91%			

a/ Os dados constituem médias de 3 repetições.

b/ Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2. As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

TABELA 22. Cálcio absorvido^{a/} por plantas de trigo nos diferentes tratamentos, no 1º cultivo, em solo L.V.

Tratamento ^{b/}	Ca absorvido mg/vaso	Tratamento ^{b/}	Ca absorvido mg/vaso
ST P ₅ C ₂	109,46 a	PA-M P ₅ C ₁	13,12 fg
ST P ₄ C ₂	81,68 b	PA-M P ₅ C ₂	12,57 fg
ST P ₄ C ₁	80,94 b	PA-M P ₄ C ₂	7,91 g
ST P ₅ C ₁	80,35 b	PA-M P ₄ C ₁	6,74 g
ST P ₃ C ₂	77,80 bc	PA-M P ₃ C ₂	6,15 g
ST P ₂ C ₂	68,76 bc	PA-M P ₂ C ₂	5,56 g
ST P ₃ C ₁	68,44 bcd	PA-M P ₃ C ₁	5,52 g
ST P ₁ C ₂	58,07 cd	TEST. (Po)C ₂	5,44 g
ST P ₂ C ₁	48,69 de	PA-M P ₂ C ₁	4,21 g
ST P ₁ C ₁	30,25 ef	TEST. (Po)C ₁	2,35 g
d.m.s Tukey 5% = 19,96			
C.V. = 16,59%			

a/ Os dados constituem médias de 3 repetições.

b/ Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2. As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

TABELA 23. Magnésio absorvido^{a/} por plantas de trigo nos diferentes tratamentos, no 1º cultivo, em solo L.V.

Tratamento ^{b/}	Mg absorvido mg/vaso	Tratamento ^{b/}	Mg absorvido mg/vaso
ST P ₅ C ₂	97,43 a	PA-M P ₅ C ₂	12,00 gh
ST P ₃ C ₂	83,48 ab	PA-M P ₅ C ₁	9,40 gh
ST P ₄ C ₂	80,33 bc	PA-M P ₄ C ₂	7,64 h
ST P ₂ C ₂	74,56 bcd	PA-M P ₃ C ₂	5,84 h
ST P ₄ C ₁	64,20 cde	PA-M P ₂ C ₂	5,67 h
ST P ₅ C ₁	58,86 de	TEST. (Po)C ₂	5,29 h
ST P ₁ C ₂	58,50 de	PA-M P ₄ C ₁	5,23 h
ST P ₃ C ₁	56,26 e	PA-M P ₃ C ₁	4,01 h
ST P ₂ C ₁	36,52 f	PA-M P ₂ C ₁	3,36 h
ST P ₁ C ₁	25,19 fg	TEST. (Po)C ₁	2,47 h
d.m.s. Tukey 5% = 16,89			
C.V. = 15,61%			

a/ Os dados constituem médias de 3 repetições.

b/ Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2. As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

ração em bases estatísticas, pois os solos, em cada cultivo, foram analisados separadamente.

Considerando-se os dados de produção de matéria seca (Tabela 20), verificaram-se valores semelhantes, porém geralmente um pouco mais elevados para o solo LV, nos tratamentos com superfosfato triplo, em relação aos obtidos no solo LE (Tabela 11). Nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas, os resultados favoreceram ligeiramente o solo LV, em quase todas as doses de calcário e fósforo, particularmente naqueles com a dose maior do nutriente (em ambos os níveis de calagem), cujos valores foram superiores para este solo, quando comparados aos obtidos em solo LE. Verifica-se, por exemplo, pela Tabela 20, que, no solo LV, os referidos tratamentos diferiram estatisticamente da testemunha (com a dose menor de calcário), o que não ocorreu no solo LE (Tabela 11). Constata-se, por outro lado, produções de matéria seca e conteúdos de fósforo na planta mais elevados para o solo LE, no tratamento testemunha, mostrando uma maior disponibilidade natural de fósforo neste solo, em relação ao LV, concordando, pois, com os valores de P nativo no solo, indicados na Tabela 2.

Os dados de fósforo absorvido pelo trigo no solo LV (Tabela 21), indicam a mesma tendência observada para dados de produção de matéria seca. Os tratamentos com fosfato Patos de Minas, na dose mais elevada de fósforo, embora não tenham diferido dos demais deste grupo, não diferiram estatisticamente também, do tratamento com a dose menor de calcário e fósforo, como superfosfato triplo.

Quanto ao efeito da calagem na produção de matéria seca, observa-se, pela Tabela 20, que foram encontradas diferenças significativas apenas nas doses baixas de fósforo, favoráveis à dose maior do corretivo,

quando se utilizou o superfosfato triplo. Já em relação ao fosfato Patos de Minas, verificou-se a mesma tendência observada no solo LE, para um maior benefício da acidez, apenas com as doses maiores de fósforo. Entretanto, não foram significativas as diferenças entre níveis de calagem em qualquer das doses de fósforo, nos tratamentos com este fertilizante. Considerando-se os dados de fósforo absorvido pelo trigo (Tabela 21), verificou-se que eles foram mais elevados nos tratamentos com as doses maiores de calcário e fósforo (adicionado como fosfato Patos de Minas), embora não tenham sido significativas, nessas doses, as diferenças entre níveis de calagem. Com o emprego da fonte solúvel, observou-se uma diferença significativa favorável à dose maior de calcário e fósforo (P_5C_2), ainda que o maior suprimento de fósforo proporcionado por este tratamento não tenha se refletido em acréscimos proporcionais na produção de matéria seca, possivelmente caracterizando um consumo de luxo do nutriente. Constatou-se, por outro lado, tal como ocorrido no solo LE, uma ação favorável da calagem no acréscimo da disponibilidade do fósforo nativo do solo, traduzindo-se por maiores produções de matéria seca e fósforo absorvido pela planta na testemunha, com a dose maior de calcário (respectivamente, Tabelas 20 e 21).

As análises químicas do solo LV, em amostras coletadas após o período de incubação com calcário e antes do plantio do trigo (Tabela 10), mostram uma saturação de alumínio média de apenas 15% nas amostras com a dose menor do corretivo, que foi reduzida para aproximadamente 5% naquelas com a dose maior. Observam-se, também, valores baixos de pH, em ambas as doses de calcário e teores relativamente baixos de cálcio e magnésio, principalmente do primeiro, no nível inferior de calagem.

Os dados da Tabela 3 sugerem que a

reação altamente favorável do solo LV na solubilização do fosfato Patos de Minas deve estar provavelmente relacionada ao seu maior teor de argila, quando comparado ao solo LE, que, entretanto, apresenta um teor mais elevado de óxidos de ferro livre (Tabela 2). GOEDERT (1983) admitiu que se poderia esperar uma reação mais rápida dos fosfatos naturais no solo LV, face à sua mais alta capacidade de adsorção de fósforo e que esta característica, neste solo, seria explicada, principalmente, pelo seu maior teor de argila e maior concentração de gibsitita nessa fração. Este autor verificou, também, que este fosfato apresentou uma reação inicial mais rápida no solo LV, comparada à observada no solo LE. LOPES e COX (1979) afirmaram, que, de um ponto de vista agrônomo, a percentagem de argila dos solos sob vegetação de cerrado, no Brasil, é a variável mais adequada para estimar a capacidade de fixação de fósforo.

Portanto, os resultados obtidos neste trabalho confirmam os supracitados, mostrando uma melhor solubilização do fosfato Patos de Minas no solo LV, particularmente nas doses mais elevadas de P adicionado, refletindo-se em maiores produções de matéria seca e absorção de fósforo (Tabelas 20 e 21). Entretanto, apesar da reação mais favorável neste solo, o fosfato Patos de Minas mostrou-se ineficiente em fornecer fósforo para as plantas, quando comparado ao superfosfato triplo, de forma análoga ao constatado no solo LE.

Verifica-se, por outro lado, que, apesar dos teores relativamente baixos de cálcio e magnésio no solo, especialmente o primeiro, (Tabela 10), nos tratamentos com a dose menor de calcário, a cultivar IAC-5 mostrou uma absorção adequada destes nutrientes, como

demonstram os teores encontrados em sua parte aérea (APÊNDICE 3), considerados suficientes, de acordo com WARD e WHITNEY (1973).

As Tabelas 22 e 23 mostram, respectivamente, dados de cálcio e magnésio absorvidos pelo trigo. De um modo geral, os maiores valores para estes parâmetros da planta foram alcançados com a dose maior de calcário, nos tratamentos com superfosfato triplo, salvo nas doses maiores de fósforo, principalmente para o cálcio absorvido (Tabela 23), com teores elevados na dose inferior do corretivo, possivelmente devido à maior quantidade deste nutriente, fornecido pelo superfosfato triplo (que contém em média, 14 a 16% de CaO, conforme ANDA, 1975). Tendências análogas foram observadas nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas, não ocorrendo, entretanto, diferenças significativas entre os mesmos.

As análises da variância para os parâmetros da planta avaliados, constam do APÊNDICE 7. A comparação de médias foi feita, como indicado em 4.1.1.1.

4.1.2.2. Segundo cultivo

As Tabelas 24 e 25 mostram os dados de produção de matéria seca e fósforo absorvido, e as Tabelas 26 e 27 os dados de cálcio e magnésio absorvidos por plantas de trigo, no 2º cultivo, em solo LV. A comparação das Tabelas 24 e 25 com as Tabelas 20 e 21 (1º cultivo), permite constatar, a exemplo do ocorrido no solo LE, uma redução acentuada nos dados de produção de matéria seca e fósforo absorvido pelo trigo, nos tratamentos com superfosfato triplo (excetuando-se aqueles com a dose mais elevada de fósforo, em ambos os níveis de calagem), o que pode ser explicado pela grande capacidade de

TABELA 24. Produção de matéria seca^{a/} de trigo obtida nos diferentes tratamentos, no 2º cultivo, em solo L.V.

Tratamento ^{b/}	Matéria seca g/vaso	Tratamento ^{b/}	Matéria seca g/vaso
ST P ₅ C ₁ + M	19,02 a	PA-M P ₄ C ₂	1,57 c
ST P ₅ C ₂ + M	17,23 a	ST P ₂ C ₂	1,57 c
ST P ₅ C ₁	17,05 a	PA-M P ₄ C ₁	1,46 c
ST P ₅ C ₂	16,76 a	PA-M P ₃ C ₂	1,43 c
ST P ₄ C ₂	7,15 b	TEST. (Po)C ₂	1,77 c
PA-M P ₅ C ₂	4,33 bc	PA-M P ₂ C ₂	1,09 c
ST P ₄ C ₁	4,05 bc	PA-M P ₃ C ₁	1,02 c
PA-M P ₅ C ₁	3,33 bc	ST P ₂ C ₁	0,97 c
ST P ₃ C ₂	2,87 c	ST P ₁ C ₁	0,85 c
ST P ₁ C ₂	2,46 c	TEST. (Po)C ₁	0,75 c
ST P ₃ C ₁	1,72 c	PA-M P ₂ C ₁	0,61 c
d.m.s. Tukey 5% = 4,10			
C.V. = 26,51%			

a/ Os dados constituem médias de 3 repetições.

b/ Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2. As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

TABELA 25 - Fósforo absorvido^{a/} por plantas de trigo nos diferentes tratamentos, no 2º cultivo, em solo L.V.

Tratamento ^{b/}	Fósforo absorvido mg/vaso	Tratamento ^{b/}	Fósforo absorvido mg/vaso
ST P ₅ C ₂ + M	23,47 a	PA-M P ₄ C ₂	1,24 bc
ST P ₅ C ₁ + M	22,15 a	ST P ₃ C ₁	1,12 bc
ST P ₅ C ₂	20,69 a	PA-M P ₄ C ₁	0,80 bc
ST P ₅ C ₁	18,99 a	PA-M P ₃ C ₂	0,76 bc
ST P ₄ C ₂	6,46 b	PA-M P ₃ C ₁	0,47 bc
PA-M P ₅ C ₂	5,65 bc	TEST. (Po)C ₂	0,47 bc
PA-M P ₅ C ₁	3,83 bc	PA-M P ₂ C ₂	0,44 bc
ST P ₄ C ₁	3,56 bc	ST P ₂ C ₁	0,43 bc
ST P ₃ C ₂	2,50 bc	ST P ₁ C ₁	0,34 bc
ST P ₁ C ₂	2,08 bc	TEST. (Po)C ₁	0,33 bc
ST P ₂ C ₂	1,35 bc	PA-M P ₂ C ₁	0,24 c
d.m.s. Tukey 5% = 6,15			
C.V. = 36,79%			

^{a/} Os dados constituem médias de 3 repetições.

^{b/} Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2. As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

TABELA 26. Cálcio absorvido^{a/} por plantas de trigo nos diferentes tratamentos, no 2º cultivo, em solo L.V.

Tratamento ^{b/}	Ca absorvido mg/vaso	Tratamento ^{b/}	Ca absorvido mg/vaso
ST P ₅ C ₁ + M	80,69 a	PA-M P ₄ C ₁	6,24 c
ST P ₅ C ₂ + M	75,21 a	ST P ₂ C ₂	5,88 c
ST P ₅ C ₁	67,77 a	PA-M P ₄ C ₂	5,18 c
ST P ₅ C ₂	67,63 a	PA-M P ₃ C ₂	5,09 c
ST P ₄ C ₂	27,00 b	TEST. (Po)C ₂	4,84 c
PA-M P ₅ C ₂	16,13 bc	ST P ₂ C ₁	4,59 c
ST P ₄ C ₁	15,66 bc	ST P ₁ C ₁	4,59 c
PA-M P ₅ C ₁	11,12 bc	PA-M P ₂ C ₂	4,53 c
ST P ₃ C ₂	10,66 bc	PA-M P ₃ C ₁	4,33 c
ST P ₁ C ₂	8,84 c	PA-M P ₂ C ₁	2,84 c
ST P ₃ C ₁	6,72 c	TEST. (Po)C ₁	2,50 c
d.m.s. Tukey 5% = 18,00			
C.V. = 29,11%			

a/ Os dados constituem médias de 3 repetições.

b/ Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2. As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

TABELA 27. Magnésio absorvido^{a/} por plantas de trigo, nos diferentes tratamentos, no 2º cultivo, em solo L.V.

Tratamento ^{b/}	Mg absorvido mg/vaso	Tratamento ^{b/}	Mg absorvido mg/vaso
ST P ₅ C ₂ + M	55,14 a	PA-M P ₄ C ₂	4,22 e
ST P ₅ C ₂	49,16 ab	PA-M P ₃ C ₂	4,14 e
ST P ₅ C ₁ + M	41,82 bc	TEST. (Po)C ₂	4,10 e
ST P ₅ C ₁	36,31 c	ST P ₃ C ₁	4,03 e
ST P ₄ C ₂	21,14 d	PA-M P ₂ C ₂	3,84 e
PA-M P ₅ C ₂	11,27 de	ST P ₂ C ₁	3,31 e
ST P ₃ C ₂	8,96 e	ST P ₁ C ₁	3,23 e
ST P ₄ C ₁	8,51 e	PA-M P ₄ C ₁	2,68 e
ST P ₁ C ₂	7,86 e	*PA-M P ₃ C ₁	2,37 e
ST P ₂ C ₂	5,47 e	TEST. (Po)C ₁	2,06 e
PA-M P ₅ C ₁	4,69 e	PA-M P ₂ C ₁	1,70 e
d.m.s. Tukey 5% = 11,71			
C.V. = 28,75%			

^{a/} Os dados constituem médias de 3 repetições.

^{b/} Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2. As médias seguidas de, pelo menos, uma letra comum, não diferem, estatisticamente, entre si.

retenção de fósforo destes solos, já assinalada anteriormente. Em experimentação de campo conduzida no CPAC, o solo LV apresentou um índice de recuperação de fósforo menor que o determinado em solo LE, evidenciando uma maior capacidade de "fixação de fósforo" do primeiro solo, em relação ao segundo (EMBRAPA, 1978b).

Quanto ao fosfato Patos de Minas, verificou-se, também, uma redução na produção de matéria seca e fósforo absorvido pelo trigo nas doses inferiores de fósforo adicionado. Porém, em relação à dose mais elevada deste nutriente, constatou-se uma produção de matéria seca semelhante e, mesmo, ligeiramente maior, no 2º cultivo, com a dose maior de calcário e um valor um pouco inferior, para esse parâmetro da planta, com a mesma dose de fósforo, porém associada à dose menor do corretivo (P_5C_1), quando comparados aos obtidos nesses tratamentos, no 1º cultivo (Tabelas 24 e 20, respectivamente). Comportamento semelhante foi observado em relação a dados de fósforo absorvido (Tabelas 25 e 21, respectivamente).

Os valores relativamente elevados obtidos com a dose maior de fósforo como fosfato Patos de Minas, para os parâmetros da planta supra-indicados, no 2º cultivo, em solo LV, contrastam com o observado nas demais doses neste solo e em todas as doses do nutriente, no mesmo cultivo, no solo LE (Tabelas 16 e 17, respectivamente, para produção de matéria seca e fósforo absorvido). Este fato conflita com a suposição da existência de efeitos desfavoráveis do tempo de incubação, no suprimento de fósforo às plantas, como frizado em 4.1.1.2 e conforme diversos pesquisadores (BRAGANÇA, 1978; NOVAIS et alii, 1980; KAMINSKI, 1983). Entretanto, como já realçado, são numerosos, na literatura científica, os trabalhos que mostram o efeito benéfico da elevada capacidade de retenção

de fósforo dos solos, na solubilização dos fosfatos naturais (DYNIA, 1977; CHIEN et alii, 1980; KHASAWNEH et alii, 1978; SMYTH e SANCHEZ, 1982a; SYERS et alii, 1982; CABALLA e WILD, 1982).

DYNIA (1977), afirmou que solos com elevada capacidade de retenção de fósforo promovem uma rápida retirada da solução, do P liberado pelos fosfatos naturais; KHASAWNEH et alii (1978) verificaram que concentrações de fósforo na solução do solo, suficientemente altas para propiciar o crescimento máximo de plantas de milho e cow-pea, foram somente obtidas com doses elevadas de fosfato natural. Sugere-se, portanto, que o maior efeito residual mostrado por altas doses de fosfato Patos de Minas no solo LV, refletindo-se em produções de matéria seca e quantidades de fósforo absorvidas pelo trigo, semelhantes às obtidas no 1º cultivo, esteja, provavelmente, relacionado à manutenção de concentrações elevadas de P na solução do solo, decorrentes da maior solubilização desse fosfato, favorecida pela alta capacidade de retenção de fósforo do solo em apreço. A maior concentração de fósforo na solução seria suficiente para superar os possíveis efeitos negativos do tempo de incubação, admitidos por BRAGANÇA (1979) e NOVAIS et alii (1980). Em apoio a esta hipótese pode-se mencionar resultados experimentais de campo, no mesmo solo, no CPAC, em que se verificaram acréscimos no rendimento relativo da soja, de pouco menos de 50%, no primeiro ano, para, aproximadamente, 90% no quinto ano de cultivo, com a dose de 800 kg de P_2O_5 /ha, como fosfato Patos de Minas (EMBRAPA, 1982).

Convém salientar que, provavelmente, as diferentes condições prevalecentes em experimentos de campo e casa-de-vegetação expliquem a necessidade de uma dose mais elevada de fósforo, como a utilizada no presente trabalho, em condições ambientais controladas, devido ao volume

restrito de solo contido em vasos, conduzindo a uma exploração do solo mais intensa, pelas raízes das plantas. GRIGG (1977) afirmou que estudos em casa-de-vegetação, em que os solos são retirados do campo e supridos com teores de umidade e nutrientes adequados, além do fósforo, visando o máximo crescimento das plantas, medem o poder de suprimento de fósforo dos solos, em condições de máxima exploração de um volume limitado de solo.

A comparação das produções de matéria seca e fósforo absorvido pelas plantas no 2º cultivo, em solo LV (Tabelas 24 e 25) com os dados obtidos para estes parâmetros, em igual cultivo, no solo LE (respectivamente Tabelas 16 e 17) mostra que, nos tratamentos com superfosfato triplo, foram obtidos, de um modo geral, maiores valores para o primeiro solo, com a dose menor de calcário e para o segundo, com a dose maior do corretivo da acidez. A superioridade do solo LV, no nível menor de calagem, deve-se, provavelmente, ao menor teor de alumínio trocável e índice de saturação de alumínio neste solo, em amostras coletadas após o 1º cultivo de trigo (Tabela 28), quando comparadas àqueles determinados em solo LE (Tabela 15). O menor efeito residual da fonte solúvel, com a dose maior de calcário, no solo LV, comparado ao constatado no solo LE, é, possivelmente decorrente de sua maior capacidade de retenção de fósforo. Ainda assim, é elevado o efeito residual de doses maciças de fósforo, como superfosfato triplo, no primeiro solo, como comprovam os dados das Tabelas 24 e 25, que não acusam diferenças estatísticas entre os tratamentos com e sem manutenção de fósforo, respectivamente, para produção de matéria seca e fósforo absorvido pelo trigo, em ambos os níveis de calagem.

Os dados para o fosfato Patos de Minas mostram produções de matéria seca e conteúdos de fósforo na planta semelhantes entre os dois solos, no 2º cultivo, exceto na

TABELA 28. Análises químicas do solo LV^a/, em amostras de solo coletadas após o primeiro cultivo de trigo, nos diferentes tratamentos com superfosfato triplo, fosfato Patos de Minas e testemunha (sem fósforo).

Tratamento ^{b/}	Determinações analíticas					Tratamento ^{b/}	Determinações analíticas					
	pH (H ₂ O)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺ Sat. Al ³⁺		pH (H ₂ O)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺ Sat. Al ³⁺	
Superfosfato triplo	1:1	e.mg%			— % —	Fosfato Patos de Minas	1:1	e.mg%			— % —	
STP ₁ C ₁	4,9	0,62	0,45	0,08	0,29	20	4,7	0,71	0,50	0,22	0,41	22
STP ₂ C ₁	5,2	0,73	0,43	0,08	0,24	16	4,7	0,79	0,47	0,22	0,36	20
STP ₃ C ₁	5,3	0,85	0,36	0,08	0,25	16	4,8	1,01	0,47	0,20	0,31	16
STP ₄ C ₁	5,4	1,18	0,38	0,07	0,25	13	5,0	1,20	0,47	0,14	0,27	13
STP ₅ C ₁	5,3	1,86	0,40	0,07	0,16	6	5,4	1,71	1,23	0,24	0,18	5
STP ₁ C ₂	5,5	1,62	1,14	0,06	0,16	5	5,1	1,77	1,21	0,21	0,20	6
STP ₂ C ₂	5,6	1,67	0,96	0,06	0,16	6	5,2	1,77	1,10	0,21	0,16	5
STP ₃ C ₂	5,6	1,84	0,95	0,06	0,15	5	5,3	1,95	1,17	0,17	0,18	5
<u>Testemunha</u>												
STP ₄ C ₂	5,6	2,21	1,00	0,06	0,11	3	4,7	0,61	0,50	0,27	0,38	22
STP ₅ C ₂	5,6	2,91	1,03	0,07	0,14	3	5,2	1,70	1,23	0,27	0,16	5
STP ₅ C ₁ +M ^{c/}	5,3	1,80	0,41	0,07	0,22	9	5,6	1,80	0,41	0,07	0,13	5

a/ Dados médios de 3 repetições.

b/ Combinação fonte x dose de P x dose de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas em 3.2.2.

c/ Tratamentos extras no 1º cultivo e que receberam dose de manutenção de 80 Kg de P₂O₅/ha no 2º cultivo, como superfosfato triplo.

dose maior de fósforo, como já assinalado, que favoreceu o solo LV, evidenciando sua maior ação solubilizadora sobre este fertilizante, comprovando dados obtidos por GOEDERT (1983).

Considerando-se o efeito da calagem, a simples observação das Tabelas 24, 25 e 26 mostra a ausência de diferenças estatísticas entre níveis de calagem em ambas as fontes de P, em todas as doses do nutriente, para os parâmetros produção de matéria seca, fósforo e cálcio absorvidos pela planta. Contudo, verificaram-se diferenças significativas, favorecendo a dose maior de calcário nos tratamentos com as doses maiores de fósforo (incluindo-se o tratamento adicional com manutenção de P), na quantidade de magnésio absorvido pelo trigo (Tabela 27).

As análises de variância para os dados de produção de matéria seca, fósforo, cálcio e magnésio absorvidos pela planta, constam do APÊNDICE 8, comparando-se as médias como indicado anteriormente (4.1.1.1).

4.2. Eficiência relativa do fosfato Patos de Minas, em função do superfosfato triplo, em dois cultivos, nos solos LE e LV.

As figuras 1 e 2 mostram a eficiência relativa das fontes de fósforo, respectivamente, nos solos LE e LV, considerando-se o superfosfato triplo como padrão. Atribuiu-se o valor 100 à média do tratamento com produção máxima de matéria seca (M.S.) obtida com esta fonte, por solo e cultivo. (excetuando-se as médias dos tratamentos adicionais, no 2º cultivo, que apresentaram, assim, eficiências relativas superiores a 100%). As referidas figuras ilustram aspectos discutidos anteriormente, razão porque serão feitas breves observações complementares.

4.2.1. Solo LE.

Verifica-se, pela figura 1, em ambos os cultivos, que o fosfato Patos de Minas foi um material

praticamente inerte no solo LE, não respondendo significativamente nem ao fósforo, nem à calagem, em ambos os cultivos. Sua eficiência relativa máxima neste solo foi, aproximadamente, de 14%, alcançada no 1º cultivo, com a dose 4 de fósforo, no nível inferior de calagem. O efeito de teores elevados de alumínio trocável no solo (Tabela 15), na redução da produção de matéria seca do trigo no 2º cultivo (Tabela 16) é realçada, visualmente, pelas eficiências relativas muito baixas dos tratamentos com a dose menor de calcário e doses maiores de fósforo (como superfosfato triplo), nesse cultivo. Na dose mais elevada de fósforo, verificou-se, para esta fonte, acréscimo altamente significativo em sua eficiência relativa, confirmando resultados de MAGALHÃES et alii (1980).

A resposta à calagem, nos tratamentos com superfosfato triplo, foi relevante, particularmente no 2º cultivo, sendo marcante, também, as respostas a doses crescentes de fósforo (Figura 1).

4.2.2. Solo LV.

A eficiência relativa do fosfato Patos de Minas no solo LV (Figura 2) foi, de modo geral, superior à observada no solo LE, verificando-se também no primeiro solo, respostas a doses crescentes de fósforo, adicionado na forma deste fertilizante. Entretanto, foram pequenas as respostas à calagem, nos dois cultivos.

Como já assinalado (item 4.1.2.), a dose 5, equivalente a 1.600 kg de P_2O_5 /ha, proporcionou acréscimos expressivos na eficiência relativa deste fosfato natural, com diferença significativa em relação à testemunha, no 1º cultivo, quando associada à dose inferior de calcário. O efeito residual desta dose de fósforo foi acentuado, particularmente com a dose maior do corretivo, proporcionando uma eficiência relativa de aproximadamente 25%, que, embora não

Figura 1. Eficiência relativa das fontes de fósforo, superfosfato triplo e fosfato de Patos de Minas, adicionadas em doses crescentes do nutriente, ao solo LE, em dois cultivos de trigo, com dois níveis de calagem.

0, 1, 2, 3, 4, 5 e 5+M equivalem respectivamente a 0, 100, 200, 400, 800 1.600 e 1.600+ 80kg de P_2O_5 /ha.

Figura 2. Eficiência relativa das fontes de fósforo, super fosfato triplo e fوسفato Patos de Minas, adiciona das em doses crescentes do nutriente, ao solo LV, em dois cultivos de trigo, com dois níveis de calagem.

0, 1, 2, 3, 4, 5 e 5+M, equivalente respectivamente a 0, 100, 200, 400, 600, 1.600 e 1.600 + 80 kg de P_2O_5 /ha.

tenha diferido significativamente daquela pertinente à teste munha (ão nível $\alpha = 0,05$ de probabilidade, pelo teste de Tukey, figura 2), também não diferiu da alcançada com meta de da quantidade de fósforo (800 kg de P_2O_5 /ha), adicionado na forma de superfosfato triplo.

As respostas ao superfosfato triplo mostraram-se semelhantes nos dois solos, porém, no solo LV, as eficiências relativas no 2º cultivo (efeito residual), foram maiores que as correspondentes, no solo LE, particularmente com as doses mais elevadas do nutriente, no nível inferior de calagem.

Evidencia-se melhor, pois, pelas figuras 1 e 2 (respectivamente, solos LE e LV), o comportamento agrônômico mais eficiente do fosfato Patos de Minas no solo LV, cuja ação mais favorável na solubilização deste fertilizante foi amplamente discutida no item 4.1.2.

4.3. Relações entre os parâmetros produção de matéria seca e fósforo absorvido pelo trigo, por solo e cultivo.

A estreiteza da relação entre os parâmetros produção de matéria seca e fósforo absorvido pelo trigo é mostrada na Tabela 29, através de equações de regressões lineares entre estes parâmetros da planta. Observa-se que foram obtidos coeficientes de correlações lineares altamente significativos, mostrando que a produção de matéria seca foi altamente dependente do fósforo absorvido pela planta, em ambos os solos e cultivos. Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) variaram de 0,90 a 0,95 no solo LE e de 0,86 a 0,98 no solo LV, apresentando, portanto, valores extremos neste solo, com 98% da variação na produção de matéria seca explicada pela regressão linear no 2º cultivo, e apenas 86% no 1º cultivo.

TABELA 29. Equações de regressão e coeficientes de correlação lineares^{a/} entre os parâmetros produção de matéria seca (Y) e fósforo absorvido pela planta (X), determinados em cada solo e cultivo.

Solo	Cultivo	Equação de regressão linear	Coefic. de correlação(r)
LE	1º	$Y = 2,32 + 0,381 X$	$r = 0,948^{***}$
LE	2º	$Y = 1,045 + 0,517 X$	$r = 0,975^{***}$
LV	1º	$Y = 3,091 + 0,382 X$	$r = 0,930^{***}$
LV	2º	$Y = 0,78 + 0,777 X$	$r = 0,989^{***}$

^{a/} Determinados com base no nº total de observações, que foi de 60 para o 1º cultivo e 66 para o 2º cultivo (incluindo-se os tratamentos adicionais).

*** significativo a 0,1% de probabilidade.

4.4. Concentração de fósforo extraído pelos métodos de Mehlich, de Bray-1 e pela resina trocadora de íons, por solo e cultivo. Correlações entre o P extraído pelos referidos métodos.

4.4.1. Solo LE.

As tabelas 30 e 31 apresentam as concentrações de P extraído no solo LE pelos métodos supracitados, respectivamente, em amostras coletadas após o 1º e 2º cultivos. Os valores por cultivo e sua comparação entre cultivos, permitiram as seguintes observações:

a) nos tratamentos com superfosfato triplo, no 1º cultivo, (Tabela 30), a seqüência decrescente, quanto às concentrações de P extraído pelos diferentes métodos, foi a

TABELA 30. Fósforo extraído^{a/} pelos métodos Mehlich, Bray-1 e resina trocadora de íons, em amostras do solo L.E. coletadas após o 1º cultivo de trigo.

Tratamento ^{b/}	MÉTODOS		
	Mehlich	Bray-1	Resina Trocadora de íons
	ppm P		
STP ₁ C ₁	4,8	6,4	6,6
STP ₂ C ₁	7,4	11,0	11,9
STP ₃ C ₁	16,2	24,9	21,3
STP ₄ C ₁	37,1	63,2	43,5
STP ₅ C ₁	68,1	127,8	92,0
TEST. (Po)C ₁	2,0	2,3	3,3
STP ₁ C ₂	3,7	5,1	6,1
STP ₂ C ₂	11,4	10,6	10,8
STP ₃ C ₂	12,7	20,6	26,4
STP ₄ C ₂	38,1	49,2	45,4
STP ₅ C ₂	73,4	128,7	101,6
TEST. (Po)C ₂	1,7	2,3	3,4
PA-M P ₂ C ₁	21,4	3,8	7,3
PA-M P ₃ C ₁	50,1	5,0	11,1
PA-M P ₄ C ₁	126,7	7,5	16,7
PA-M P ₅ C ₁	194,5	12,0	31,2
PA-M P ₂ C ₂	21,3	2,6	7,1
PA-M P ₃ C ₂	42,9	2,3	10,8
PA-M P ₄ C ₂	95,9	2,7	19,9
PA-M P ₅ C ₂	240,7	2,9	33,6

^{a/} Os dados constituem a média de 3 repetições.

^{b/} Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2.

TABELA 31. Fósforo extraído^{a/} pelos métodos Mehlich, Bray-1 e Resina Trocadora de Íons, em amostras do solo L.E. coletadas após o 2º cultivo de trigo.

Tratamento ^{b/}	MÉTODOS		
	Mehlich	Bray-1	Resina Trocadora de Íons
	ppm P		
STP ₁ C ₁	3,8	7,2	4,4
STP ₂ C ₁	5,7	10,5	6,6
STP ₃ C ₁	11,9	22,3	14,7
STP ₄ C ₁	23,9	48,7	32,8
STP ₅ C ₁	57,6	107,4	73,8
TEST. (P ₀)C ₁	2,5	3,7	2,3
STP ₁ C ₂	3,2	5,4	4,1
STP ₂ C ₂	4,9	8,8	6,6
STP ₃ C ₂	9,3	17,7	11,2
STP ₄ C ₂	19,9	38,7	26,2
STP ₅ C ₂	49,8	94,3	66,6
TEST. (P ₀)C ₂	2,2	3,6	2,8
PA-M P ₂ C ₁	19,2	6,3	4,6
PA-M P ₃ C ₁	38,5	10,0	10,6
PA-M P ₄ C ₁	80,5	13,0	16,5
PA-M P ₅ C ₁	195,7	20,9	25,8
PA-M P ₂ C ₂	21,6	3,4	6,4
PA-M P ₃ C ₂	43,1	3,8	9,1
PA-M P ₄ C ₂	95,9	4,2	17,5
PA-M P ₅ C ₂	193,3	5,4	32,2
STP ₅ C ₁ +M ^{c/}	63,6	113,0	59,3
STP ₅ C ₂ +M ^{c/}	52,5	102,7	77,6

a/ Os dados constituem a média de 3 repetições.

b/ Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2.

c/ Tratamentos adicionais, incluídos no 2º cultivo.

seguinte: Bray-1 > resina > Mehlich, em ambos os níveis de calagem, embora tenha havido uma equivalência entre teores de P extraído, nas doses baixas de P adicionado, entre os métodos de Bray-1 e resina;

b) nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas a ordem foi: Mehlich > resina > Bray-1;

c) na testemunha: resina > Bray-1 > Mehlich.

No segundo cultivo, as tendências nas concentrações de P extraído pelos diferentes métodos, foi a mesma. Contudo, nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas, nas doses baixas de calcário e fósforo, observou-se uma tendência de extração de quantidades equivalentes pelos métodos de Bray-1 e resina (Tabela 31). Em relação ao fósforo nativo no solo, verificou-se que, com o acréscimo do tempo de incubação, houve uma pequena alteração na sequência de extração pelos métodos, em relação àquela constatada no primeiro cultivo, passando o Bray-1 a extrair mais fósforo, seguido da resina e por último o Mehlich, embora com pequenas diferenças entre os mesmos. Decréscimos na quantidade de P extraído pela resina, com o tempo de incubação, foram mostrados por ZUNINO et alii (1973). BAHIA FILHO e BRAGA (1975) mostraram que o método de Bray-1 revelou capacidade de extração de P mais elevada que o de Mehlich, Olsen e IAC em 20 amostras de solos nativos (latossolos), de Minas Gerais.

A observação dos dados das tabelas 30 e 31 (respectivamente 1º e 2º cultivos) mostra que a calagem não afetou, de um modo geral, a concentração de fósforo extraído pelos três métodos, nos tratamentos com superfosfato triplo. Houve uma ligeira tendência para maior extração pelos métodos de Bray-1 e Mehlich, no 2º cultivo, nos tratamentos com a dose inferior de calcário e doses maiores de P

adicionado. Em relação ao fosfato Patos de Minas, observa-se que, nos dois cultivos, o teor de fósforo extraído pelo método de Bray-1 foi maior no nível inferior de calagem, com todas as doses de fósforo adicionado. Já pelo método de Mehlich, as quantidades de P extraído foram semelhantes nos dois níveis de calagem, em ambos os cultivos, constatando-se uma tendência um tanto errática no 1º cultivo, com as doses maiores de P adicionado (Tabela 30). Não se verificaram diferenças entre níveis de calagem, quanto ao fósforo extraído pela resina trocadora de íons, nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas nas amostragens efetuadas após cada cultivo, em solo LE (Tabelas 30 e 31, respectivamente 1º e 2º cultivos).

As quantidades elevadas de fósforo extraído pelo método de Mehlich, em solos adubados com fosfatos naturais, já foram objeto de consideração neste trabalho e confirmam inúmeros resultados de pesquisa' (GOEPFERT et alii, 1976; KORNDOFFER, 1978; RAIJ, 1978; SFREDO et alii, 1979). Os teores mais elevados de fósforo extraído pelo método de Bray-1, na dose inferior do corretivo, concordam com os resultados obtidos por JUO e KANG (1979). Estes autores verificaram que, em dois solos adubados com três fosfatos naturais e após duas semanas de incubação, a um teor de umidade equivalente à capacidade de campo, os valores de P extraído pelo método de Bray-1 foram mais elevados nos tratamentos sem calagem, do que naqueles que receberam calcário. Eles explicaram este fato da seguinte forma: 1) o fosfato natural torna-se menos solúvel em condições de pH mais elevado; 2) a neutralização do alumínio solúvel e trocável, pela calagem, evitaria a precipitação do fosfato de alumínio, que é mais solúvel no extrator Bray-1 (meio ácido).

No presente trabalho, particularmente no solo LE, devido aos teores elevados de alumínio trocável presente

no solo, nos tratamentos com a dose inferior do corretivo, em amostras coletadas após o 1º e 2º cultivos (respectivamente Tabela 15 e Apêndice 9) a hipótese 2) de JUO e KANG (1979) supracitada, talvez explique melhor a maior quantidade de P extraído pelo método de Bray-1 nos aludidos tratamentos, pois foi pequeno o efeito da acidez, neste solo, na solubilização do fosfato Patos de Minas, como discutido em itens anteriores (4.1.1.1., 4.1.1.2 e 4.2.1.). Entretanto, esta maior extração de P pelo método de Bray-1, em presença da dose inferior de calcário, não se refletiu em diferenças sinificativas na produção de matéria seca e P absorvido pelo trigo, nos dois cultivos, em solo LE (respectivamente Tabelas 11 e 12, 1º cultivo; 16 e 17, 2º cultivo). SMYTH (1981) observou que, embora os teores de P extraído pelo método de Bray-1, "disponíveis" para o 2º cultivo de soja em um LV sob cerrado, análogo ao utilizado neste trabalho, sugerissem uma maior disponibilidade de fósforo na dose baixa de calcário, isto não se refletiu na produção e teores de P nas plantas de soja, que apresentaram valores semelhantes em ambos os níveis de calagem.

4.4.2. Solo LV.

Os teores de P extraído pelos diferentes métodos no solo LV encontram-se nas Tabelas 32 e 33 (respectivamente, em amostragens após o 1º e 2º cultivos). Considerando-se o superfosfato triplo, a ordem decrescente dos valores de P extraído foi: resina > Bray-1 > Mehlich, em ambos os cultivos. Observa-se, pois, comparando os teores de fósforo extraído dos tratamentos com superfosfato triplo nos dois solos, ter havido uma alteração, passando a resina a extrair mais fósforo no solo LV, ao contrário do ocorrido no solo LE, quando o Bray-1 foi o método de maior capacidade de extração. Nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas, a ordem de extração de fósforo para os diferentes métodos foi

TABELA 32. Fósforo extraído^{a/} pelos métodos Mehlich, Bray-1 e Resina Trocadora de íons, em amostras do solo L.V. coletadas após o 1º cultivo de trigo.

Tratamento ^{b/}	MÉTODOS		
	Mehlich	Bray-1	Resina Trocadora de íons
	ppm P		
STP ₁ C ₁	0,9	1,6	8,8
STP ₂ C ₁	1,4	3,2	10,5
STP ₃ C ₁	3,2	5,7	20,0
STP ₄ C ₁	7,5	18,7	34,8
STP ₅ C ₁	23,0	42,6	75,5
TEST. (P ₀)C ₁	0,5	0,4	2,9
STP ₁ C ₂	0,9	2,2	6,2
STP ₂ C ₂	1,9	6,4	9,1
STP ₃ C ₂	4,0	12,3	17,3
STP ₄ C ₂	8,8	18,7	45,7
STP ₅ C ₂	23,9	52,0	79,2
TEST. (P ₀)C ₂	0,5	0,6	2,8
PA-M P ₂ C ₁	7,9	1,1	8,5
PA-M P ₃ C ₁	17,0	1,5	12,6
PA-M P ₄ C ₁	43,0	3,0	20,1
PA-M P ₅ C ₁	127,8	4,4	40,6
PA-M P ₂ C ₂	9,6	1,4	9,4
PA-M P ₃ C ₂	18,7	1,3	17,3
PA-M P ₄ C ₂	64,3	3,2	26,3
PA-M P ₅ C ₂	153,5	4,0	42,4

^{a/} Os dados constituem a média de 3 repetições.

^{b/} Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário, indicadas no item 3.2.2.

TABELA 33. Fósforo extraído^{a/} pelos métodos Mehlich, Bray-1 e Resina Trocadora de Íons, em amostras do solo L.V. coletadas após o 2º cultivo de trigo.

Tratamento ^{b/}	MÉTODOS		
	Mehlich	Bray-1	Resina Trocadora de Íons
	ppm P		
STP ₁ C ₁	0,9	1,8	3,6
STP ₂ C ₁	1,0	3,1	4,1
STP ₃ C ₁	2,2	6,6	9,4
STP ₄ C ₁	5,3	14,6	20,0
STP ₅ C ₁	14,3	36,4	44,1
TEST. (P ₀)C ₁	0,6	1,0	2,1
STP ₁ C ₂	0,6	2,0	3,3
STP ₂ C ₂	1,3	2,8	4,1
STP ₃ C ₂	2,3	5,1	7,0
STP ₄ C ₂	4,9	13,6	22,0
STP ₅ C ₂	12,5	34,2	46,2
TEST. (P ₀)C ₂	0,3	1,1	1,6
PA-M P ₂ C ₁	6,7	2,4	4,6
PA-M P ₃ C ₁	17,0	3,8	6,6
PA-M P ₄ C ₁	39,9	6,8	13,3
PA-M P ₅ C ₁	109,3	9,8	28,2
PA-M P ₂ C ₂	6,0	1,5	4,9
PA-M P ₃ C ₂	12,6	2,9	7,1
PA-M P ₄ C ₂	45,4	4,5	14,3
PA-M P ₅ C ₂	127,1	5,6	31,6
STP ₅ C ₁ + M ^{c/}	13,4	39,4	47,8
STP ₅ C ₂ + M ^{c/}	13,5	37,0	37,3

^{a/} Os dados constituem a média de 3 repetições.

^{b/} Combinação fontes e doses de fósforo, com doses de calcário. Símbolos e doses de fósforos, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas no item 3.2.2.

^{c/} Tratamentos adicionais, incluídos no 2º cultivo.

idêntica àquela observada no solo LE, ou seja, Mehlich > resina > Bray-1. Entretanto, no 1º cultivo, nos tratamentos com esta fonte e nas doses baixas de fósforo adicionado, houve tendência à extração de quantidades equivalentes de P pelos métodos da resina e Mehlich (Tabela 32).

SMYTH (1981) verificou, em condições de campo no solo LV, quantidades de P extraído semelhantes, embora ligeiramente mais elevadas para o método de Bray-1, em relação à resina trocadora de ânions, nos tratamentos com superfosfato simples, o mesmo ocorrendo com o fosfato Patos de Minas, até cerca de 13 meses após a incubação, quando se verificaram a crêscimos na quantidade de P extraído desta fonte, pela resina trocadora de ânions, nas doses maiores de P adicionado. Segundo estes autores, os acrêscimos no P extraído pela resina, nos tratamentos com o fosfato natural, após o mencionado período de incubação do fertilizante com o solo, refletiriam os produtos de acidulação deste material, em seguida à reincorporação do P inicialmente aplicado a laço.

Entretanto, no presente trabalho, apesar do manuseio da terra entre os cultivos, descrito no capítulo 3 (item 3.2.1.), os teores de fósforo extraído pela resina foram menores na amostragem pós-2º cultivo, comparados àqueles determinados pós-1º cultivo (respectivamente Tabelas 33 e 32), permanecendo contudo, mais elevados que os extraídos pelo método de Bray-1, em todos os tratamentos com fósforo.

Em relação ao efeito da calagem, foram observadas diferenças consistentes (favoráveis aos tratamentos com a dose inferior do corretivo), no teor de fósforo extraído pelo método de Bray-1, na amostragem após o 2º cultivo, nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas, possivelmente em consequência dos teores mais elevados de alumínio trocável no solo, nestes tratamentos (APÊNDICE 10), conforme sugerido por JUO e KANG (1979), anteriormente mencionados.

Verifica-se, aliás, que os teores de P extraído pelo método de Bray-1 aumentaram do primeiro para o segundo cultivo, nos solos LV e LE (respectivamente: Tabelas 30, 31; 32 e 33) nos tratamentos com esse fertilizante, principalmente com a dose inferior do corretivo. Entretanto, estes teores mais elevados de P extraído, não corresponderam a acréscimos na produção de matéria seca e fósforo absorvido pelo trigo, no 2º cultivo, em solo LV (respectivamente Tabelas 24 e 25), embora, nas doses mais elevadas de fósforo, os valores destes parâmetros da planta tenham sido equivalentes aos obtidos no 1º cultivo (Tabelas 20 e 21, respectivamente para produção de matéria seca e fósforo absorvido pelo trigo). Estes resultados concordam com a observação de SMYTH (1981) já comentada (item 4.4.1.) e parecem ajustar-se à hipótese formulada por CHIEN (1978), de que o Bray-1 pode extrair fósforo, em solos tratados com fosfatos naturais, dos produtos da reação destes materiais com o solo (presumivelmente fosfatos de alumínio) e de porções destes fertilizantes que não reagiram com o solo.

Os teores de P extraído pelos métodos de Mehlich, resina trocadora de íons e Bray-1, nos tratamentos com superfosfato triplo, sofreram, de modo quase global, um decréscimo entre as amostragens, nos solos LE e LV (Tabelas 30 e 31, solo LE; 32 e 33, solo LV). A elevada capacidade de retenção de fósforo destes solos (MAGALHÃES, 1974a; YOST et alii 1981; SMYTH e SANCHEZ, 1982a; GOEDERT, 1983) acrescida da absorção de fósforo pelas plantas (2º cultivo), nos tratamentos com doses elevadas de fósforo (Tabelas 17 e 25, respectivamente para os solos LE e LV) pode explicar o decréscimo nos teores de P extraído pelos citados métodos, nos tratamentos com esta fonte de P. O decréscimo nos teores de P extraído pelos métodos de Mehlich e resina trocadora de íons, quando o nutriente foi adicionado na forma de fosfato Patos de Minas, foi relevante apenas no solo LV e ,

particularmente, para a resina trocadora de íons. Este resultado concorda com o observado por SMYTH (1981), que verificou valores crescentes de fósforo extraído pela resina, até 43 dias de incubação, em laboratório, dos fosfatos naturais de Carolina do Norte e Patos de Minas, em sete solos coletados na região sob vegetação de cerrados do Brasil Central. Após este período, os teores de P extraído pela resina de cresceram. Este autor menciona dados obtidos por REINHORN e HAGIN (1979), que mostram decréscimos com o tempo, nos níveis de P extraído por uma resina trocadora de ânions (de um solo ácido, pH = 4,6, incubado com fosfato natural), nas misturas fosfato natural-solo-resina, sugerindo, para estes autores, a ocorrência de uma reação secundária entre o solo e o fósforo liberado do fosfato natural. Observa-se, aliás, que o decréscimo nos teores de P extraído pela resina trocadora de íons, no solo LV, nas amostragens pós-cultivos, refletiu-se, de modo geral, na redução da produção de matéria seca e quantidade de fósforo absorvido pelo trigo (respectivamente: Tabelas 20, 21, 24 e 25, para 1º e 2º cultivos).

Considerando-se os teores de fósforo nativo no solo, constata-se que a resina trocadora de íons mostrou maior capacidade de extração nos dois cultivos. O Bray-1 e o Mehlich equivaleram-se nas quantidades extraídas na amostragem após o 1º cultivo (Tabela 32), porém houve tendência para o método de Bray-1 extrair mais fósforo na amostragem após o 2º cultivo (Tabela 33). Para BIASI (1978), em solos nativos ácidos, o extrator Mehlich apresenta maior correlação com as formas de fósforo ligadas ao alumínio e ao cálcio (P-Al e P-Ca) enquanto o Bray-1 correlaciona-se mais com o P-Al, opinião concordante com a de BAHIA FILHO e BRAGA (1975), que acrescentam ter este extrator removido também, uma reduzida parte da forma P-Fe, o que possivelmente explicaria a pequena diferença observada nesta última amostragem.

4.4.3. Correlações entre o P extraído pelos métodos de Mehlich, Bray-1 e resina trocadora de íons.

A Tabela 34 mostra os coeficientes de correlação entre os teores de P extraído pelos métodos de Bray-1, Mehlich e resina trocadora de íons, por cultivo (independente de solo) e por solo (independente do nível de calagem e fonte de fósforo). Observam-se valores elevados e significativos a 1% de probabilidade para a correlação Bray-1 x resina em todas as situações. As correlações entre os métodos de Mehlich e resina foram também altamente significativas (exceto para o 1º cultivo, em solo LE, com coeficiente de correlação significativo a 5% de probabilidade), porém os valores de r foram muito inferiores aos obtidos para a correlação Bray-1 x resina. Finalmente, não se verificaram correlações significativas, em qualquer situação, entre os métodos de Mehlich e Bray-1.

A ausência de correlação significativa entre os teores de P extraído pelos métodos de Mehlich e Bray-1 contraria resultados de trabalhos na literatura científica, que estudaram, principalmente, a extração de P por estes métodos em solos adubados com fontes solúveis de P (WELCH et alii, 1957 e FONSECA et alii, 1968, citados por BIASI, 1978; BAHIA FILHO e BRAGA, 1975). BAHIA FILHO e BRAGA (1975) mostraram uma correlação altamente significativa entre os métodos de Mehlich e Bray-1, comprovando ser a mesma devida à extração preferencial da forma de fósforo ligado ao alumínio (P-Al). Contudo, em solos adubados com fosfatos naturais, o comportamento destes extratores tem sido bem distinto. Assim, o método de Mehlich extrai grandes quantidades de fósforo de parcelas adubadas com fosfato natural (SFREDO et alii, 1979) conduzindo, em alguns casos, à ausência de correlações significativas com a absorção de fósforo pela planta, face à sua capacidade de dissolução de apatitas que não reagiram

TABELA 34. Coeficientes de correlação entre os teores de P extraído pelos métodos de Bray-1, Mehlich e Resina Trocadora de Íons, por cultivo (independente de solo), e por solo, em cada cultivo.

Natureza da Correlação	Coeficientes de Correlação entre Métodos		
	Mehlich x Bray-1	Mehlich x Resina	Bray-1 x Resina
<u>Por cultivo</u>			
1º	0,081 n.s.	0,312**	0,862**
2º	0,148 n.s.	0,362**	0,904**
<u>Por solo</u>			
LE 1º cultivo	0,035 n.s.	0,297*	0,954**
LE 2º cultivo	0,086 n.s.	0,327**	0,945**
LV 1º cultivo	-0,048 n.s.	0,356**	0,881**
LV 2º cultivo	-0,016 n.s.	0,350**	0,911**

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade

n.s. não significativo.

com o solo, conforme KORNDÖRFER (1978). Já o método de Bray-1 tem mostrado ser adequado para estimar o fósforo extraível nestas condições, como comprovado em trabalhos anteriormente citados (SMYTH et alii, 1957; CHIEN, 1978; RAIJ e DIEST, 1980; SYERS et alii, 1981; YOST et alii, 1982; SANCHEZ e SMYTH, 1982b; KAMINSKI, 1983). Este último autor sugeriu que os coeficientes de correlação obtidos entre as quantidades de fósforo extraído pelos métodos de Bray-1, Mehlich e EDTA, de solos adubados com fontes de P de diferentes solubilidades, permitem inferir que as formas dissolvidas são semelhantes, porém não proporcionais.

Correlações significativas foram, também, obtidas entre os métodos de Mehlich e resina trocadora de íons, embora com valores muito inferiores aos obtidos para a correlação entre este último método e o de Bray-1 (Tabela 34). BIASI (1978) sumarizou resultados de vários trabalhos, mostrando os coeficientes de correlação que se apresentaram significativos, em relação a solos grupados de acordo com a forma de fosfato predominante nos mesmos. Enquanto o método de Bray-1 apresentou maior relação em solos ácidos adubados, com a forma P-Al, seguida de P solúvel, P-Fe e P-Ca, o de Mehlich, com as formas P-Al e após, P-Ca, P-Fe e P-solúvel, a resina trocadora de íons mostrou tendência para relações com as três formas ativas de fosfatos, considerando-se resultados obtidos em solos neutros e alcalinos. Em Latossolo Vermelho Escuro sob cerrado, semelhante ao utilizado neste trabalho, YOST (1977) encontrou correlações significativas ao nível de 1% de probabilidade entre o P extraído pelo método de Mehlich e as formas de P inorgânico: P solúvel, P-Al, P-Fe e P-Ca.

Para BACHE e ROGERS (1970), o fósforo extraído pela resina é um parâmetro composto, refletindo os fatores quantidade e intensidade em proporção semelhante,

confirmando sugestões de GUNARY e SUTTON (1967). As correlações significativas encontradas no presente trabalho, entre os teores de fósforo extraído pelos métodos de Mehlich e resina trocadora de íons, concordam com as obtidas por KAMINSKI (1983), que encontrou um valor de $r = 0,34^{**}$ na correlação geral entre o P extraído pelos referidos métodos, valor bem semelhante ao mostrado nas diversas correlações entre estes extratores, constantes da tabela 34. É provável, pois, que ambos os métodos dissolvam formas semelhantes de fósforo no solo, embora estas não sejam proporcionais. Este autor menciona que os extratores ácidos, como o Mehlich, teriam a propriedade de solubilizar os fosfatos básicos do solo, apatitas, existentes ou adicionadas, superestimando o fósforo disponível. Este fato explicaria a ausência de correlação significativa entre o fósforo absorvido pelo trigo e os teores de P extraído pelo método de Mehlich, ao contrário do ocorrido para a resina trocadora de íons, como é mostrado adiante, neste trabalho (Tabelas 35 e 36).

Os valores dos coeficientes de correlação linear altamente significativos, existentes entre os métodos de Bray-1 e resina trocadora de íons, permitem supor que eles extraíam formas semelhantes e em quantidades proporcionais, de P solúvel, dos solos utilizados. AHMED e ISLAM (1975) afirmaram que, em geral, quanto maior for a equivalência entre dois extratores, em sua seletividade de dissolução de frações inorgânicas de fósforo do solo, maior será a correlação entre eles, em relação ao fósforo extraível; quanto menor a similaridade, menor será o valor do coeficiente de correlação entre os mesmos. Entretanto, estes autores mostraram que, enquanto os métodos de Bray-1, Bray-2 e Na_2EDTA dissolveram, preferentemente, o fósforo ligado ao alumínio, seguido do ligado ao cálcio, a resina trocadora de ânions e o extrator 0,01 M CaCl_2 , não mostraram seletividade para a dissolução de determinada forma de fósforo inorgânico. Os

resultados encontrados no presente trabalho concordam com os obtidos por KAMINSKI (1983), que mostraram coeficientes de correlações elevados entre o P extraído pelos métodos de Bray-1 e resina trocadora de íons, em solos adubados com fontes fosfatadas de diferentes graus de solubilidade.

4.5. Equações de regressão entre o fósforo absorvido pela planta nos dois cultivos de trigo e o fósforo extraído pelos métodos de Mehlich, de Bray-1 e pela resina trocadora de íons, em amostras de solo coletadas a pós cada cultivo de trigo.

Abordar-se-ão, neste item, as regressões estabelecidas entre o parâmetro fósforo absorvido pela planta e os teores deste elemento no solo, pelos três métodos de extração estudados. Serão considerados em cada cultivo:

a) Equações de regressão múltiplas, em que a variável dependente (fósforo absorvido pela planta, $\underline{Y}$) é função do fósforo extraído por cada método, do solo e do nível de calagem (variáveis independentes, $\underline{X}$);

b) equações de regressão de caráter geral, estabelecidas em função daquelas explícitas em a), em que a variável dependente, fósforo absorvido pela planta ($\underline{Y}$) é relacionada ao fósforo no solo extraído por cada método ($\underline{X}$), considerando-se: 1) uma condição mais ampla onde $\underline{Y}$ relaciona-se a $\underline{X}$, independente do tipo de solo, fonte de fósforo e nível de calagem; 2) uma mais restrita, em alguns casos, em que a inter-relação entre as variáveis depende do solo ou da fonte de fósforo. Foram consideradas as seguintes regressões, apresentadas na forma de gráficos, exceto aquelas pertinentes ao método de Mehlich. (Apresentadas, a seguir, na forma de Tabela).

b_1) entre o fósforo absorvido pelo trigo no

1º cultivo ($Pabs_1$) e aquele extraído pelos métodos de Mehlich, Bray-1 e resina trocadora de íons em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o 1º cultivo (respectivamente: $Pabs_1 \times PMehl_1$, $Pabs_1 \times P\text{-}Bray-1_1$ e $Pabs_1 \times Pres_1$).

b_2) entre o fósforo absorvido pelo trigo no 2º cultivo ($Pabs_2$) e aquele extraído pelos diferentes métodos, em amostras de solo coletadas após o 1º cultivo de trigo ($Pabs_2 \times PMehl_1$, $Pabs_2 \times P\text{-}Bray-1_1$ e $Pabs_2 \times Pres_1$).

b_3) entre o fósforo absorvido pelo trigo no 2º cultivo e aquele extraído pelos diferentes métodos, em amostras de solo coletadas após o 2º cultivo de trigo ($Pabs_2 \times PMehl_2$, $Pabs_2 \times P\text{-}Bray-1_2$ e $Pabs_2 \times Pres_2$).

As equações supra-indicadas, exceto as descritas em a) foram determinadas, conforme os modelos matemáticos linear, da raiz quadrada e quadrático, selecionando-se a quele, que proporcionou, em cada caso, o melhor ajuste dos pontos. Para as regressões que envolveram dados referentes ao 2º cultivo, não foram considerados aqueles obtidos nos tratamentos adicionais. O número total de observações, considerando-se ambos os solos, foi de 119 no primeiro cultivo (foi excluído um par de variáveis, devido a um valor de fósforo absorvido, considerado discrepante) e 120 no segundo cultivo.

4.5.1. Equações de Regressão Linear Múltipla.

Estas equações constam da Tabela 35. observam-se aspectos importantes que devem ser ressaltados:

a) os métodos de Bray-1 e resina trocadora de íons foram equivalentes na predição do comportamento do fósforo absorvido pelo trigo, em função das variáveis independentes consideradas. A resina superou ligeiramente o Bray-1, quando se correlacionou a absorção de fósforo no 2º cultivo,

TABELA 35. Equações de regressão linear múltipla, entre as quantidades de fósforo absorvido no 1º e 2º cultivos (respectivamente $Pabs_1$ e $Pabs_2$) como variável dependente, relacionada a: teores de fósforo no solo, extraídos pelos métodos de Mehlich, de Bray-1 e pela resina trocadora de íons (em a mostras coletadas após cada cultivo); ao solo, e a níveis de calagem (cal.), como variáveis independentes.

Parâmetros Correlacionados	Equação de regressão	R ²
$\frac{a}{Pabs_1} \times PMEHL_1$	$Y = 15,95 - 0,0665 PMEHL_1 - 1,427 \text{ solo} + 4,964 \text{ cal.}$	0,04
$\frac{a}{Pabs_1} \times PBRAY-1_1$	$Y = -11,85^* + 0,557^{**} PBRAY-1 + 8,895^{**} \text{ solo} + 5,165^* \text{ cal.}$	0,64
$\frac{a}{Pabs_1} \times PRES_1$	$Y = -3,30 + 0,636^{**} PRES. + 0,886 \text{ solo} + 3,260 \text{ cal.}$	0,61
$\frac{b}{Pabs_2} \times PMEHL_1$	$Y = 0,29 + 0,0107 PMEHL_1 - 0,478 \text{ solo} + 2,653^* \text{ cal.}$	0,04
$\frac{b}{Pabs_2} \times PBRAY-1_1$	$Y = -7,73^{**} + 0,215^{**} PBRAY-1 + 2,516^{**} \text{ solo} + 2,871^{**} \text{ cal.}$	0,74
$\frac{b}{Pabs_2} \times PRES_1$	$Y = -5,08^{**} + 0,259^{**} PRES. - 0,463 \text{ solo} + 2,202^* \text{ cal.}$	0,79
$\frac{b}{Pabs_2} \times PMEHL_2$	$Y = 0,85 + 0,00382 PMEHL_1 - 0,683 \text{ solo} + 2,685^* \text{ cal.}$	0,04
$\frac{b}{Pabs_2} \times PBRAY-1_2$	$Y = -10,54^{**} + 0,282^{**} PBRAY-1 + 3,106^{**} \text{ solo} + 3,780^{**} \text{ cal.}$	0,72
$\frac{b}{Pabs_2} \times PRES_2$	$Y = -7,28^{**} + 0,352^{**} PRES. + 0,924 \text{ solo} + 2,751^{**} \text{ cal.}$	0,69

*Significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade.

Os valores das interseções e dos coeficientes das variáveis independentes, sem asteriscos, não são significativos.

$\frac{a}{\text{Índice 1}}$ = 1º cultivo; $\frac{b}{\text{Índice 2}}$ = 2º cultivo.

gom os teores de P no solo extraídos após a colheita do 1º cultivo (valores do coeficiente de determinação, R^2 , iguais, respectivamente a 0,79 e 0,74). Nas demais regressões, o método de Bray-1 mostrou-se superior, porém foram também pequenas as diferenças.

b) os valores da variável dependente, quando relacionados ao fósforo extraído pela resina trocadora de íons, não foram influenciados pelo tipo de solo, embora tenham sido afetados pelo nível de calagem, exceto na primeira correlação ($Pabs_1 \times Pres_1$). Já aqueles em função do método de Bray-1 mostraram-se altamente dependentes do tipo de solo e também do nível de calagem (na regressão $Pabs_1 \times PBray-1_1$, o coeficiente do termo relativo a calcário, foi significativo apenas a 5% de probabilidade).

c) quando se correlacionou o fósforo absorvido pelo trigo, com aquele extraído pelo método de Mehlich, obteve-se, em todas as situações, um valor para o R^2 praticamente nulo ($R^2 = 0,04$), comprovando a ausência de correlação significativa, embora as regressões múltiplas estabelecidas não tenham mostrado dependência à calagem e ao tipo de solo. Estes resultados confirmam a inadaptabilidade do método de Mehlich, em solos adubados com fontes fosfatadas de diferentes solubilidades (KORNDÖRFER, 1978; RAIJ, 1978; SFREDO et alii, 1979; SCHOLLES et alii, 1981).

A dependência do tipo de solo verificada nas regressões entre o fósforo absorvido pelo trigo e os teores de P extraído pelo método de Bray-1, conflita com os resultados obtidos por KAMINSKI (1983), que mostraram ser a estimativa do fósforo "disponível" por este método, pelo de Olsen, pela resina de troca aniônica e pelo NaOH 0,1N, independentes do tipo de solo e do fertilizante fosfatado utilizado. Verificou-se, pela Tabela 35, que há concordância entre os resultados deste e daquele trabalho, apenas quanto ao

método da resina trocadora de íons.

4.5.2. Equações de Regressão de Caráter Geral.

4.5.2.1. Equações de regressão entre o fósforo absorvido pelo trigo no 1º cultivo e o extraído pelo método de Mehlich, após cada cultivo.

Apesar da não significância dos coeficientes do termo PMehl, em todas as equações de regressão linear múltipla constantes da Tabela 35, estabeleceram-se as equações de regressão para o método de Mehlich (descritas em 4.5.b), as quais se encontram na Tabela 36. Embora sejam significativos os coeficientes dos termos linear e da raiz quadrada, os coeficientes de determinação, calculados para as três correlações indicam ajustes muito baixos para as respectivas equações, confirmando aqueles assinalados na Tabela 35.

TABELA 36. Equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2) entre os parâmetros fósforo absorvido no 1º e 2º cultivos ($Pabs_1$ e $Pabs_2$) e o fósforo extraído pelo método de Mehlich em amostras coletadas após o 1º e 2º cultivos ($PMehl_1$ e $PMehl_2$).

Parâmetros correlacionados	Equação de regressão	R^2
$Pabs_1 \times PMehl_1$	$Y = 9,37 + 4,8631^{**}X^{1/2} - 0,382^{**}X$	0,10
$Pabs_2 \times PMehl_1$	$Y = -2,54 + 2,4929^{**}X^{1/2} - 0,151^{**}X$	0,15
$Pabs_2 \times PMehl_2$	$Y = -1,50 + 2,4296^{**}X^{1/2} - 0,165^{**}X$	0,12

** significativo a 1% de probabilidade.

4.5.2.2. Equações de regressão entre o fósforo absorvido pelo trigo no 1º cultivo e o extraído pelo método de Bray-1 em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o 1º cultivo ($Pabs_1$ x $PBray-1_1$).

As figuras 3, 4 e 5 mostram equações ajustadas para a regressão entre o parâmetro da planta em estudo e os teores de P extraído pelo método de Bray-1, em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o primeiro cultivo de trigo. Pelos dados da Tabela 35 constatou-se que os teores de P extraído por este método foram altamente dependentes do tipo de solo, constituindo-se, aparentemente, numa desvantagem, que lhe é inerente.

Diversos trabalhos têm mostrado a adaptação do método de Bray-1 na avaliação do fósforo extraível, em solos adubados com fosfatos naturais e fontes solúveis de P (SMITH et alii, 1957; CHIEN, 1978; SYERS et alii, 1981; KAMINSKI, 1983). Contudo, este método não possibilitou a obtenção de um valor único que predissesse o máximo de produção de matéria seca para todas as fontes de fósforo (JUO e KANG, 1979). Resultado semelhante foi encontrado por YOST et alii (1982), que não encontraram uma curva única, relacionando a produção relativa com valores de fósforo extraído (pelos métodos de Bray-1, Mehlich e Olsen), para todas as fontes do nutriente. Esta opinião contraria a de SANCHEZ e SMYTH (1982b), os quais admitiram que as interpretações de análises do solo baseadas no fósforo extraído pelos métodos de Olsen, Bray-1 e resina trocadora de íons, não exige conhecimento prévio da forma de P aplicado ao solo, concordando com resultados obtidos por SYERS et alii (1981), que mostraram ter o método de Bray-1 produzido a melhor estimativa da eficiência dos fosfatos naturais em três solos da Nova Zelândia.

Considerando-se os resultados, até certo ponto contraditórios, encontrados na literatura e a dependência do tipo de solo nos resultados mostrados na Tabela 35, decidiu-se determinar três equações de regressão entre o fósforo absorvido pela planta e o teor de fósforo extraído pelo método de Bray-1. A figura 3 mostra esta relação, obtida

Figura 3. Fósforo extraído pelo método Bray-1 em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o 1º cultivo de trigo.

Figura 4. Fósforo extraído pelo método Bray-1, em amostras de solo LE, coletadas após o 1º cultivo de trigo.

Figura 5. Fósforo extraído pelo método Bray-1, em amostras de solo LV, coletadas após o 1º cultivo de trigo.

levando-se em conta os valores de todas as observações (119), no conjunto dos dois solos. Nela, como em todas as demais figuras, os pontos representam valores médios de cada tratamento com fósforo. O coeficiente de determinação encontrado ($R^2 = 0,78$) traduz um ajuste razoável dos pontos ao modelo da raiz quadrada, que explica 78% da variação experimental. Nota-se, entretanto, observando-se com atenção a referida figura, que os pontos representativos dos dois solos distribuíram-se segundo faixas distintas ao longo da curva, com os pertinentes ao solo LV tendendo a situarem-se acima e aqueles relativos ao solo LE, abaixo da mesma. Esta observação confirma a influência do tipo de solo nos teores de P extraído pelo Bray-1 (Tabela 35), o que fica bem evidenciado nas figuras 4 e 5, que mostram as equações de regressão entre os parâmetros em pauta, respectivamente, para os solos LE e LV, verificando-se que, em ambos os solos, houve um bom ajuste ao modelo da raiz quadrada, com um valor de R^2 igual a 0,88, superior, portanto, ao obtido quando os solos foram agrupados (Figura 3).

4.5.2.3. Equações de regressão entre o fósforo absorvido pelo trigo no 1º cultivo e o extraído pela resina trocadora de íons, em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o 1º cultivo ($P_{abs_1} \times P_{res_1}$).

A figura 6 apresenta dois conjuntos de pontos bem distintos, correspondendo, cada um, à determinada fonte de fósforo, ao contrário do mostrado na figura 3, com o método de Bray-1, em que foi possível estabelecer uma curva única para as duas fontes de P, ainda que, nesta figura, os valores referentes ao fosfato Patos de Minas possam ser facilmente identificados no aglomerado de pontos situados na parte inferior da curva, próximo à origem. A melhor distribuição dos pontos pelo método da resina, em relação ao método de Bray-1 e a outros métodos, foi mostrada por RAIJ et alii

Figura 6. Fósforo extraído pela Resina Trocadora de Íons, em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o 1º cultivo de trigo.

(1983), que verificaram também, melhores coeficientes de correlação para aquele método, com respostas de produção de milho e algodão em solos do Estado de São Paulo. A discriminação entre as fontes de fósforo, observada na figura 6, pode ser atribuída a esta melhor distribuição dos pontos pela resina, considerando-se que este método extraiu mais fósforo do que o método de Bray-1, em ambos os solos (na amostragem após o 1º cultivo), nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas (Tabelas 30 e 32 respectivamente, para os solos LE e LV), como também aos baixos valores de fósforo absorvido nestes tratamentos, quando comparados aos obtidos naqueles com superfosfato triplo, no 1º cultivo (Tabelas 12 e 21, respectivamente para os solos LE e LV). Esta aparente inferioridade da resina em relação ao Bray-1, foi, por outro lado, compensada por sua independência do tipo de solo, como mostrado nas equações de regressão da Tabela 35 e visualizada pela figura 6.

Verifica-se que o coeficiente de determinação obtido para a equação de regressão com o superfosfato triplo foi elevado ($R^2 = 0,88$) mostrando, portanto, um bom ajuste ao modelo da raiz quadrada, levando-se em conta que a equação foi calculada com base em 72 observações. Já para o fosfato Patos de Minas, constata-se que apenas 52% da variação na quantidade de fósforo absorvido pela planta foi explicada pelo modelo linear (figura 6). Convém ressaltar, contudo, que a equação em apreço foi determinada em função do número total de observações (59 incluindo-se as correspondentes ao tratamento testemunha, comum a ambas as fontes de P), e o coeficiente de correlação linear foi significativo ao nível de 0,1% de probabilidade ($r = 0,721^{***}$).

4.5.2.4. Equações de regressão entre o fósforo absorvido pelo trigo no 2º cultivo e o fósforo extraído pelo método de Bray-1, em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o 1º cultivo ($P_{abs_2} \times P_{Bray-1_1}$).

As figuras 7 e 8 mostram as relações entre o fósforo absorvido pelo trigo no 2º cultivo e o P extraído pelo método de Bray-1, respectivamente, nos solos LE e LV. Verifica-se que, para o primeiro, o melhor ajuste foi o quadrático, porém o coeficiente de determinação foi inferior ao calculado para o solo LV (respectivamente, valores de R^2 iguais a 0,75 e 0,85), sendo linear a equação de regressão determinada para este último solo. Vê-se pela figura 7, um desvio acentuado dos pontos no solo LE, principalmente nas doses maiores de P extraído. Estudos recentes de HOLFORD (1980a) em casa-de-vegetação, mostraram que a extração do fósforo lábil foi deprimida pelo acréscimo da capacidade tampão de fósforo, principalmente para o método de Bray-1. Segundo este autor, este método tende a superestimar o efeito da capacidade tampão dos solos na absorção de fósforo pelas plantas, e, portanto, a subestimar a quantidade de P extraível, em solos com forte poder tampão. É provável, portanto, que as diferenças encontradas entre os solos LE e LV, no presente trabalho, (Figuras 7 e 8), estejam relacionadas às diferenças entre capacidades de adsorção de P, não obstante a baixa correlação entre esta propriedade dos solos e a capacidade tampão de fósforo (HOLFORD e MATTINGLY, 1976.) Segundo BAHIA FILHO (1982), a variação no fator capacidade, entre solos, está associada, normalmente, a diferenças na adsorção de fosfato, diferenças estas que incluem a natureza e a extensão da superfície disponível para adsorção, como também o nível de energia com que o íon fosfato é retido. Para este autor, a associação entre capacidade tampão e características do solo refletiria o efeito isolado ou da interação entre aqueles fatores. Dentre as características do solo, BAHIA FILHO (1982), citando diversos pesquisadores, aponta o teor de argila como o de maior importância para a determinação do fator capacidade ou poder tampão do fósforo. Assim, parece razoável supor que, no solo LV, devido ao seu maior teor de argila e maior capacidade de adsorção de fósforo, o teor do

Figura 8. Fósforo extraído pelo método Bray-1, e amostras de solo LV, coletadas após o 1º cultivo de trigo.

elemento extraído pelo método de Bray-1, correlacionar-se-ia melhor com a absorção de P pela planta, concordando com o princípio proposto por HOLFORD (1980b), de que "quanto maior o efeito negativo da capacidade tampão de P na extração do fósforo lábil dos solos, por determinado método de extração de P, mais elevada será a correlação entre o fósforo extraído e os parâmetros biológicos, fósforo absorvido pela planta e sua resposta à adição do nutriente". Observe-se que, exceto nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas na dose maior do corretivo e doses maiores de fósforo (P_4 e P_5), os teores de P extraído pelo método de Bray-1, no solo LE, foram maiores que os extraídos no solo LV, na amostragem após o 1º cultivo (respectivamente, Tabelas 30 e 32), comprovando a maior capacidade de adsorção de fósforo deste último solo (EMBRAPA-1978b; GOEDERT, 1983).

Contudo, foram idênticos os coeficientes de determinação obtidos nos dois solos, quando se correlacionou o fósforo absorvido pelas plantas no 1º cultivo, como extraído pelo método de Bray-1, nas amostras coletadas pós-1º cultivo. Observou-se, no entanto, que foram obtidos teores mais elevados de fósforo absorvido no solo LV, do que no solo LE, para um mesmo nível de P extraível (respectivamente, Figuras 5 e 4), sugerindo que o nível crítico de P pelo método de Bray-1 seria provavelmente menor no primeiro solo. HOLFORD (1980a) sugeriu, com base em resultados obtidos em casa-de-vegetação, que o Bray-1 tende a contrabalançar o efeito do poder tampão de P, na extração de fósforo do solo, o que se refletiria num abaixamento do nível crítico do nutriente, em solos com elevada capacidade tampão de P. Entretanto, HOLFORD (1980b) não encontrou, em condições de campo, efeitos consistentes desta propriedade dos solos, no estabelecimento do nível crítico de P, pelo método de Bray-1, para a cultura do trigo.

4.5.2.5. Equações de regressão entre o fósforo absorvido pelo trigo no 2º cultivo e o fósforo extraído pela resina trocadora de íons, em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o 1º cultivo ($P_{abs_2} \times P_{res_1}$).

A Figura 9 mostra a relação entre o fósforo absorvido pela planta no 2º cultivo e aquele extraído pela resina trocadora de íons, em amostras coletadas pós-1º cultivo, nos solos LE e LV. Observa-se um bom ajustamento dos dados ao modelo quadrático, com um valor de $R^2 = 0,85$ para o coeficiente de determinação, ou seja, 85% da variação na quantidade de fósforo absorvido pelo trigo foi explicada pelo modelo quadrático. Comparando-se esta figura com a figura 6, constata-se que a discriminação entre fontes de fósforo mostrada nesta última, desapareceu, quando se considerou o fósforo absorvido no 2º cultivo, ou seja, o fósforo absorvido dos resíduos da adição de diferentes níveis de fosfato Patos de Minas e superfosfato triplo, aos solos LE e LV. É provável que o melhor ajustamento dos pontos, possibilitando a obtenção de uma curva única, tenha decorrido da redução acentuada na quantidade de fósforo absorvido pelo trigo no 2º cultivo. (Tabelas 17 e 25, respectivamente, para os solos LE e LV), conduzindo a baixas produções de matéria seca (Tabelas 16 e 24, respectivamente, solos LE e LV), principalmente nos tratamentos com a fonte solúvel (excetuando-se os valores obtidos nas doses maiores de fósforo, em ambos os solos). Acrescente-se, também, que houve tendência à manutenção, no 2º cultivo, de quantidades de fósforo absorvido semelhantes às obtidas no 1º cultivo, em solo LV (respectivamente, Tabelas 25 e 21), nos tratamentos com as doses maiores de fósforo, adicionado como fosfato Patos de Minas. Estas observações concordam com os resultados obtidos por SMYTH (1981) que verificou, em Latossolo Vermelho Amarelo sob vegetação de cerrado, semelhante ao utilizado neste trabalho, que as alterações ocorridas nos níveis de fósforo extraído

Figura 9. Fósforo extraído pela Resina Trocadora de íons, em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o 1º cultivo de trigo.

pela resina trocadora de íons, durante dois cultivos de so
ja, indicaram um declínio acentuado nos teores de P extraí
vel, nos tratamentos com a fonte solúvel (superfosfato sim
ples) e um acréscimo gradual naqueles com o fosfato Patos de
Minas (nas doses maiores de fósforo adicionado), após os
três primeiros meses de reação no solo. Para este autor, a
resina trocadora de íons comporta-se como um sumidouro para
o fósforo do solo, indicando os níveis de fósforo lábil pron
tamente disponível às plantas.

Verifica-se, pois, pela figura 9, que, após
um período de incubação de, aproximadamente, 60 dias (decor
ridos entre o plantio e a 1ª. colheita), o fósforo extraído
pela resina trocadora de íons correlacionou-se bem com a
quantidade do nutriente absorvido pelas plantas, durante o
2º cultivo, proporcionando o estabelecimento de uma curva
única para ambos os solos, independente da natureza do ferti
lizante fosfatado que lhes foi adicionado.

4.5.2.6. Equações de regressão entre o fósforo absorvi
do pelo trigo no 2º cultivo e o fósforo ex
traído pelo método de Bray-1, em amostras dos
solos LE e LV, coletadas após o 2º cultivo.
($P_{abs_2} \times P_{Bray-1_2}$).

As Figuras 10 e 11 mostram as equações de re
gressão entre os parâmetros da planta e do solo supra-indica
dos, respectivamente para os solos LE e LV. A comparação da
figura 7 com a figura 10 permite identificar tendências se
melhantes na relação entre o fósforo absorvido pela planta
no 2º cultivo, em solo LE e os teores de P extraído pelo mé
todo de Bray-1, respectivamente, em amostras coletadas após
o 1º e 2º cultivos. No entanto, o coeficiente de determina
ção calculado, foi mais elevado para a primeira relação (Fi
gura 7), com um valor de $R^2 = 0,75$, superior ao obtido para
a segunda (Figura 10), que apresentou ajuste mais adequado
dos pontos ao modelo linear, com um R^2 igual a 0,68.

Estes valores evidenciam que melhores correlações foram obtidas no solo LE, quando o fósforo absorvido pela planta no 2º cultivo foi relacionado aos teores de P extraído pelo método de Bray-1, na amostragem realizada pós-1º cultivo. Resultados semelhantes foram obtidos por LIMA (1981), trabalhando com sorgo, em três solos, entre os quais um Latossolo Vermelho Escuro, coletado em Catalão-GO (Solo Catalão). Este autor encontrou: correlações altamente significativas entre produção de matéria seca e fósforo absorvido no segundo cultivo, com teores de fósforo extraído (método de Olsen), nos solos Anhembi, Latossolo Vermelho Amarelo textura média e Botucatu, Latossolo Vermelho Escuro textura média, em amostras coletadas após o primeiro cultivo; correlações significativas a 5% de probabilidade, entre estes parâmetros, para o solo Catalão, embora com valores muito baixos para o coeficiente de determinação.

Em relação ao solo LV, observa-se, pela figura 11, um bom ajuste dos dados ao modelo linear, para a regressão $P_{abs_2} \times P_{Bray-1_2}$, com um coeficiente de determinação, $R^2 = 0,86$. A comparação das figuras 8 e 11 mostra resultados semelhantes para as regressões do fósforo absorvido pela planta, com o extraído pelo método de Bray-1, em ambas as amostragens. Estes resultados parecem confirmar o princípio de HOLFORD (1980b), enunciado em 4.5.2.4., pelo qual o maior poder tampão de P do solo LV, em relação ao solo LE, seria o responsável pelos melhores coeficientes de determinação obtidos para o primeiro solo, entre o fósforo absorvido pelo trigo no segundo cultivo e os teores de fósforo extraído pelo método de Bray-1, em ambas as amostragens. Para o solo LV, portanto, nas condições experimentais adotadas neste trabalho, seria indiferente correlacionar os dados de fósforo absorvido e acumulado na planta no 2º cultivo, com teores de P extraído pelo método de Bray-1, antes ou após a colheita do 2º cultivo.

Figura 11. Fósforo extraído pelo método Bray-1 em amostras de solo LV, coletadas após o 2º cultivo de trigo.

4.5.2.7. Equações de regressão entre o fósforo absorvido pelo trigo no 2º cultivo e o fósforo extraído pela resina trocadora de íons em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o 2º cultivo ($Pabs_2$ x $Pres_2$).

A Figura 12 mostra a relação entre o fósforo absorvido pelo trigo no 2º cultivo e os teores de P extraído pela resina, nos solos LE e LV, após este cultivo. Comparando-se o valor do coeficiente de determinação obtido para a regressão $Pabs_2$ x $Pres_1$ (Figura 9) com aquele calculado para a regressão $Pabs_2$ x $Pres_2$ (Figura 12), vê-se que o primeiro foi bem maior, explicando 85% da variação na quantidade de fósforo absorvido, com um bom ajuste ao modelo quadrático, enquanto que o segundo estimou apenas 65% da referida variação, com os pontos ajustando-se a um modelo linear. A comparação das aludidas figuras permite observar, também, que os pontos foram melhor distribuídos na regressão $Pabs_2$ x $Pres_1$, observando-se maiores teores de P extraído pela resina na amostragem após o 1º cultivo, do que naqueles após o 2º cultivo (respectivamente Tabelas 30 e 31, solo LE; 32 e 33, solo LV).

ZUNINO et alii (1973) verificaram que o P extraído pela resina foi diretamente relacionado ao P fornecido (como fosfato monocálcico) ao trigo, antes da incubação, porém esta relação diminuiu e desapareceu aos 180 dias. Sugeriram que, em solos com capacidades de fixação de fósforo elevadas, a utilização de certos métodos de laboratório para determinação da disponibilidade de P às plantas pode ter uma séria distorção, se empregados em solos adubados com algum tempo de antecedência, provavelmente, segundo os autores, devido a mudanças na disponibilidade relativa às plantas e aos extratores químicos, do P acidionado, que é transformado em formas menos solúveis. O melhor ajuste dos dados na regressão entre o fósforo absorvido pelo trigo no segundo cultivo, com o teor de P extraído pela resina trocadora de íons, na amostragem dos

Figura 12. Fósforo extraído pela Resina Trocadora de Íons, em amostras dos solos LE e LV, coletadas após o 2º cultivo de trigo.

solos LE e LV, após o primeiro cultivo (Figura 9), reflete, pois, uma maior disponibilidade do fósforo nesta ocasião (após 60 dias de reação com o solo), cujos teores extraíveis pela resina, possivelmente declinaram a seguir, durante o tempo de incubação entre cultivos (50 dias) e no decorrer do segundo cultivo (mais 60 dias), concordando com os resultados de incubação em laboratório citados em 4.4.2. (SMYTH, 1981).

4.6. Apreciação final dos métodos de Mehlich, Bray-1 e resina trocadora de íons, pela correlação dos teores de P extraível, com a quantidade do nutriente absorvido pelo trigo.

Como assinalado no capítulo 1, um dos objetivos deste trabalho foi o de fornecer subsídios para estudos posteriores possibilitarem a adoção de um método de extração de fósforo, que estime corretamente o P extraível, melhor correlacionado com o parâmetro da planta em estudo, independente do solo e fonte de fósforo utilizada.

Os resultados obtidos devem ser encarados com uma certa reserva, evitando-se sua extrapolação para experimentação de campo, face às condições próprias dos ensaios em casa-de-vegetação (GRIGG, 1977) e, também, no caso, pela utilização de apenas dois solos, ainda que sejam dos mais representativos da região sob cerrados, abrangendo, juntos, cerca de 52% da área total coberta por esta vegetação no Brasil (EMBRAPA, 1976).

Entretanto, em relação a ensaios em casa-de-vegetação, RAIJ (1978) assinala que os mesmos devem ser preferidos, visando a seleção de métodos para fósforo, devendo-se trabalhar com uma série de solos de importância regional, utilizando o parâmetro quantidade de fósforo absorvido, para expressar a resposta ao fósforo nessas condições. Já BIASI (1978) recomenda, no mínimo, a adoção de dois parâmetros da planta, num estudo de seleção de métodos de avaliação do P.

extraível dos solos, com presença obrigatória da absorção relativa de fósforo total.

Do estudo de regressões efetuado no item 4.5., resulta, de modo claro, a inadaptabilidade do método de Mehlich em estimar o P extraível, correlacionado com a absorção de fósforo pelo trigo, em solos adubados com fertilizantes fosfatados de graus diferentes de solubilidade. Em áreas sob vegetação de cerrado do Brasil Central, em que aplicações a lanço, como fosfato natural, combinadas à adubação no sulco de plantio, com fontes solúveis de fósforo têm sido indicadas (SMYTH e SANCHEZ, 1982b), a utilização deste método não conduziria a correlações satisfatórias com a produção das plantas, além de subestimar a quantidade de adubo fosfatado recomendado (GOEPFERT et alii, 1976).

Os métodos de Bray-1 e resina trocadora de íons mostraram-se equivalentes na predição da quantidade de fósforo absorvido pelo trigo, alternando vantagens e desvantagens nas equações de regressão de caráter geral discutidas em itens anteriores (4.5.1. e 4.5.2). Todavia, a resina, por sua independência do tipo de solo e menor dependência da calagem, como mostrado nas equações de regressão linear múltipla (Tabela 35), tende a ser superior ao método de Bray-1, não obstante serem, ainda, limitados os resultados disponíveis com aquele método e, principalmente, pequeno o número de solos na região sob cerrados, em que o mesmo foi testado.

A metodologia descrita para a extração de P pela resina trocadora de íons no capítulo 3 (item 3.3; sub-item 3.3.2.3) foi desenvolvida por RAIJ e QUAGGIO (1983) e contornou, ao que tudo indica, a dificuldade anterior de adaptação deste método à rotina (RAIJ, 1978). Estes autores ressaltaram a importância da determinação, no mesmo extrato (obtido após a agitação, em meio aquoso, da mistura solo-resina) dos elementos P, Ca, Mg e K. Para CABALA e SANTANA (1983), a utilização da resina de troca aniônica, em envoltório de tela

plástica, constitui uma simplificação desta técnica, com vistas a uma adaptação para análises de rotina, podendo ser colocada inicialmente em funcionamento, conforme o histórico da área e, especialmente, para solos adubados com fosfatos naturais.

O método de Bray-1 vem sendo utilizado, satisfatoriamente, para estimar o fósforo extraível de áreas adubadas com fosfato natural, na região dos cerrados, mostrando-se mais eficiente que o de Mehlich (LOBATO, 1982). GOEDERT e LOBATO (1980), no entanto, ressaltaram que o teor de P extraído por este método tem se mantido estável com o tempo, não acompanhando o acréscimo na produção das culturas. Esta observação conflita com o obtido neste trabalho, que mostrou acréscimos no teor de P extraído por este método, da primeira para a segunda amostragem, em ambos os solos, nos tratamentos com o fosfato Patos de Minas, na dose menor de calcário (Tabelas 30 e 31, solo LE; 32 e 33, solo LV), sem correspondentes a acréscimos na produção de matéria seca e fósforo absorvido pelo trigo (respectivamente, Tabelas 11, 16 e 12, 17 para 1ª e 2ª cultivos em solo LE; Tabelas 20, 21 e 24, 25 para 1ª e 2ª cultivos em solo LV).

5. CONCLUSÕES

Nas condições experimentais adotadas neste trabalho, podem-se admitir as seguintes conclusões de caráter geral, relacionadas diretamente a seus objetivos principais:

- O fosfato Patos de Minas foi ineficiente no suprimento de fósforo ao trigo (cv. IAC-5), em ambos os solos e cultivos, comparado ao superfosfato triplo, fonte solúvel tomada como padrão.
- O solo LV mostrou maior ação solubilizadora do fosfato Patos de Minas, que o solo LE.
- Foi acentuado o efeito residual de doses elevadas de fósforo adicionado a ambos os solos, na forma de superfosfato triplo. Em relação ao fosfato Patos de Minas, apenas a dose maior de fósforo, quando associada à dose maior de calcário, no solo LV, apresentou efeito residual relevante, alcançando uma eficiência relativa de 25%.
- A calagem favoreceu, de modo geral, uma maior liberação de fósforo, proporcionando maiores produções de matéria seca e quantidades de fósforo absorvido pelo trigo, nos tratamentos com superfosfato triplo, particularmente no solo LE, em ambos os cultivos. Não se verificaram diferenças significativas entre níveis de calagem, nos tratamen

tos com o fosfato Patos de Minas, em ambos os solos e cultivos.

- O Método de Mehlich mostrou-se inadequado em estimar o fósforo extraível, de amostras dos solos LE e LV, que receberam fertilizantes fosfatados de diferentes solubilidades.
- Os métodos de Bray-1 e resina trocadora de íons, mostraram-se equivalentes na predição da quantidade de fósforo absorvido pelo trigo, em ambos os cultivos. A resina, no entanto, não mostrou dependência em relação ao tipo de solo, tendo sido possível o ajustamento de uma única equação de regressão entre os teores de P extraído por este método, nos solos LE e LV, e a quantidade de fósforo absorvido pelo trigo, em todas as regressões consideradas. Isto não foi possível para o método de Bray-1, que se mostrou dependente do tipo de solo na predição do citado parâmetro da planta.
- Com o método da resina trocadora de íons, não foi possível estabelecer uma equação de regressão única, para os fertilizantes superfosfato triplo e fosfato Patos de Minas, na regressão efetuada entre os teores de fósforo extraído na amostragem após o primeiro cultivo e a quantidade do nutriente absorvido neste cultivo. O método de Bray-1 mostrou-se superior ao da resina, nesta situação.
- As equações de regressão entre os teores de P extraído pelo método de Bray-1 e a quantidade do nutriente absorvido pelo trigo, no segundo cultivo, independeram da época de amostragem, principalmente no solo LV. Considerando-se o método da resina trocadora de íons, verificou-se influência da época de amostragem, na regressão estabelecida entre os teores de P extraído dos solos LE e LV e o fósforo absorvido pelo trigo, no segundo cultivo.

Os resultados obtidos no presente trabalho, portanto, embora não possam fornecer conclusões definitivas so

bre a indicação de determinado método, como o mais adaptado para os solos estudados, podem servir como orientação para a realização de futuras pesquisas (particularmente com os métodos de Bray-1 e resina trocadora de íons) conduzidas em condições de campo e abrangendo uma variação mais ampla de solos e maior número de fertilizantes fosfatados solúveis, naturais ou parcialmente acidulados.

Em relação ao fosfato Patos de Minas, não obstante os resultados obtidos tenham mostrado sua ineficiência, a curto prazo, no suprimento de fósforo ao trigo, sua reação mais favorável no solo L.V. permite inferir um melhor aproveitamento desse fertilizante neste solo, em áreas sob vegetação de cerrado, como, aliás, mostrado em vários trabalhos mencionados no capítulo 2.

Acredita-se, também, ser importante a realização de pesquisas na região dos cerrados, com plantas mais capazes de utilizar o fósforo dos fosfatos naturais, como algumas leguminosas e gramíneas forrageiras tropicais, além de outras, como a colza e o trigo mourisco. Estas plantas, quando incorporadas ao solo num sistema de rotação, ou cultivadas em associação, com culturas de menor habilidade na utilização do fósforo, proporcionariam um emprego mais eficiente desses fertilizantes, como sugerido por diversos pesquisadores citados neste trabalho (Capítulo 2).

6. LITERATURA CITADA

AHMED, B. e A. ISLAM., 1975. Extractable P in relation to the forms of P fractions in some humid tropical soils. *Trop. Agric. Trinidad*, 52(2):235-45.

ALMEIDA NETO, J.X., 1979. Caracterização das formas de fósforo e emprego de diferentes extratores para avaliar o P "disponível" em solos de Goiás. Piracicaba, ESALQ/USP. 138p. (Tese de Doutorado).

AMER, F. et alii., 1955. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorptions and P^{32} equilibration. *Plant Soil.*, The Hague, 6(4):391-408.

ANDERSON, D.L. et alii, 1980. Influence of soil P adsorption capacity on plant response to RP. *Agron. Abstr.* Madison, :164.

ARNDT, W. e G.A. McINTYRE., 1963. The initial and residual effects of superphosphate and rock phosphate for sorghum on a lateritic red earth. *Austr. J. Agric. Res.*, Melbourne, 14:785:95.

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS., 1975. *Manual de Adubação*. 2 ed. São Paulo, ANDA, 346p.
- BACHE, B.W. e N.E. ROGERS., 1970. Soil phosphate values in relation to phosphate supply to plants from some Nigerian soils. *J. Agric. Sci.*, Cambridge, 74:383-90.
- BAHIA FILHO, A.F.C., 1982. Índices de disponibilidade de fósforo em latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas. Viçosa, UFV. 179p. (Tese de Doutorado).
- BAHIA FILHO, A.F.C. e J.M. BRAGA., 1975. Fósforo em latossolo do Estado de Minas Gerais. II. Quantidade de fósforo e fósforo "disponível". *Rev. Ceres.*, Viçosa, 22 (119):50-61.
- BARTHOLOMEW, R.P., 1928. The unavailability of phosphorus in rock phosphate to some southern crops. *J. Am. Soc. Agron.*, Washington, 20(9):913-20.
- BAUER, F.C., 1921. The relation of organic matter and the feeding power of plants to the utilization of rock phosphate. *Soil Sci.*, Baltimore, 12(1):21-41.
- BENNETT, O.L.; L.E. ESMINGER e R.W. PEARSON., 1957. The availability of phosphorus in various sources of rock phosphate as shown by greenhouse studies. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 21:521-4.
- BIASI, J., 1978. Avaliação do fósforo relacionado a diversos extratores químicos em solos de Santa Catarina. Piracicaba, ESALQ/USP. 181p. (Tese de Mestrado).

- BLANCO, H.C; W.R. VENTURINI e H. GARGANTINI, 1965. Comportamento de fertilizantes fosfatados em diferentes condições de acidez do solo para o trigo, com estudos do efeito residual para a soja. *Bragantia.*, Campinas, 24(22):261-79.
- BRAGA, J.M., 1967. Contribuição ao estudo do fosfato de Araxá como fonte de fósforo em um solo de Viçosa, Minas Gerais. Viçosa, UFV. 65p. (Tese de Mestrado).
- BRAGA, J.M., 1970. Resultados experimentais com o uso de fosfato de Araxá e outras fontes de fósforo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 61p. (Boletim Técnico, 21).
- BRAGA, J.M. e J. YAHNER., 1968. Estudo de correlação de análise química do solo e da planta em cultura de milho. *Experientiae.*, Viçosa, 8(5):164-96.
- BRAGA, J.M. et alii., 1971. Contribuição ao estudo da fosforita de Abaeté como fonte de fósforo para a fertilização do solo. *Seiva.*, Viçosa, 31(72):46-57.
- BRAGA, N.R. et alii., 1980. Efeitos de fosfatos no crescimento e produção da soja. *R. bras. Ci. Solo.*, Campinas, 4(1):36-9.
- BRAGANÇA, J.B., 1979. Solubilização do fosfato de Araxá, em diferentes tempos de incubação em solos com diversos níveis de alumínio trocável. Viçosa, UFV. 69p. (Tese de Mestrado).
- BRAGANÇA, J.B. et alii., 1981. Solubilização do fosfato de Araxá no solo, considerando o teor de alumínio trocável e o tempo de incubação. *Rev. Ceres.*, Viçosa, 28(158):383-90.

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. *Levantamento semidetalhado dos solos de áreas do Ministério da Agricultura no Distrito Federal*. Rio de Janeiro. 135p. (Boletim Técnico, 8).
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento de Produção Vegetal. Divisão de Corretivos e Fertilizantes., 1975. *Legislação da inspeção e fiscalização do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes*. Brasília. 87p.
- BRAY, R.H. e L.T.KURTZ., 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.*, Baltimore, 59:34-45.
- CABALA, R.P. e A.WILD., 1982. Direct use of low grade phosphate rock from Brazil as fertilizer. I. Effect of reaction in time. *Plant Soil.*, The Hague, 65:351-62.
- CABALA, R.P. e M.B.SANTANA., 1983. Disponibilidade e diagnose do fósforo pela análise química do solo com referência ao Brasil. *R.bras.Ci.Solo.*, Campinas, 7(2):109-18.
- CAMPO, R.J., 1978. Efeito da interação leguminosa-solo sobre o comportamento de fosfatos naturais. Viçosa, UFV. 40p. (Tese de Mestrado).
- CANTARUTTI, R.B. et alii., 1981. Época de aplicação de fósforo natural em relação à calagem, num solo com elevado teor de alumínio trocável. *R.bras.Ci.Solo.*, Campinas, 5(2):129-33.

- CESCAS, M.P. e E.H. TYNER., 1976. Rate of rock phosphate disappearance for the Morrow plots. *Ann. Agron.*, Paris, 27 (5-6):891-924.
- CHAVES, A.G., *Fosfato Patos de Minas*. s.l. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, s.d. 19p. (mimeografado).
- CHIEN, S.H., 1978. Interpretation of Bray-1 extractable phosphorus from acid soil treated with phosphate rocks. *Soil Sci.*, Baltimore, 126(1):34-9.
- CHIEN, S.H.; L.A.LEON e H.R.TEJEDA., 1980. Dissolution of North Carolina phosphate rock in acid Colombian soils as related to soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Madison, 44(6):1267-71.
- COOK, R.L., 1935. Divergent influence of degree of base saturation of soils on the availability of native, soluble and rock phosphate. *J. Am. Soc. Agron.* Washington, 27(4):297-311.
- COOKE, I.J. e J.HISLOP., 1963. Use of anion-exchange resin for the assesment of available soil phosphate. *Soil Sci.*, Baltimore, 96(5):308-12.
- CORDEIRO, D.S. et alii., 1978. Pesquisas realizadas. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Londrina, PR. *Resultados de pesquisa de soja 1977/78*. Londrina, p.31-43.
- CORDEIRO, D.S. et alii., 1979. Efeito de níveis e fontes de fósforo na produção e no rendimento econômico da soja na região de Dourados (MS). *R. bras. Ci. Solo.*, Campinas, 3(2):100-5.

- DEIST, J. et alii., 1971a. Residual effect of basic slag and rock phosphate in Virgin soils. *Deciduous fruit grover.*, Cape Town, 21(2):19-81. Apud *Phospho Agric.*, London, 1973, 61:68 [ref.1249]
- DEIST, J. et alii., 1971b. Relative availability of rock phosphate to different plant species. *Agrochemophysica.*, Johannesburg, 3:35-40.
- DOLL, E.C.; H.F. MILLER. e J.F.FREEMAN., 1960. Initial and residual effects of rock phosphate and superphosphate. *Agron. J.*, Madison, 52(5):247-50.
- DRAKE, M. e J.E.STECKEL., 1955. Solubilization of soil and rock phosphate as related to root cation exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 19:449-50.
- DYNIA, J.F., 1977. Efeito do pH e da capacidade de retenção de fósforo dos solos na eficiência dos adubos fosfatados. Porto Alegre, UFRGS. 61p. (Tese de Mestrado).
- ELLIS JR., R.; M.A.QUADER. e E.TRUOG., 1955. Rock phosphate availability as influenced by soil pH. *Soil Sci.Soc. Am. Proc.*, Madison, 19:484-7.
- EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Planaltina,DF., 1976. *Relatório Técnico Anual.1975-76.* Brasília, 150p.
- EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Planaltina, DF., 1978b. *Relatório Técnico Anual 1976-77.* Brasília, 183p.

- EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Planaltina, DF., 1982. *Relatório Técnico Anual 1980-81*. Brasília, 163p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ., 1978a. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal*. Rio de Janeiro, 455p. (Boletim, 53).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ., 1979. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Rio de Janeiro, n.p.
- ENGELSTAD, O.P.; A.JUGSUJINDA. e S.K.DE DATTA., 1974. Ré-
sponse by flooded rice to phosphate rocks varying in ci-
trate solubility. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison
38:524-9.
- ENWEZOR, W.O., 1977. Soil testing for P in some Nigeria
soils I. Comparison of methods of determining available
P in soils of South Eastern Nigeria. *Soil Sci.*, Baltimore,
123(1):48-53.
- ESMINGER, L.E. e R.W.PEARSON., 1957. Residual effects of
various phosphates as measured by yields, P^{32} uptake and
extractable phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* Madi-
son, 21(1):80-4.
- FASSBENDER, H.W., 1966. Descripción físico-química del sis-
tema fertilizante fosfatado-suelo-planta. *Turrialba*, Tu-
rrialba, 16(3):237-46.
- FEITOSA, C.T., 1978. Avaliação da disponibilidade do fósfo-
ro aplicado ao solo na forma de diferentes fosfatos. Pi-
racicaba, ESALQ/USP. 81p. (Tese de Mestrado).

- FEITOSA, C.T. et alii., 1978. Determinação preliminar da eficiência relativa de fosfatos para trigo, em casa-de-vegetação. *R.bras.Ci.Solo.*, Campinas, 2(3):193-5.
- FERREIRA, T.N. e J.KAMINSKI., 1979. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais de Patos de Minas e Gafsa, puros e modificados por acidulação e calcinação. *R.bras.Ci.Solo.*, Campinas, 3(3):158-62.
- FITTS, J.W. e W.L.NELSON., 1956. The determination of lime and fertilizer requirements of soil through chemical tests. *Adv. Agron.*, New York, 8:241-82.
- FRIED, M. 1953. The feeding power of plants for phosphates. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 17(4):357-9.
- FRIED, M. e A.J. MACKENZIE., 1949. Rock phosphate studies with neutron irradiated rock phosphate. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 14:226-31.
- FRIED, M. e L.A.DEAN., 1952. A concept concerning the measurement of available soil nutrients. *Soil Sci.*, Baltimore, 73:263-71.
- FRIED, M. e H.BROESHART., 1967. *The Soil-Plant System in relation to inorganic nutrition.* New York, Academic Press. 358p.
- GALRÃO, E.Z., 1976. Avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas. Porto Alegre, UFRGS. 67p. (Tese de Mestrado).
- GALRÃO, E.Z. e A.S.LOPES., 1979. Deficiências nutricionais em solos de cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO., 5., Brasília, DF., 1979. *Cerrado: Uso e manejo.* Brasília, Editerra. p.595-614.

- GOEDERT, W.J., 1983. Efeito residual de fosfatos naturais em solos de cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 18(5):499-506.
- GOEDERT, W.J. e E.LOBATO., 1980. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 15(3):311-80.
- GOEDERT, W.J.; E.LOBATO. e E.WAGNER., 1980. Potencial agrícola da região dos cerrados brasileiros. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 15(1):1-17.
- GOEDERT, W.J.; E.LOBATO. e M.RESENDE., 1982. Management of tropical soils and world food prospects. In: *TRANSACTIONS OF THE INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE*. 12. New Delhi, India., p.338-64.
- GOEPFERT, C.E. et alii., 1976: Avaliação da eficiência de cinco adubos fosfatados em três solos ácidos do Rio Grande do Sul. *Agron. sulriograndense.*, Porto Alegre, 12(2):179-88.
- GRAHAM, E.R., 1955. Availability of natural phosphates according to energy changes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 19(1):26-9.
- GREMILLION, L.R.; G.H.Mc CLELLAN. e J.R.LEHR., 1976. *Characterization of two phosphate rock samples from Patos de Minas, Brazil*. Alabama, U.S.A., Tennessee Valley Authority. Division of Chemical Development. 10p.
- GRIGG, J.L., 1977. Prediction of plant response to fertilizers by means of soil tests. V. Soil tests for P availability in brown-grey and dry-sub hygroscopic yellow grey earths. *N.Z.J.Agric. Res.*, Wellington, 20(3):315-26.

- GUNARY, D. e C.D.SUTTON., 1967. Soil factors affecting plant uptake of phosphate. *J.Soil Sci.*, Oxford, 18: 167-73.
- HOLFORD, I.C.R., 1980a. Greenhouse evaluation of four phosphorus soil tests in relation to phosphate buffering and labile phosphate in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 44(3):555-59.
- HOLFORD, I.C.R., 1980b. Effects of phosphate buffer capacity on critical levels and relationships between soil tests and labile phosphate in wheat-growing soils. *Austr. J. Soil Res.*, Melbourne, 18:405-14.
- HOLFORD, I.C.R. e G.E.G. MATTINGLY., 1976. Phosphate adsorption and availability plant of phosphate. *Plant Soil.*, The Hague, 44, 377-89.
- HOWE, D.O. e E.R.GRAHAM., 1957. Salt concentration a factor in the availability of phosphorus from rock phosphate as revealed by the growth and composition of alfafa. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 21(1):25-8.
- HYDE, G.H. 1970. Basic guidelines in checking soil analysis data. Rio de Janeiro, BUREC/SUVALE. p.22-5.
- JACKSON, M.L., 1970. *Análisis químico de suelos*. Barcelona, Ediciones Omega, 662p.
- JONES, U.S., 1948. Availability of phosphorus in rock phosphate as influenced by potassium and nitrogen salts, lime and organic matter. *J.Am.Soc.Agron.*, Washington, 40(9): 765-70.

- JOOS, L.L. e C.A.BLACK., 1950. Availability of phosphate rock as affected by particle size and contact with bentonite and soil of different pH values. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 15(1):69-75.
- JUNQUEIRA NETO, A.; A.V.M.PINTO. e J.F.SILVEIRA., 1982. Efeito de fontes, doses e formas de aplicação do fósforo na produção do feijão. (*Phaseolus vulgaris*, L.) In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO (RENAF), 1. Goiânia. Anaís... EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. p.190-1.
- JUO, A.S.R. e B.T.KANG., 1979. Effect of liming on the availability of three rock phosphate sources in two West African Ultissols. *Comm. Soil Sci. Plant. Anal.*, New York, 10(7):993-1003.
- KAMINSKI, J., 1983. Efeito de cinco fosfatos, pré, co- e pós-aplicados ao calcário no suprimento de fósforo ao sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench - CV. Contibrasil), em três solos ácidos. Piracicaba, ESALQ/USP. 126p. (Tese de Doutorado).
- KHASAWNEH, F.E. e C.E.DOLL., 1978. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Adv. Agron.*, New York, 20:159-206.
- KHASAWNEH, F.E. et alii., 1978. P concentration in soil solution as a factor affecting R.P. effectiveness. Seminar on phosphate rock for direct application. Haifa, Israel. Apud *Phospho Agric.*, London, 81:49, 1981. [ref. 5197]
- KIEHL, E.J. e F.P.GOMES., 1953. Ensaio sobre adubos fosfatados. *Rev. Agric.*, Piracicaba, 26(5,6):391-6.

- KINJO, T., 1983. Conceitos de acidez de solos. In: RAIJ, B. van.; O.C.BATAGLIA e N.M.DA SILVA, Coord. *Acidez e calagem no Brasil*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.23-31.
- KOCHANN, R.; I.ANGHINONI. e J.MIELNICZUK., 1982. A adubação fosfatada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: ~~LEAO~~LIVEIRA, A.J. de; S.LOURENÇO. e W.J. GOEDERT. ed. *Adubação fosfatada no Brasil*. EMBRAPA-DID. p.29-60.
- KORNDÖRFER, G.H., 1978. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para plantas de trigo. Porto Alegre, UFRGS. 62p. (Tese de Mestrado).
- LATWELL, D.J. et alii., 1958. Availability of soil phosphorus as determined by several chemical methods. *Agron. J.*, Madison, 50:366-9.
- LEAL, J.R., 1971. Adsorção de fosfato em latossolo sob cerrado. Rio de Janeiro, UFRRJ. 96p. (Tese de Mestrado).
- LE MARE, P.H., 1982. Sorption of isotopically exchangeable and non-exchangeable phosphate by some soils of Colombia and Brazil and comparisons with soils of southern Nigeria. *J. Soil Sci.*, Oxford, 33:691-707.
- LEÓN, L.A. e W.E.FENSTER., 1979. Management of phosphorus in the Andean Countries of Tropical Latin America. *Phospho Agric.*, London, 76:57-73.

- LIMA, E., 1981. Resposta do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L) MOENCH) ao emprego de fontes e doses de fósforo em condições de casa-de-vegetação. Piracicaba, ESALQ/USP. 107p. (Tese de Mestrado).
- LOBATO, E., 1982. A adubação fosfatada em solos da região Centro-Oeste. In: OLIVEIRA, A.J.; S.LOURENÇO. e W.J. GOEDERT. ed. *Adubação fosfatada no Brasil*. Brasília, EMBRAPA-DID. p.201-239.
- LOPES, A.S. e F.R.COX., 1979. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas, com fixação de fósforo em solos sob Cerrado. *R. bras. Ci. Solo.*, Campinas, 3(2):82-8.
- LOPES, A.S.; C.A. VASCONCELOS e R.F. NOVAIS., 1982. Adubação fosfatada em algumas culturas nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. In: OLIVEIRA, A. J.; S.LOURENÇO.; W.J.GOEDERT, ed. *Adubação fosfatada no Brasil*. Brasília, EMBRAPA-DID. p.137-200.
- McLEAN, E.O. e T.J. LOGAN., 1970. Sources of phosphorus for plants grown in soils with differing fixation tendencies. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 34(6):907 - -11.
- MAGALHÃES, A.F., 1974b. Uso de resina de troca aniônica na avaliação de fósforo disponível para as plantas. II - Estudo comparativo com a solução de Mehlich (Carolina do Norte). *Agron. sulriograndense.*, Porto Alegre, 10 (1):171-76.
- MAGALHÃES, J.C.A.J. de., 1974a. Efeitos de níveis e modos de aplicação de fósforo, na produção de matéria seca e conteúdo deste nutriente no milho (*Zea mays*, L.), cultivado em solos de "cerrado" de Brasília-DF. Piracicaba, ESALQ/USP. 112p. (Tese de Mestrado)

- MAGALHÃES, J.C.A.J. de., 1979. Efeito de níveis de calcá-
rio e de fósforo em duas variedades de trigo. *R. bras.
Ci.Solo.*, Campinas, 3(1):24-9.
- MAGALHÃES, J.C.A.J. de.; ELOBATO. e L.H. RODRIGUEZ., 1980.
Calagem e adubação fosfatada para dois cultivares de tri-
go em solos de Cerrado. *R.bras.Ci.Solo.*, Campinas, 4
(3):160-4.
- MALAVOLTA, E., 1967. *Manual de Química Agrícola - Adubos
Adubação*. 2 ed. São Paulo, Biblioteca Agronômica Ce
res. cap.4, p.64-70.
- MALAVOLTA, E. et alii., 1953. Competição entre adubos fos-
fatados. *Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba,
10:109-20.
- MARAIS, P.G. et alii., 1970. Ability of different plant
species to absorb phosphate. *Agrochemophysics*., Johannes-
burg, 2:7-12.
- MELLO, F.A.F. de. et alii., 1972. *Fertilidade do Solo*. 2
ed. Piracicaba, ESALQ, Departamento de Solos; Geologia
e Fertilizantes. v.1 e 2. (mimeografado)
- MELLO, F.A.F. de. et alii., 1974. Efeito residual de super-
fosfato, fosfato precipitado e fosforita de Olinda em ca-
na-de-açúcar. *Anais da E.S.A. Luiz de Queiroz.*, Piraci-
caba, 31:243-9.
- MIRANDA, L.N. e E. LOBATO. 1978. Tolerância de variedades
de feijão e de trigo ao alumínio e à baixa disponibili-
dade de fósforo no solo. *R.bras.Ci.Solo.*, Campinas, 2(1):
44-50.

- MOKWUNYE, U., 1979. Phosphorus needs of soils and crops of the savanna zones of Nigeria. *Phospho Agric.*, London, 76:87-95.
- MOREIRA, S.M. et alii., 1979. Efeito da interação gramínea-solo-calagem sobre a eficiência dos fosfatos naturais. *Rev. Ceres.*, Viçosa, 26(146):360-73.
- MOSCHLER, W.W.; R.D.KREBS e S.S.OBENSHAIN., 1957. Availability of residual phosphorus from long-time rock phosphate and superphosphate applications to Groseclose Silt Loam. *Soil Sci.Soc.Am.Proc.*, Madison, 21(2):293-5.
- MOSER, U.S.; W.H.SUTHERLAND. e C.A.BLACK., 1959. Evaluation of laboratory indexes of absorption of soil phosphorus by plants. I. *Plant Soil.*, The Hague, 10(4):356-74.
- MOTSARA, M.R. e N.P.DE DATTA., 1971. Rock phosphate as a fertilizer for direct application in acid soils. *J.Indian Soc. Soil Sci.*, New Delhi, 19(1):107-13.
- MURDOCK, J.T. e W.A.SEAY. 1955. The availability to green house crops of rock phosphate phosphorus and calcium in superphosphate-rock phosphate mixtures. *Soil Sci.Soc.Am. Proc.*, Madison, 19(1):199-203.
- MURPHY, J. e J.P.RILEY., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.*, New York, 27:31-6.
- MUZILLI, O. et alii., 1978. Tolerância de cultivares de soja e de trigo à acidez do solo. *R.bras.Ci.Solo.*, Campinas, 2(1)34-40.

- NOVAIS, R.F., 1969. Estudo preliminar sobre a utilização do "tufito" na recuperação de cerrados de Patos de Minas. *Seiva*, Viçosa, 29(67): 5-13.
- NOVAIS, R.F.; J.M. BRAGA e C.A.S. MARTINS FILHO., 1980. Efeito do tempo de incubação do fosfato de Araxá em solos, sobre o fósforo disponível. *R.bras.Ci.Solo.*, Campinas, 4(3):153-5.
- NOVOA, F.V.H. e R.NUNEZ., 1974. Efficiency of five phosphate fertilizer sources in soils with different phosphate fixing capacities. *Trop. Agric.*, Trinidad, 51(2):235-45.
- OLSEN, S.R. e A.L. DEAN., 1965. Phosphorus. In: BLACK, C. A. ed. *Methods of Soil Analysis*. Madison, American Society of Agronomy, p.1035-49.
- PAAUW, F. van der., 1965. Factors controlling the efficiency of rock phosphates for potatoes and rye on humic sandy soils. *Plant Soil.*, The Hague, 22(1): 81-98.
- PALHANO, J.B., 1980. Solubilização do fosfato natural em relação a calagem e diferença de aproveitamento por variedades de soja. Piracicaba, ESALQ/USP. 77p. (Tese de Mestrado).
- PERALTA, G. e H.W. FASSBENDER., 1970. Estudio del fósforo en suelos de América Central. V. Uso de resinas de intercâmbio para evaluar la disponibilidad de P. *Turrialba*, Turrialba, 20(3): 279-87.
- PARADA, J.M. e S.M. ANDRADE, 1977. Cerrados. Recursos Minerais. In: FERRI, M.G., Coord. *Simpósio sobre o Cerrado: bases para a utilização agropecuária*, 4. Belo Horizonte, Ed. Itatiaia, p.195-209.
- PEASLEE, D.E. et alii., 1962. Estimation of relative value of phosphate rock and superphosphate to plants on different soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 26(6): 566-70.

- PEREIRA, J.; J.M.BRAGA e R.F.NOVAIS., 1974. Efeitos de fontes e doses de fósforo na nodulação da soja (*Glycine max* (L) Merrill), e na sua absorção de nutrientes em um solo sob campo-cerrado. *Rev. Ceres.*, Viçosa, 21(115):213-26.
- PICHOT, J.; B.TRUONG e A. TRAORE., 1982. Influence du chaulage du sol sur la solubilization et l'efficacité des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de L'Ouest. Etude en milieu contrôlé sur un sol ferrallitique de Madagascar. *Agron. Trop.* Paris, 37(1):56-67.
- RAIJ, B. van., 1977. Estudo de materiais calcários usados como corretivos de solo no Estado de São Paulo, IV. O poder relativo de neutralização total. *Bragantia.*, Campinas, 36:139-45.
- RAIJ, B. van., 1978. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. *R. bras. Ci. Solo.*, Campinas, 2(1):1-9.
- RAIJ, B. van. e A. van. DIEST, 1979. Utilization of P from different sources by six plant species. *Plant Soil*, The Hague, 51(4):577-89.
- RAIJ, B. van e A. van. DIEST, 1980. Phosphate supplying power of rock phosphates in an Oxisol. *Plant Soil*, The Hague, 55(1):97-104.
- RAIJ, B. van.; P.R.CABALA e E.LOBATO., 1982. Adubação fosfatada no Brasil. Apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A.J.; S.LOURENÇO e W.J. GOEDERT. ed. *Adubação fosfatada no Brasil*. Brasília, EMBRAPA-DID. p.9-28.

- RAIJ., B.van. e J.A.QUAGGIO., 1983. *Métodos de análises do solo para fins de Fertilidade*. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas. (Boletim Técnico, 81). [no prelo]
- RAIJ, B.van.; C.T.FEITOSA. e N.M.SILVA., 1983. Comparação de extratores de fósforo de solos. *Bragantia.*, Campinas, 42. [no prelo]
- RAMOS, M.G., 1982. Avaliação da eficiência de oito fosfatos para as culturas de trigo e soja em um Latossolo Vermelho Escuro Argiloso. *R. bras. Ci. Solo.*, Campinas, 6(1):38-42.
- RUSSELL, R.C.; E.W.RUSSEL e P.G.MARAIS., 1957. Factors affecting the ability of plants to absorb phosphate from soils. *J. Soil Sci.*, Oxford, 8(2):248-67.
- RYAN, J. e G.W. SMILLIE, 1975. Liming in relation to soil acidity and P fertilizer efficiency. *Comm. Soil Sci. Plant Anal*, New York, 6(4):409-19.
- SAMPLE, E.C.; R.J.SOPER. e G.J.RACZ., 1980. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; E.C. SAMPLE. e E.J.KAMPRATH, ed. *The role of phosphorus in Agriculture*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. Cap.11, p.263-310.
- SANCHEZ, S.L.F. e E.J.B.OWEN., 1978. Estudio comparativo de fuentes de fósforo en un oxisol de pie de Monte. *Rev. I.C.A.*, Bogotá, 13(4):641-8.
- SARRUGE, J.R. e H.P.HAAG., 1974. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba, ESALQ. Departamento de Química. Seção de Nutrição Mineral de Plantas. 56p. (mimeografado).

- SCHOLLES, D.; J.KOLLING. e J.G.STAMMEL., 1981. Eficiência da calagem e fonte de fósforo no rendimento de leguminosas forrageiras tropicais, no pH e P "disponível" do solo. *Agron. Sulriograndense.*, Porto Alegre, 17(1):129-37.
- SFREDO, G.J. et alii., 1979. Comparação de cinco extratores de fósforo do solo, considerando-se o tempo de incorporação de três adubos fosfatados. *R. bras. Ci. Solo.*, Campinas, 3(2):111-5.
- SHINDE, B.N. et alii., 1978. P transformations from RP in acid soils and measures for increasing their efficiency for growing rice (*Oryza sativa*, L.), *Plant Soil.*, The Hague, 49:449-59.
- SIBBESEN, E., 1978. An investigation of the anion exchange resin method for soil P extraction. *Plant Soil.*, The Hague, 50:305-21.
- SILVA, A.R. e J.M.V. de ANDRADE., 1983. Efeito de micronutrientes no chochamento do trigo de sequeiro e nas culturas de soja e arroz, em Latossolo Vermelho Amarelo. *Pesq. agrop. bras.*, Brasília, 18(6):593-601.
- SIQUEIRA, O.J.F. de. et alii., 1975. Efeito de três fontes de adubos fosfatados sobre os rendimentos de trigo e soja. In: REUNIÃO CONJUNTA DE PESQUISA DE SOJA, 3., Porto Alegre, RS. Londrina, EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Soja. p.57-64.
- SMITH, F.W.; B.G.ELLIS. e J.GRAVA., 1957. Use of acid-fluoride solutions for the extraction of available phosphorus in calcareous soils and in soils to which rock phosphate has been added. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 21: 400-4.

- SMITH, F.W., e J.GRAVA., 1958. Availability of phosphorus contained in phosphatic shale compared to that contained in monocalcium phosphate and raw rock phosphate. *Soil Sci.*, Baltimore, 86:313-8.
- SMYTH, T.J., 1981. Agronomic comparisons between phosphate rock and superphosphate in soils of the cerrado of Brazil. Raleigh, North Carolina State University, Department of Soil Science, 143p. (Tese de Doutorado).
- SMYTH, T.J. e P.A. SANCHEZ., 1982a. Phosphate rock dissolution and availability in Cerrado soil as affected by phosphorus sorption capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 46(2):339-45.
- SMYTH, T.J. e P.A.SANCHEZ., 1982b. Phosphate rock and superphosphate combinations for soybeans in a Cerrado Oxisol. *Agron. J.*, Madison, 74:730-5.
- SOARES, W.V. et alii., 1975. Liming soils of the Brazilian Cerrado. In: BORNEMISZA, E. e A. ALVORADO, ed. *Soil Management in Tropical America*. Raleigh, North Carolina State University. Soil Science Department. cap.16, p.283-329.
- SOUZA, J., 1977. Fosfatos naturais como fonte de fósforo em diferentes períodos de incubação em dois solos. Viçosa, UFV. 55p. (Tese de Mestrado).
- SOUZA, D.M.G., 1980. Reações de grânulos de superfosfato triplo em solos e seus efeitos imediatos e residuais sobre as culturas. Porto Alegre, UFRGS. 90p. (Tese de Mestrado).
- SYERS, J.K.; A.D.MACKAY. e P.E.H.GREGG. 1981. Chemical reactivity of phosphate rock materials. In: PROCEEDINGS OF THE TECHNICAL WORKSHOP ON POTENTIAL OF PHOSPHATE ROCK AS A DIRECT APPLICATION FERTILIZER IN NEW ZEALAND. Palmerston, North Massey University, Department of Soil Science. p.74-83.

- TANAKA, R.T., 1978. Disponibilidade de fósforo do fosfato Patos de Minas para a cultura do milho (*Zea mays*, L.) , em Latossolo Roxo Distrófico sob condição de casa-de-vegetação. Lavras, E.S.A.L. 66p. (Tese de Mestrado).
- TANAKA, R.T. et alii., 1981. Seleção de extratores de fósforo do solo em função das respostas das plantas de milho (*Zea mays* L.) e da adubação com fosfato Patos de Minas em condições de casa-de-vegetação. *R. bras. Ci. Solo.*, 5(1):38-42.
- VETTORI, L., 1969. *Métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. 24p. (Boletim Técnico, 7).
- WALMSLEY, D. e I.S. CORNFORTH., 1973. Methods of measuring available nutrients in West Indian Soils. II.phosphorus. *Plant Soil.*, The Hague, 39:93-101.
- WARD, R.C.; D.A.WHITNEY. e D.G.WESTFALL., 1973. Plant analysis as an aid in fertilizing small grains. In: WASH, L.M. e J.D. BEATON, ed. *Soil testing and plant analysis*. Madison, Soil Science Soc. of America. cap.20, p.329-48.
- WILSON, M.A. e B.G.ELLIS., 1979. Solubility of RP as influenced by Ca ion content in solution and surface area. *Agron. Abstr.* Madison, :186.
- YOST, R.S., 1977. Effect of rate and placement on availability and residual value of P in an Oxisol of Central Brazil. Raleigh, North Carolina State University. Department of Soil Science. 160p. (Tese de Doutorado).

YOST, R.S. et alii., 1981. Residual effects of phosphorus applications on a high phosphorus adsorbing oxisol of Central Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 45(3): 540-3.

YOST, R.S. et alii., 1982. Availability of rock phosphate measured by an acid tolerant pasture grass and extractable phosphorus. *Agron. J.*, Madison, 74(3):462-68.

ZUNINO, H. et alii., 1973. P uptake by wheat and resin-extractable phosphate after incubation in soil derived from volcanic ash. *Agron. J.*, Madison, 65(5):747-8.

7. APÊNDICE

APÊNDICE 1 - Teores de fósforo, cálcio, magnésio e potássio na matéria seca de plantas de trigo colhidas no 1º cultivo, em solo LE.
Os dados constituem médias de 3 repetições.

Tratamento ^{a/}	Teores de nutrientes				Tratamento ^{a/}	Teores de nutrientes			
	P	Ca	Mg	K		P	Ca	Mg	K
STP ₁ C ₁	0,20	0,26	0,23	3,16	STP ₁ C ₂	0,16	0,41	0,44	1,96
STP ₂ C ₁	0,18	0,31	0,26	2,40	STP ₂ C ₂	0,16	0,36	0,43	1,63
STP ₃ C ₁	0,18	0,29	0,24	1,63	STP ₃ C ₂	0,18	0,41	0,46	1,27
STP ₄ C ₁	0,19	0,31	0,23	1,33	STP ₄ C ₂	0,22	0,37	0,41	1,17
STP ₅ C ₁	0,26	0,31	0,22	1,25	STP ₅ C ₂	0,31	0,37	0,43	1,28
TEST. (P _O)C ₁	0,09	0,21	0,22	3,54	TEST. (P _O)C ₂	0,07	0,32	0,31	3,67
PA-M P ₂ C ₁	0,11	0,23	0,22	4,21	PA-M P ₃ C ₂	0,08	0,32	0,35	3,98
PA-M P ₃ C ₁	0,12	0,21	0,22 ^{b/}	4,33	PA-M P ₃ C ₂	0,09	0,39	0,38	4,00
PA-M P ₄ C ₁	0,13	0,23	0,20	4,28	PA-M P ₄ C ₂	0,08	0,31	0,31	3,57
PA-M P ₅ C ₁	0,19	0,26	0,22	4,44	PA-M P ₅ C ₂	0,08	0,32	0,32	3,88

^{a/} Combinação fonte x dose de P x dose de calcário. Símbolos e doses de fósforo, com forme, respectivamente, Tabelas 8 e 7; doses de calcário indicadas em 3.2.2. (texto).

^{b/} Média de 2 repetições.

APÊNDICE 2 - Teores de fósforo, cálcio, magnésio e potássio na matéria seca de plantas de trigo colhidas no 2º cultivo, em solo L.E.
Os dados constituem médias de 3 repetições.

Tratamento ^{a/}	Teores de nutrientes				Tratamento ^{a/}	Teores de nutrientes			
	P	Ca	Mg	K		P	Ca	Mg	K
STP ₁ C ₁	0,06	0,47	0,35	3,47	STP ₁ C ₂	0,09	0,42	0,45	2,51
STP ₂ C ₁	0,08	0,54	0,35	3,27	STP ₂ C ₂	0,11	0,42	0,44	3,36
STP ₃ C ₁	0,08	0,60	0,35	3,04	STP ₃ C ₂	0,10	0,40	0,42	3,00
STP ₄ C ₁	0,12	0,61	0,28	3,39	STP ₄ C ₂	0,11	0,34	0,38	1,46
STP ₅ C ₁	0,15	0,47	0,24	1,66	STP ₅ C ₂	0,19	0,40	0,40	1,10
TEST. (P _O)C ₁	0,05	0,31	0,25	3,79	TEST. (P _O)C ₂	0,06	0,47	0,44	3,13
PA-M P ₂ C ₁	0,05	0,39	0,26	3,93	PA-M P ₂ C ₂	0,06	0,43	0,40	3,17
PA-M P ₃ C ₁	0,06	0,36	0,20	3,86	PA-M P ₃ C ₂	0,06	0,41	0,40	3,23
PA-M P ₄ C ₁	0,07	0,42	0,22	4,06	PA-M P ₄ C ₂	0,07	0,40	0,37	3,44
PA-M P ₅ C ₁	0,07	0,41	0,18	3,99	PA-M P ₅ C ₂	0,09	0,41	0,37	3,82
STP ₅ C ₁ + M ^{b/}	0,17	0,52	0,24	1,43	STP ₅ C ₂ + M ^{b/}	0,19	0,37	0,38	0,99

a/ Combinação fonte x dose de P x dose de calcário. Símbolos e doses de fósforo, com firme, respectivamente, Tabelas 8 e 7; doses de calcário indicadas em 3.2.2.(texto).

b/ Tratamentos adicionais, introduzidos no 2º cultivo.

APÊNDICE 3 - Teores de fósforo, cálcio, magnésio e potássio na matéria seca de plantas de trigo colhidas no 1º cultivo, em solo L.V.
Os dados constituem médias de 3 repetições.

Tratamento ^{a/}	Teores de nutrientes				Tratamento ^{a/}	Teores de nutrientes			
	P	Ca	Mg	K		P	Ca	Mg	K
%									
STP ₁ C ₁	0,16	0,36	0,30	3,31	STP ₁ C ₂	0,16	0,45	0,45	2,37
STP ₂ C ₁	0,12	0,35	0,26	1,73	STP ₂ C ₂	0,14	0,38	0,41	1,33
STP ₃ C ₁	0,15	0,37	0,31	1,15	STP ₃ C ₂	0,18	0,41	0,44	1,20
STP ₄ C ₁	0,19	0,37	0,30	1,10	STP ₄ C ₂	0,21	0,39	0,38	1,20
STP ₅ C ₁	0,23	0,36	0,26	1,15	STP ₅ C ₂	0,31	0,46	0,41	1,45
TEST. (P _O)C ₁	0,04	0,22	0,23	2,99	TEST. (P _O)C ₂	0,07	0,31	0,30	2,78
PA-M P ₂ C ₁	0,08	0,21	0,17	3,32	PA-M P ₂ C ₂	0,09	0,32	0,32	2,70
PA-M P ₃ C ₁	0,07	0,26	0,19	3,50	PA-M P ₃ C ₂	0,11	0,26	0,25	3,47
PA-M P ₄ C ₁	0,10	0,24	0,18	3,83	PA-M P ₄ C ₂	0,14	0,29	0,28	4,36
PA-M P ₅ C ₁	0,11	0,29	0,21	3,70	PA-M P ₅ C ₂	0,13	0,29	0,28	3,70

a/ Combinação fonte x dose de P x dose de calcário. Símbolos e doses de fósforo conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7; doses de calcário indicadas em 3.2.2. (texto).

APÊNDICE 4 - Teores de fósforo, cálcio, magnésio e potássio na matéria seca de plantas de trigo colhidas no 2º cultivo, em solo L.V.
Os dados constituem médias de 3 repetições.

Tratamento ^{a/}	Teores de nutrientes				Tratamento ^{a/}	Teores de nutrientes			
	P	Ca	Mg	K		P	Ca	Mg	K
%					%				
STP ₁ C ₁	0,04	0,54	0,38	3,11	STP ₁ C ₂	0,07	0,40	0,36	3,04
STP ₂ C ₁	0,04	0,48	0,34	2,69	STP ₂ C ₂	0,08	0,39	0,36	2,81
STP ₃ C ₁	0,06	0,39	0,24	3,09	STP ₃ C ₂	0,08	0,38	0,32	3,32
STP ₄ C ₁	0,09	0,38	0,21	3,56	STP ₄ C ₂	0,09	0,38	0,30	2,75
STP ₅ C ₁	0,11	0,40	0,21	1,44	STP ₅ C ₂	0,12	0,38	0,29	1,45
TEST. (P _O)C ₁	0,04	0,34	0,28	3,67	TEST. (P _O)C ₂	0,04	0,41	0,35	3,22
PA-M P ₂ C ₁	0,04	0,46	0,28	3,77	PA-M P ₂ C ₂	0,04	0,42	0,35	3,09
PA-M P ₃ C ₁	0,05	0,43	0,23	3,52	PA-M P ₃ C ₂	0,05	0,36	0,29	3,19
PA-M P ₄ C ₁	0,05	0,43	0,19	3,54	PA-M P ₄ C ₂	0,08	0,34	0,28	3,14
PA-M P ₅ C ₁	0,11	0,34	0,14	3,88	PA-M P ₅ C ₂	0,13	0,36	0,25	3,84
<hr/>									
STP ₅ C ₁ + M ^{b/}	0,12	0,42	0,22	1,19	STP ₅ C ₂ + M ^{b/}	0,14	0,44	0,32	1,17

^{a/} Combinação fonte x dose de P x dose de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7; doses de calcário indicadas em 3.2.2. (texto).

^{b/} Tratamentos adicionais, introduzidos no 2º cultivo.

APÊNDICE 5. Análise da variância para dados de produção de matéria seca (Prod MS), fósforo, cálcio e magnésio absorvidos por plantas de trigo (respectivamente, Pabs, Caabs, Mgabs), no 1º cultivo, em solo LE.

Fonte de Gl. variação	Quadrados Médios					Teste F		
	Prod.MS	Pabs	Caabs	Mgabs	Prod.MS	Pabs	Caabs	Mgabs
Tratamento 19	193,6623	1202,5956	2657,3857	3165,5682	181,84**	362,59**	140,27**	172,88**
Bloco 2	0,8571	5,3938	62,0912	39,1692	0,80n.s	1,63n.s	3,28*	2,14n.s
Resíduo 38	1,0650	3,3167	18,9448	18,3107	-	-	-	-
C.V. (%)	11,08	9,93	13,79	13,64				

* Significativo a 5% de probabilidade;

** Significativo a 1% de probabilidade.

n.s. não significativo.

APÊNDICE 6. Análise da variância para dados de produção de matéria seca (Prod. MS), fósforo, cálcio e magnésio absorvidos por plantas de trigo (respectivamente, Pabs, Caabs e Mgabs), no 2º cultivo, em solo LE.

Fonte de variação	Gl	Quadrados			Médios			Teste F			
		Prod. MS	Pabs	Caabs	Mgabs	Prod. MS	Pabs	Caabs	Mgabs		
Tratamento	21	117,6198	413,0980	1946,0800	1559,5359	99,44**	56,32**	122,21**	119,97**		
Bloco	2	1,4367	2,0263	18,4090	10,6056	1,21ns	0,28ns	1,16ns	0,82ns		
Resíduo	42	1,1829	7,3352	15,9244	12,9992	-	-	-	-		
C.V. (%)		23,44	39,50	20,93	22,79						

** significativo a 1% de probabilidade; n.s. não significativo.

APÊNDICE 7. Análise da variância para dados de produção de matéria seca (Prod.MS), fósforo, cálcio e magnésio absorvidos por plantas de trigo (respectivamente, Pabs, Caabs e Mgabs) no 1º cultivo, em solo LV.

Fonte de Variação	Gl	Quadrados Médios				Teste F			
		Prod.MS	Pabs	Caabs	Mgabs	Prod.MS	Pabs	Caabs	Mgabs
Tratamento	19	223,4342	1321,9673	3855,6176	3288,0247	241,69**	147,49**	93,52**	111,33**
Bloco	2	6,0522	12,4906	14,4994	9,3868	6,55**	1,39ns	0,35ns	0,32ns
Resíduo	38	0,9245	8,9628	41,2274	29,5346	-	-	-	-
C.V. (%)		9,36	15,91	16,59	15,61				

** significativo a 1% de probabilidade; ns não significativo.

APÊNDICE 8. Análise da variância para dados de produção de matéria seca (Prod.MS), fósforo, cálcio e magnésio absorvidos por plantas de trigo (respectivamente, Pabs, Caabs e Mgabs), no 2º cultivo em solo LV.

Fonte de variação	Gl	Quadrados Médios				Teste F			
		Prod.MS	Pabs	Caabs	Mgabs	Prod.MS	Pabs	Caabs	Mgabs
Tratamento	21	117,9569	188,8953	2012,9554	824,4805	69,05**	49,03**	61,02**	59,01**
Bloco	2	0,2509	1,3142	3,1470	3,1106	0,15ns	0,34ns	0,10ns	0,22ns
Resíduo	42	1,7082	3,8527	32,9863	13,9718	-	-	-	-
C.V. (%)		26,51	36,79	29,11	28,75				

** significativo a 1% de probabilidade; ns não significativo.

APÊNDICE 9. Análises químicas do solo LE^a em amostras coletadas após o segundo cultivo de trigo, nos diferentes tratamentos com superfosfato triplo, fosfato Patos de Minas e testemunha (sem fósforo).

Determinações analíticas							Determinações analíticas								
Tratamento ^{b/}		pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	Sat. Al ³⁺	Tratamento ^{b/}		pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	Sat. Al ³⁺
		(H ₂ O)								(H ₂ O)					
Superfosfato triplo		1:1	e.mg%			Fosfato Pa		tos de Minas		1:1	e.mg%			-g-	
STP ₁ C ₁		4,0	0,85	0,40	0,15	1,84	57	PA-M P ₂ C ₁		4,0	0,90	0,45	0,26	1,71	52
STP ₂ C ₁		4,0	2,31	0,34	0,13	1,95	41	PA-M P ₃ C ₁		4,0	0,87	0,33	0,26	1,76	55
STP ₃ C ₁		4,0	0,98	0,36	0,12	1,84	56	PA-M P ₄ C ₁		4,0	1,10	0,40	0,19	1,60	49
STP ₄ C ₁		4,0	1,31	0,39	0,12	1,76	49	PA-M P ₅ C ₁		4,0	1,28	0,41	0,22	1,65	46
STP ₅ C ₁		4,2	1,74	0,35	0,04	1,57	42	PA-M P ₂ C ₂		4,7	3,17	2,11	0,20	0,43	7
STP ₁ C ₂		4,9	2,95	1,87	0,09	0,37	7	PA-M P ₃ C ₂		4,7	3,04	2,33	0,21	0,45	7
STP ₂ C ₂		4,8	3,22	2,24	0,08	0,37	6	PA-M P ₄ C ₂		4,7	3,00	2,09	0,23	0,48	8
STP ₃ C ₂		4,9	3,34	2,13	0,07	0,27	5	PA-M P ₅ C ₂		4,7	3,28	2,46	0,20	0,40	6
STP ₄ C ₂		5,1	3,07	1,83	0,03	0,27	5	Testemunha							
STP ₅ C ₂		5,2	3,65	1,85	0,03	0,24	4	P ₀ C ₁		4,0	0,84	0,43	0,27	1,76	53
								P ₀ C ₂		4,7	2,97	1,96	0,22	0,48	8
STP ₅ C ₁ +M ^{c/}		4,2	1,77	0,32	0,04	1,60	43	STP ₅ C ₂ +M ^{c/}		5,1	3,58	1,77	0,05	0,27	5

^{a/}Dados médios de 3 repetições.

^{b/}Combinação fonte x dose de P x dose de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas em 3.2.2.

^{c/}Tratamentos com dose de manutenção de 80 kg de P₂O₅/ha, como superfosfato triplo.

APÊNDICE 10. Análises químicas do solo LV^a/em amostras coletadas após o segundo cultivo de trigo, nos diferentes tratamentos com superfosfatos triplo, fosfato Patos de Minas e testemunha (sem fósforo).

Determinações analíticas							Determinações analíticas						
Tratamento ^{b/}	pH (H ₂ O)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	Sat. Al ³⁺	Tratamento ^{b/}	pH (H ₂ O)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	Sat. Al ³⁺
Superfosfa to triplo	1:1	e.mg%				-%	Fosfato Pa tos de Minas	1:1	e.mg%				-%
STP ₁ C ₁	3,9	0,81	0,43	0,13	0,80	37	PA-M P ₂ C ₁	3,9	1,02	0,44	0,29	0,77	31
STP ₂ C ₁	4,1	0,88	0,33	0,14	0,77	36	PA-M P ₃ C ₁	3,9	1,09	0,34	0,29	0,72	30
STP ₃ C ₁	4,2	0,95	0,33	0,12	0,69	33	PA-M P ₄ C ₁	4,1	1,37	0,32	0,25	0,64	25
STP ₄ C ₁	4,2	1,25	0,20	0,07	0,48	24	PA-M P ₅ C ₁	4,2	1,78	0,38	0,14	0,56	20
STP ₅ C ₁	4,8	1,71	0,27	0,04	0,40	16	PA-M P ₂ C ₂	4,4	1,65	0,98	0,28	0,37	11
STP ₁ C ₂	4,5	1,60	0,83	0,09	0,29	10	PA-M P ₃ C ₂	4,4	1,92	0,97	0,26	0,35	10
STP ₂ C ₂	4,7	1,54	0,82	0,12	0,29	10	PA-M P ₄ C ₂	4,5	1,83	0,92	0,25	0,29	9
STP ₃ C ₂	4,7	1,66	0,81	0,10	0,29	10	PA-M P ₅ C ₂	4,6	2,06	0,95	0,12	0,24	7
STP ₄ C ₂	4,9	2,07	0,87	0,05	0,21	7	Testemunha						
STP ₅ C ₂	5,1	2,31	0,73	0,03	0,16	5	P ₀ C ₁	3,9	0,71	0,36	0,34	0,75	35
							P ₀ C ₂	4,3	1,73	1,00	0,27	0,37	11
STP ₅ C ₁ +M ^{c/}	4,8	1,78	0,26	0,04	0,40	16	STP ₅ C ₂ +M ^{c/}	5,1	2,34	0,66	0,03	0,16	5

a/ Dados médios de 3 repetições.

b/ Combinação fonte x dose de P x dose de calcário. Símbolos e doses de fósforo, conforme, respectivamente, Tabelas 8 e 7. Doses de calcário indicadas em 3.2.2.

c/ Tratamentos com dose de manutenção de 80 kg de P₂O₅/ha, como superfosfato triplo.