



FÓSFORO EM LATOSSOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS:
INTENSIDADE, CAPACIDADE TAMPÃO E QUANTIDADE DE
FÓSFORO, FÓSFORO "DISPONÍVEL" E
CRESCIMENTO VEGETAL

*Cláudio Da Mouches
o meu amigo
Antônio Bahia Filho
28/08/74*

por

ANTÔNIO FERNANDINO DE CASTRO BAHIA FILHO

*T
09/74*

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
Exigências do Curso de Fitotecnia,
para a Obtenção do Grau de "Magis-
ter Scientiae".

VIÇOSA - MINAS GERAIS

1974

FÓSFORO EM LATOSSOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS:
INTENSIDADE, CAPACIDADE TAMPÃO E QUANTIDADE DE
FÓSFORO, FÓSFORO "DISPONÍVEL" E
CRESCIMENTO VEGETAL

por

ANTÔNIO FERNANDINO DE CASTRO BAHIA FILHO

APROVADA:


José Mário Braga
Orientador


Luiz Antônio N. Fontes


Onofre C. Brunano Pinto
Conselheiro


Sôrvulo Batista Rezende


Telmo Carvalho A. Silva

À Ângela Maria
À memória de meus avós

AGRADECIMENTOS

Às instituições, Universidade Federal de Viçosa, Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Oeste e Conselho Nacional de Pesquisas, pela oportunidade de realizar o Curso de Mestrado em Fitotecnia.

Ao professor José Mário Braga, pela orientação e amizade.

Ao professor Onofre Cristo Brunano Pinto, pelas críticas construtivas, sugestões e eficientes ensinamentos.

Aos professores Fábio Ribeiro Gomes e Laede Mafia de Oliveira, pelo auxílio dispensado às análises estatísticas.

Ao professor Márcio de Moura Estevão, pela dedicação e interesse sempre demonstrados.

Ao professor Francisco Geraldo França Teixeira de Castro Bahia, pelo apoio e estímulo.

Ao Químico Tecnologista José Ferreira Mendes e ao Eng.^o-Agr.^o Hélio Lopes dos Santos, pelas análises químicas realizadas no IPEACO.

Aos colegas Víctor Hugo Alvarez Venegas e Antônio Carlos Ribeiro, pela amizade que sempre me dispensaram.

Aos funcionários da U.F.V., Pedro Ferreira Coelho e Bernardino dos Santos, pela grande colaboração emprestada durante a fase experimental deste trabalho.

À Ilka Aparecida Guerra e Cleone G. Guerra, pelos serviços de datilografia.

Aos amigos, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

•

BIOGRAFIA DO AUTOR

ANTÔNIO FERNANDINO DE CASTRO BAHIA FILHO, filho de Antônio Fernandino de Castro Bahia e Dagna França Teixeira de Castro Bahia, nasceu em Sete Lagoas, Minas Gerais, aos trinta dias de dezembro de 1947.

Cursou até o 2.º ciclo naquela cidade, ingressando em 1966 na Universidade Federal de Viçosa.

Diplomou-se em Engenharia Agronômica e diversificou-se em Fitotecnia, pela mesma universidade. Em 1969, iniciou sua carreira profissional no Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Oeste, onde vem realizando trabalhos na área de Fertilidade do Solo.

Iniciou o seu Curso de Mestrado, em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, em fevereiro de 1972, como bolsista do Conselho Nacional de Pesquisas.

CONTEÚDO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Intensidade e capacidade tampão de fósforo	4
2.2. Quantidade de fósforo	10
2.3. Fósforo "disponível"	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. Solos estudados	12
3.2. Determinação do potencial de fosfato não-cálcico	12
3.3. Cálculo da capacidade tampão de fósforo	14
3.4. Determinação das formas de fósforo inorgânico nas amostras de solo	15
3.5. Determinação de fósforo "disponível"	15
3.6. Análise mineralógica das argilas.	16
3.7. Ensaio em casa de vegetação	17
3.7.1. Incubação das amostras de solo	17
3.7.2. Montagem e condução do ensaio.	17
3.8. Análises estatísticas	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1. Intensidade e capacidade tampão de fósforo	20
4.2. Quantidade de fósforo	30
4.3. Fósforo "disponível" e sua relação com formas de fósforo inorgânico.	33
4.4. Ensaio em estufa	37

	Página
4.5. Produção de matéria seca e fósforo absorvido em função dos fatores intensidade, capacidade e quantidade de fósforo . . .	42
4.6. Produção de matéria seca e fósforo absorvido em relação a teores de fósforo "disponível"	49
5. RESUMO E CONCLUSÕES	52
6. LITERATURA CITADA	55
7. APÊNDICE	63

LISTA DE QUADROS E FIGURAS

QUADROS		Página
1	Classificação e procedência das amostras de solo	13
2	Notação utilizada na classificação das amostras de solo em grande grupo. . .	14
3	Relação dos extratores químicos (composição química, tempo de agitação e relação solo:solução) utilizados na obtenção de fósforo "disponível". . . .	16
4	Coefficientes das regressões ajustadas entre potencial de fosfato monocálcico ($0,5 \text{ pCa} + \text{pH}_2\text{PO}_4$) e quantidade de fósforo adsorvido (Q)	21
5	Fatores intensidade ($0,5 \text{ pCa} + \text{pH}_2\text{PO}_4$) e capacidade tampão de fósforo nas amostras de solo	26
6	Coefficientes de correlação linear entre a capacidade tampão de fósforo e algumas variáveis para os solos em estudo	28
7	Análise mineralógica qualitativa da fração argila dos solos estudados . .	29
8	Teores de fósforo em formas inorgânicas (ppm)	31
9	Teores de fósforo disponível (ppm) obtidos com extratores químicos nas amostras de solo	34
10	Coefficientes de correlação linear entre os métodos de avaliação da disponibilidade de fósforo	35

QUADROS

Página

11	Análises de variância das equações de regressão ajustadas entre teor de fósforo "disponível" e frações de fósforo inorgânico	36
12	Efeito de níveis de adsorção máxima de fósforo na produção de matéria seca de aveia e absorção de fósforo. Médias de três repetições	38
13	Análises de variância dos dados de produção de matéria seca de aveia e absorção de fósforo (quadrados médios) nos vinte latossolos	39
14	Coefficientes das regressões ajustadas entre produção de matéria seca de aveia e níveis de fósforo aplicados. .	40
15	Doses de fósforo necessárias para produção máxima de matéria seca de aveia nos vinte latossolos	41
16	Equações de regressão ajustadas entre produção de matéria seca de aveia no tratamento testemunha (Y), potencial de fosfato monocálcico (I) e capacidade de tampão de fósforo (C)	43
17	Equações de regressão ajustadas entre fósforo absorvido por plantas de aveia no tratamento testemunha (Y), potencial de fosfato monocálcico (I) e capacidade tampão de fósforo (C) . . .	44
18	Análise de variância da equação de regressão ajustada entre produção de matéria seca de aveia no tratamento testemunha e frações de fósforo inorgânico	45

QUADROS

Página

19	Análise de variância da equação de regressão ajustada entre fósforo absorvido no tratamento testemunha e frações de fósforo inorgânico.	46
20	Equações de regressão ajustadas entre dose de fósforo para a produção máxima de matéria seca (Y), potencial de fosfato monocálcico (I) e capacidade tampão de fósforo (C)	48
21	Equações de regressão ajustadas entre produção de matéria seca e fósforo absorvido no tratamento testemunha e teores de fósforo "disponível"	50
1A	Análises químicas das amostras dos solos em estudo	64
2A	Características físicas e químicas das amostras dos solos em estudo	65
3A	Valores de capacidade máxima de adsorção de fósforo e constante de equilíbrio, determinados pela isoterma de Langmuir, nas amostras de solo	66
4A	Composição química da solução nutritiva utilizada no ensaio em estufa.	67
5A	Análises de variância das equações de regressão ajustadas entre produção de matéria seca de aveia e níveis de fósforo aplicados	68

FIGURAS

1	Relações entre potencial de fosfato monocálcico ($0,5 \text{ pCa} + \text{pH}_2\text{PO}_4$) e fósforo adsorvido (Q) nas amostras de solo 1 a 10. (Grande grupo de solo - Latosol Vermelho Escuro)	23
---	--	----

FIGURAS		Página
2	Relações entre potencial de fosfato monocálcico ($0,5 \text{ pCa} + \text{pH}_2\text{PO}_4$) e fósforo adsorvido (Q) nas amostras de solo 11 a 17. (Grande grupo de solo - Latossol Vermelho Amarelo)	24
3	Relações entre potencial de fosfato monocálcico ($0,5 \text{ pCa} + \text{pH}_2\text{PO}_4$) e fósforo adsorvido (Q) nas amostras de solo 18 a 20. (Grande grupo de solo - Latossol Roxo)	25

1. INTRODUÇÃO

No estudo da disponibilidade de fósforo no solo, atualmente, sobressaem duas linhas de pesquisa.

Na primeira delas, o fósforo disponível é obtido através do uso de processos químicos empíricos, uma vez que o fósforo extraído não é originário de um composto definido, mas provém de diferentes tipos de fosfatos presentes no solo. Esses fosfatos constituem a reserva do nutriente no solo, denominada comumente de quantidade "disponível" de fósforo, sendo que o fósforo obtido pelos extratores químicos representa parte desta reserva, que pode ser absorvida pelo vegetal.

O uso destes extratores, entretanto, somente permite que se conheça a fertilidade do solo em determinado momento, sendo este conhecimento de natureza estritamente estática. Semelhante restrição é feita aos estudos de fracionamento de formas inorgânicas de fósforo, bem como o relaçionamento destas formas com os teores de fósforo "disponível", obtidos pelos extratores químicos.

A segunda linha de pesquisa é constituída pela aplicação de conhecimentos de natureza físico-química no sistema solo-solução. A disponibilidade de fósforo é ca-

racterizada, neste caso, pela atividade de fósforo em solução (parâmetro intensidade) e pela resistência do solo à modificação desta atividade pela adição ou remoção de fósforo (parâmetro capacidade tampão de fósforo).

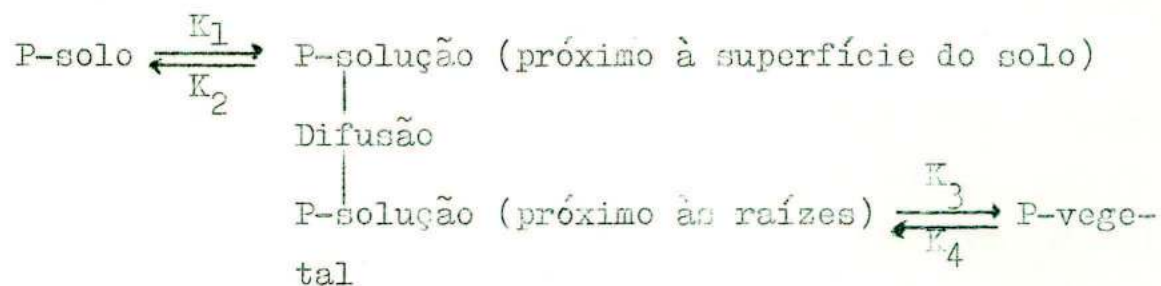
A associação de parte dos conhecimentos existentes nestes dois ramos de estudo da disponibilidade de fósforo fundamenta o presente trabalho, que tem como objetivos:

1. Determinar os valores dos parâmetros intensidade e capacidade tampão em latossolos e a relação destes parâmetros com o vegetal.

2. Verificar as relações existentes entre índices de disponibilidade de fósforo, formas de fósforo inorgânico e crescimento vegetal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A absorção de fósforo pelo vegetal pode ser representada pela equação:



Esta equação, proposta por GUNARY e SUTTON (28), descreve a disponibilidade de fósforo para o vegetal e mostra que esta disponibilidade depende da reserva de fósforo no solo, do nível deste elemento em solução, da velocidade de movimentação de fosfato da fase sólida para a fase líquida do solo (relação K_1/K_2) e da difusão do fósforo, colocado em solução próximo à superfície do solo, até à superfície das raízes. As constantes K_3 e K_4 relacionam-se com a absorção de fósforo pelo vegetal, sendo que K_4 é desprezível para plantas em intenso crescimento, e K_3 somente é limitante em altas concentrações de fósforo.

Os fatores do solo, que influenciam na absorção de fósforo pelo vegetal, constituem o fator reposição defini-

do por KHASAWNEH (37) como o resultado da interação de três parâmetros interdependentes: intensidade (P-solução), capacidade tampão (relação K_1/K_2 e difusão de fósforo) e quantidade de fósforo (P-solo).

2.1. Intensidade e capacidade tampão de fósforo

O fator intensidade de fósforo é usualmente expresso pela atividade dos íons ortofosfato em solução (53) por potenciais químicos (4, 48, 65), produtos iônicos (8) e transformações da atividade de $H_2PO_4^-$ ou da concentração de fósforo em solução (4).

Em 1955, SCHOFIELD (56) sugeriu que a disponibilidade de fósforo para o vegetal é determinada pelo potencial químico adequado e pela manutenção desta disponibilidade, quando há remoção de fósforo pelo vegetal. O potencial químico sugerido por SCHOFIELD foi o de fosfato monocálcico ($0,5 pCa + p H_2PO_4^-$) determinado em solução de $CaCl_2$ 0,01 M, em substituição à água.

A determinação do potencial proposto, entretanto, acarreta uma série de dificuldades, apontadas por LARSEN (39) como desequilíbrio entre o solo e a solução de $CaCl_2$, atividade microbiana, influência da relação solo : solução e formação de complexos solúveis. Ao lado destes problemas, o uso de $CaCl_2$ na solução de equilíbrio não corresponde à prática alguma de fertilização do solo (53). Para eliminar este problema, RAMA MOORTHY e SUBRAMANIAN (53) propuzeram a utilização de soluções de $CaCl_2$ com concentrações crescentes de fósforo, semelhantes às usadas em

adubação.

A validade da utilização do potencial de fosfato sugerido por SCHOFIELD, como índice de disponibilidade de fósforo para o vegetal, foi comprovada por estudos de BARROW (6) LE MARE (40), RAMA MOORTHY e SUBRAMANIAN (53) e SAXENA (55). Os resultados de BACHE e ROGERS (4) mostram, entretanto, que o potencial de fosfato monocálcico não se correlacionou significativamente com nenhum dos parâmetros utilizados para medir o crescimento vegetal. A falta de significância na correlação entre o fator intensidade utilizado e os outros parâmetros foi atribuída a diferenças entre os teores de cálcio dos solos estudados, uma vez que o potencial de fosfato monocálcico somente pode ser usado comparativamente para solos com teores semelhantes deste cátion (4, 65). Esta restrição, no entanto, parece carecer de fundamento, uma vez que a atividade de cálcio na solução de equilíbrio pode ser determinada. Assim, as variações nos teores de cálcio entre solos são considerados no cálculo do potencial de fosfato monocálcico. BACHE e ROGERS (4) acentuam, ainda, que as melhores correlações são obtidas utilizando-se a concentração de fósforo em solução, ao invés de produtos iônicos.

Embora o trabalho de LE MARE (40) tenha sido realizado em solos tropicais, ASLYNG (2), CLARK e PEECH (22) demonstraram que, em solos neutros, o conteúdo de fósforo em extratos de solo poderia ser explicado pelo princípio de solubilidade de fosfato de cálcio, o mesmo não se verificando para solos ácidos. Assim, em solos onde a única reserva de fósforo consiste em fosfatos básicos de ferro e alumínio, é pouco provável que o potencial de fosfato mo

nocálcico seja a única propriedade do sistema solo-solução (65). Estes fosfatos básicos são, entretanto, de composição e solubilidade pouco definidas (3), dificultando, deste modo, o estabelecimento do potencial químico adequado. Para solos ácidos, os resultados de LINDSAY et alii (41) sugerem que o fator intensidade pode ser expresso pelo potencial de fosfato de alumínio. Outros trabalhos (29, 38) realizados em solos ácidos, reforçam esta pressuposição.

O conceito de potencial proposto por SCHOFIELD (56) indica, ainda, que solos com o mesmo potencial de fosfato podem diferir na capacidade de manter constante a atividade de fósforo em solução, quando há remoção ou adição deste elemento ao solo. Esta capacidade foi descrita por BECKETT e WHITE (8) como sendo a propriedade do solo em manter constante o parâmetro intensidade na solução do solo. Estes autores propuzeram o termo PBC ("potential buffering capacity") como sendo a relação $(\frac{dQ}{dI})_I$ ou $(\frac{\Delta Q}{\Delta I})_{I' \rightarrow I''}$ a um dado potencial (I), ou a um intervalo de potenciais ($I' \rightarrow I''$). Estas relações foram estabelecidas, entretanto, considerando-se o produto de atividades ($\sqrt{a_{Ca}} \times a_{H_2PO_4}$) como fator intensidade, ao invés de potencial de fosfato monocálcico.

As duas expressões propostas por BECKETT e WHITE (8) são aplicáveis no cálculo da capacidade tampão em duas situações distintas. Na primeira delas, quando a relação entre o fator quantidade (Q) e intensidade (I) é curvilínea, o valor PBC é calculado pela relação $(\frac{dQ}{dI})_I$. A rela-

ção $(\frac{\Delta Q}{\Delta I})_{I' \rightarrow I''}$ é aplicável em casos onde a relação entre Q e I é linear. Em qualquer das duas situações os valores da capacidade tampão (PBC) são positivos, uma vez que as variações em Q e I ($\sqrt{a C_a} \times a_{H_2PO_4^-}$) ocorrem no mesmo sentido.

Mais tarde, JENSEN (34) introduziu o conceito DPBC ("differential phosphate potential buffering capacity") definido como a quantidade de fósforo a ser adicionado ou retirado por grama de solo, para causar uma definida alteração no valor do potencial de fosfato. O termo capacidade diferencial é usado para indicar que a capacidade tampão depende do potencial de fosfato. O valor DPBC é definido por este autor (34) como sendo a relação $DPBC = -(\frac{\Delta Q}{\Delta I})_{I_0}$, onde I_0 é o potencial de fosfato monocálcico extrapolado, quando se considera nas relações matemáticas observadas, o valor do parâmetro quantidade igual a zero. Esta relação para cálculo do valor de DPBC é semelhante à expressão $PBC = (\frac{\Delta Q}{\Delta I})_{I' \rightarrow I''}$, sugerida por BECKETT e WHITE (8). O termo "differential phosphate potential buffering capacity" indica, entretanto, que a capacidade tampão de fósforo não é um termo constante, como sugere a fórmula apresentada por JENSEN (34).

Em ampla revisão sobre o assunto, KHASAWNEH (37) define claramente os conceitos sobre capacidade tampão. Este autor estabelece que, quando a relação entre Q e I é linear, a capacidade tampão é um termo constante definida por $\frac{\Delta Q}{\Delta I}$. Quando a relação é curvilínea, a capacidade

de tampão é variável e depende de I, sendo denominada capacidade tampão diferencial (DBC) e expressa por $\frac{dQ}{dI}$. Nas duas expressões, o fator intensidade é representado pela atividade do íon em solução. Quando for utilizado o potencial de fosfato monocálcico como fator intensidade haverá apenas, nas duas expressões apresentadas, alteração do sinal, que de positivo passará a negativo, uma vez que aumentos na quantidade de fósforo adsorvido (Q) causam decréscimos no valor do potencial de fosfato monocálcico (I). Por outro lado, o valor da capacidade tampão dado pela fórmula $\frac{dQ}{dI}$ dependerá não somente da natureza do solo, mas também do valor de I em que for calculada a tangente. Para evitar este problema, BARROW (6) sugere que a capacidade tampão seja calculada a um valor constante de intensidade, sendo que a escolha deste ponto é inteiramente arbitrária.

As relações entre quantidade (Q) e potencial de fosfato (I) geralmente são retilíneas (34), porém, BARROW et alii (54) admitem que estas relações sejam curvilíneas, e que a curva obtida, provavelmente, é o ramo inferior de uma sigmóide. Eventualmente, a curva pode mudar de concavidade, quando a quantidade de fósforo adicionada aproxima-se da capacidade máxima de adsorção de fósforo. Nesta situação particular, grandes alterações no potencial de fosfato causam pequenas variações na quantidade de fósforo sorvido.

Além da importância da capacidade tampão de fósforo na manutenção do potencial de fosfato na zona de influência das raízes (7, 8, 34), há algumas evidências de

que este fator afeta a velocidade de reposição de fósforo na solução do solo (7, 48), bem como a lixiviação deste nutriente (7).

Os solos variam na sua capacidade tampão de fósforo, sendo esta variação dependente dos pontos de adsorção de fósforo (8). A adsorção de fósforo ocorre nas superfícies de argilas, e especialmente nas de óxidos de ferro e alumínio (30, 44), sendo que BECKETT e WHITE (8) postulam que, dependendo do pH, as superfícies de fosfatos de alumínio, ferro e cálcio são agentes efetivos na adsorção de fósforo. Alguns trabalhos mostram que há uma relação direta entre a capacidade tampão de fósforo e quantidade de argila, alumínio e fósforo inorgânico presentes no solo (34, 43, 64).

A influência do fator capacidade no crescimento vegetal pode ser expressa pelos modelos matemáticos estabelecidos por OLSEN e WATANABE (48) e NYE (46). Nestes modelos, a absorção de um íon aumenta proporcionalmente à raiz quadrada da capacidade tampão. Utilizando estes modelos e a transformação logarítmica da capacidade, SALMON (54) sugere a existência de dois tipos de influência do poder tampão na quantidade de fósforo a ser adicionado ao solo para obtenção de produção máxima. O primeiro efeito refere-se à atuação da capacidade tampão através da adsorção, limitando o aumento da intensidade pela adição de fósforo, sendo necessárias maiores doses de fósforo para produção máxima.

Este efeito é, segundo SALMON (54), representado pela transformação $\log C$, sendo C a capacidade tampão de fósforo. A necessidade de adubação fosfatada pode decrescer, entretanto, desde que haja manutenção de melhor in-

tensidade e taxa de difusão durante o crescimento do vegetal, favorecendo a absorção de fósforo pelas plantas. Neste caso, a função \sqrt{C} representa melhor o efeito do fator capacidade (54).

2.2. Quantidade de fósforo

O fator quantidade (Q) mede a reserva de um íon na fase sólida do solo, sendo constituído pelas formas trocável e adsorvida, e raramente pelas formas precipitadas ou de compostos químicos (37).

Este parâmetro pode ser avaliado, no caso de fósforo, por diluição isotópica (valores L e E) (4, 28, 37), pela técnica de cortes sucessivos de um vegetal (63) ou pelo teor de fósforo inorgânico no solo (4). Através do fracionamento de CHANG e JACKSON (19), pode-se, por outro lado, separar as formas de fósforo constituintes da fração inorgânica deste elemento no solo, embora a distinção de formas ligadas a alumínio e ferro seja ponto discutido desta metodologia (26, 59). Outro aspecto, enfatizado em alguns trabalhos, é que os extratores utilizados no fracionamento não extraem definidos compostos de fósforo, mas vários tipos de fosfatos (23, 49, 52).

Numerosos pesquisadores têm procurado determinar qual é a forma de fósforo inorgânico que é absorvida preferencialmente pelo vegetal (1, 11, 25, 49, 57, 60, 61). Todos estes trabalhos estabelecem a existência de relações funcionais entre o fator quantidade e crescimento vegetal. Estas relações foram objeto de extensa revisão por KHASAWNEH (37), ficando evidenciado que:

1. A absorção de um nutriente aumenta linearmente com o parâmetro quantidade; entretanto, a medida que o valor deste parâmetro aumenta, a absorção aproxima-se gra

dualmente de um máximo. Esta relação é válida, desde que os parâmetros intensidade e capacidade tampão sejam constantes.

2. Em experimentos em casa de vegetação, quando o volume do solo explorado pelas raízes é limitado ou quando o cultivo exaustivo é parte do delineamento experimental, a absorção é função do parâmetro quantidade.

3. A relação entre absorção e quantidade é diferente de solo para solo, e não pode ser extrapolada de um para outro, a não ser nas condições descritas no item 2.

• 2.3. Fósforo "disponível"

O conceito de disponibilidade proposto por BRAY (13) relaciona a quantidade de um elemento independente de sua forma, em dado momento, com o crescimento vegetal. Desde que haja o relacionamento da quantidade de um elemento, obtida pelo uso de um extrator químico, com o crescimento vegetal, pode-se aceitar a substância empregada na extração como um extrator da forma "disponível". Estes extratores, como acentua FASSBENDER (23), além de apresentarem o inconveniente de alterar as características dos solos constituem metodologia relativamente empírica, pois o fósforo que extraem não é um composto definido, uma vez que se origina de diferentes fosfatos presentes no solo.

Os teores obtidos pelo uso de extratores de fósforo "disponível" dependem, entre outros fatores, das quantidades relativas das formas de fósforo no solo, da solubilidade destas formas nos extratores utilizados, além da atividade destas formas (18, 20, 21, 49). Assim, os trabalhos que relacionam teores de fósforo disponível e formas de fósforo inorgânico (1, 5, 10, 17, 21, 36, 49, 52, 55, 57, 60) evidenciam a predominância de um destes fatores ou o seu efeito conjugado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Solos estudados

Foram coletadas amostras compostas superficiais de 20 latossolos em vários locais do Estado de Minas Gerais (Quadro 1), sendo que a notação utilizada na classificação em grande grupo acha-se no Quadro 2.

Estas amostras foram analisadas segundo o método utilizado pela Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo (62), e algumas características químicas e físicas são apresentadas nos Quadros 1A e 2A (Apêndice).

3.2. Determinação do potencial de fosfato monocálcico

A metodologia utilizada nesta determinação foi a proposta por WHITE e BECKETT (65), com modificação nas quantidades de fósforo empregadas. Esta modificação foi feita no presente trabalho, uma vez que os solos estudados apresentam valores de capacidade máxima de adsorção de fósforo, que atingem até 0,63 mg P/g solo (Quadro 3A). Deste modo, as soluções de CaCl_2 0,01 M, que foram adicionadas ao solo, continham concentrações crescentes de fósforo (0 - 60 ppm) na forma de KH_2PO_4 , de forma a atingir, na maioria dos solos, a capacidade máxima de adsorção de fósforo.

QUADRO 1. Classificação e procedência das amostras de solo.

Grande grupo de solo	N.º de amostras	Locais de coleta
Latosol Vermelho Escuro - textura argilosa	9	Felixlândia, Lavras, São Sebastião do Paraíso, Sete Lagoas, Uberlândia
Latosol Vermelho Escuro - textura média	1	Ituiutaba
Latosol Vermelho Amarelo - textura argilosa	5	Araxá, Formiga, Minas Nova, Sete Lagoas, Viçosa
Latosol Vermelho Amarelo - textura média	2	Cristais e Pirapora
Latosol Roxo distrófico	2	Centralina e Uberaba
Latosol Roxo eutrófico	1	Capinópolis

Para a determinação do fósforo em solução, utilizou-se o método colorimétrico de BRAGA e DEFELIPO (12). Como não foi observada variação do pH nas soluções de equilíbrio, não se efetuou a determinação de cálcio, conforme acentuam WHITE & BECKETT (64) e JENSEN (34). Deste modo, a concentração inicial deste cátion (0,01 M) foi utilizada nos cálculos de força iônica, coeficiente de atividade e potencial de fosfato monocálcico, através do uso das fórmulas propostas por ASLYNG (2).

QUADRO 2. Notação utilizada na classificação das amostras de solo em grande grupo.

Símbolo	Grande grupo de solo
LE	Latosol Vermelho Escuro textura argilosa
LEm	Latosol Vermelho Escuro textura média
LV	Latosol Vermelho Amarelo textura argilosa
LVm	Latosol Vermelho Amarelo textura média
LRd	Latosol Roxo distrófico
LRc	Latosol Roxo eutrófico

Para o cálculo da quantidade de fósforo adsorvida ou desorvida, considerou-se a diferença entre a quantidade inicial colocada e a final determinada na solução de equilíbrio.

Ajustaram-se as equações de regressão entre os valores calculados de potencial de fosfato monocálcico (I) e quantidade de fósforo adsorvida (Q) expressa em moles de $P \cdot 10^{-8}$ /g de solo. As curvas obtidas foram extrapoladas para $Q = 0$, obtendo-se os valores de I_0 (potencial de fosfato monocálcico do solo) (34).

3.3. Cálculo da capacidade tampão de fósforo

Através das equações ajustadas entre potencial de fosfato monocálcico e quantidade de fósforo adsorvida, calcularam-se os valores de capacidade tampão, que são representados neste trabalho por C, de acordo com a notação utilizada por SALMON (54). Estes valores foram obtidos uti

zando-se a relação $C = - \frac{1}{\frac{dI}{dQ}}$. Quando as relações foram curvilíneas, o valor de $\frac{dI}{dQ}$ foi calculado no ponto de tangência $Q = 2 \cdot 10^{-6}$ moles de P/g de solo. A escolha deste ponto é arbitrária, como acentua BARROW (6), e tem a finalidade de evitar que os valores da capacidade tampão dependam, além da natureza dos solos, dos valores de potencial.

3.4. Determinação das formas de fósforo inorgânico nas amostras de solo

As amostras foram fracionadas segundo o método de CHANG e JACKSON (19), modificado por PETERSEN e COREY (50). As frações obtidas, fósforo solúvel em NH_4Cl , em NH_4F , $NaOH$, ditionito-citrato-bicarbonato e H_2SO_4 foram designadas, respectivamente, como P-Sol, P-Al, P-Fe, P-Red e P-Ca.

3.5. Determinação de fósforo "disponível"

Na obtenção dos teores de fósforo "disponível" utilizaram-se os extratores químicos Bray 1, IAC, Mehlich e Olsen (Quadro 3). O fósforo no filtrado foi determinado pelo método citado em 3.2.

QUADRO 3. Relação dos extratores químicos (composição química, tempo de agitação e relação solo:solução) utilizados na obtenção de fósforo "disponível".

Nome do extrator	Composição química	Relação solo:solução	Tempo de agitação	Referência
Bray 1	NH ₄ F 0,03 N HCl 0,025 N	1 : 10	1 minuto	BRAY (14)
IAC	H ₂ SO ₄ 0,05 N	1 : 25	15 minutos	CATANI <u>et alii</u> (16)
Mehlich	H ₂ SO ₄ 0,025 N HCl 0,05 N	1 : 10	5 minutos	VETTORI (62)
Olsen	NaHCO ₃ 0,5 N	1 : 20	30 minutos	JACKSON (33)

3.6. Análise mineralógica das argilas

Aproximadamente 10 g de terra fina seca ao ar (TFSA) foram submetidos à remoção de matéria orgânica e ferro, em pregando-se o método de JACKSON (32), modificado por PINTO et alii (51).

Após estes tratamentos, as amostras foram fracionadas pelo método da centrífuga (32), usando-se, na primeira lavagem, uma solução 1 g de hexametáfosfato de sódio por litro, como agente dispersante (51). As demais lavagens foram feitas com água, sendo coletada no final apenas a fração argila.

Foram tomadas duas amostras da fração argila de cada solo e feita a saturação com magnésio e potássio, utilizando-se o método de JACKSON (32).

Após a dispersão, 3 ml das suspensões obtidas foram colocadas em lâminas de vidro, secadas ao ar e submetidas a análise de difração dos raios X com radiações de Cu-Ni, em aparelho Philips da Universidade Federal de Ouro Preto.

3.7. Ensaio em casa de vegetação

3.7.1. Incubação das amostras de solo

A necessidade de calagem para as amostras de solo foi determinada pelo método SMP (58), sendo adicionada a quantidade de corretivo necessária para elevar o pH a 6,0.

O material corretivo utilizado consistiu de uma mistura de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e $\text{Mg}(\text{OH})_2$ na proporção de 4:1. Foram pesados 15 kg de cada solo e misturados às respectivas quantidades de corretivo calculadas, colocados em sacos de plástico, irrigados à capacidade de campo e fechados.

Semanalmente, a água perdida foi repostá, tendo sido misturado novamente o conteúdo de cada saco plástico. A incubação foi feita até que se atingisse estabilização do pH das amostras de solo.

3.7.2. Montagem e condução do ensaio

Após a incubação, as amostras de solo foram secadas ao ar, destorradas e passadas em peneira de 2 mm de abertura. A cada 3 kg de solo foi adicionado fósforo na forma de $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (p.a.), nas dosagens de 0,0 x; 0,4 x; 0,8 x e 1,2 x, sendo x a capacidade máxima de adsorção determinada pela isoterma de Langmuir (24, 47) (Quadro 3A-

Apêndice).

As amostras foram misturadas cuidadosamente com o fertilizante, e distribuídas em vasos plásticos com capacidade para 800 g. Cada vaso recebeu, na ocasião, 10 ml de uma solução nutritiva que continha todos os nutrientes, com exceção do fósforo, cuja composição encontra-se no Quadro 4A-Apêndice.

Utilizou-se a aveia (Avena sativa L., var. 'Amarela') como planta indicadora, semeando-se 30 sementes por vaso. Os vasos foram, então, irrigados até 80% da capacidade de campo e colocados em um arranjo fatorial 20 x 4 (20 solos e 4 níveis de fósforo, disposto em blocos ao acaso, com 3 repetições. Uma semana depois de emergência das plântulas foi feito o desbaste para 25 plantas por vaso. Durante o experimento, adicionou-se diariamente, água desmineralizada, objetivando-se manter o nível de umidade dos vasos a 80% da capacidade de campo. Semanalmente, aplicaram-se 10 ml da solução nutritiva, anteriormente citada. Foram feitas quatro aplicações de solução nutritiva e cada vaso recebeu, no total, 336 mg de N, 234 mg de K, 32 mg de S, 3,20 mg de Zn, 0,65 mg de B, 0,12 mg de Mo, 1,06 mg de Cu, 1,24 mg de Fe e 2,92 mg de Mn. Depois de cada aplicação de solução nutritiva, efetuou-se a rotação dos vasos dentro dos blocos e dos blocos entre si.

A colheita foi realizada 30 dias após a emergência das plântulas, cortando-se o material vegetal rente ao solo e acondicionando-o em sacos de papel apropriados. O material colhido foi colocado em estufa de ventilação forçada, secado a 75°C, durante 96 horas. Após a pesagem da matéria seca, o material foi moído em moinho tipo Wi-

ley.

No material moído foi realizada análise de fósforo no Laboratório de Análise Foliar do IPEACO/MA, seguindo-se a metodologia proposta por LOTT et alii (42).

3.8. Análises estatísticas

As análises de variância, regressão e correlação, efetuadas com os dados obtidos, foram realizadas através do computador IBM 1130 (31) do Centro de Processamento de Dados da Universidade Federal de Viçosa

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Intensidade e capacidade tampão de fósforo

Os parâmetros intensidade e capacidade tampão de fósforo foram determinados através de equações de regressão ajustadas entre o potencial de fosfato monocálcico e a quantidade de fósforo adsorvido. Verificou-se que, na maioria dos solos estudados, as relações foram curvilíneas (Quadro 4 e Figs. 1, 2, 3) à semelhança de resultados obtidos em outros solos por BARROW et alii (7) e JENSEN (34).

Estes autores postulam que a relação entre potencial de fosfato monocálcico e quantidade de fósforo adsorvido constitui uma curva sigmóide. Dependendo do segmento considerado a relação observada é linear ou curvilínea. Este fato pode ser constatado nos solos 6, 13, 17, nos quais obtiveram-se ajustes lineares e nos demais solos onde as relações observadas foram curvilíneas (Quadro 4). Estas relações mostram, por outro lado, que a capacidade tampão não é um termo constante e depende do valor do potencial de fosfato monocálcico. Teoricamente, a dependência entre estes dois valores cessa, quando aumentos na quantidade de fósforo adsorvido não alteram os valores de potencial, ou como acentua (JENSEN (34)), quando a relação entre potencial de fosfato monocálcico e quantidade de fósforo adsor

QUADRO 4. Coeficientes das regressões ajustadas entre potencial de fosfato monocalcico (0,5 pCa + pH₂PO₄) e quantidade de fósforo adsorvido (C).

Grande grupo de solo	N.º de amostra	Coeficientes da regressão (1)			Coefficiente de determinação
		Intercessão	Linear	Quadrático	R ²
LE	1	7,43	-4,26**	1,44**	0,9993**
	2	7,33	-2,33**	0,51**	0,9981**
	3	7,42	-3,64**	1,08**	0,9986**
	4	7,32	-3,81**	1,24**	0,9970**
	5	7,47	-2,18**	0,38**	0,9966**
	6	7,53	-1,13**	-	0,9994**
	7	7,49	-1,72**	0,27*	0,9890**
	8	7,89	-2,85**	0,70**	0,9926**
	9	7,72	-2,89**	0,69**	0,9726**
LEm	10	7,19	-6,78**	3,54**	0,9976**
	11	7,43	-1,68**	0,33**	0,9834**
LV	12	7,64	-2,27**	0,51**	0,9722**
	13	7,33	-1,36**	-	0,9862**
	14	7,38	-1,88**	0,23**	0,9959**
	15	6,96	-3,51**	1,11**	0,9979**
LVm	16	7,31	-4,48**	1,67*	0,8929**
	17	6,84	-3,96**	-	0,9868**
	18	7,99	-3,43**	0,91**	0,9895**
LRe	19	7,58	-2,08	0,31**	0,9908**
	20	7,52	-2,62**	0,62*	0,9986**

1. Os coeficientes, linear e quadrático, foram divididos por 10⁵ e 10¹⁰, respectivamente.

* Excede ao nível de probabilidade de 5%.

** Excede ao nível de probabilidade de 1%.

vida é linear. Neste último caso, a energia de adsorção é um valor constante, como é definido pela isoterma de Langmuir.

Para as relações curvilíneas, no entanto, esta constância não é verificada, a não ser em segmentos das curvas obtidas. Semelhante restrição foi também levantada por LARSEN (39), que admite a existência de valores constantes de energia de adsorção apenas numa estreita faixa de concentração. Esta faixa de concentração foi determinada por MUJALDI et alii (44), como sendo a região II de adsorção onde as concentrações de fósforo situam-se na faixa de 10^{-4} a 10^{-3} M. Nesta faixa ocorre reversibilidade do fósforo adsorvido, bem como na região III, que corresponde às concentrações de fósforo de 10^{-3} a 10^{-1} M. Comparativamente, a energia de adsorção é maior na região II do que na III, o que se reflete na reversibilidade do fósforo adsorvido, que é maior na região III.

A existência destas regiões de adsorção associada a diferenças de comportamento dos solos em relação à adição de fósforo (Fig. 1, 2, 3) e a baixa disponibilidade deste nutriente nas amostras estudadas (Quadro 5) sugere, ainda, que a adubação fosfatada não deverá ser realizada da mesma forma para todos os solos. Ao que parece, a principal finalidade da adição de fósforo nestes solos é a obtenção de baixos valores de potencial e altos valores de capacidade tampão de fósforo. Esta condição, ocorrerá possivelmente, na região III proposta por MUJALDI et alii(44), onde, como já foi discutido, a energia de adsorção é menor e a reversibilidade do fósforo adsorvido é maior do que nas outras regiões de adsorção. Para os solos estudados,

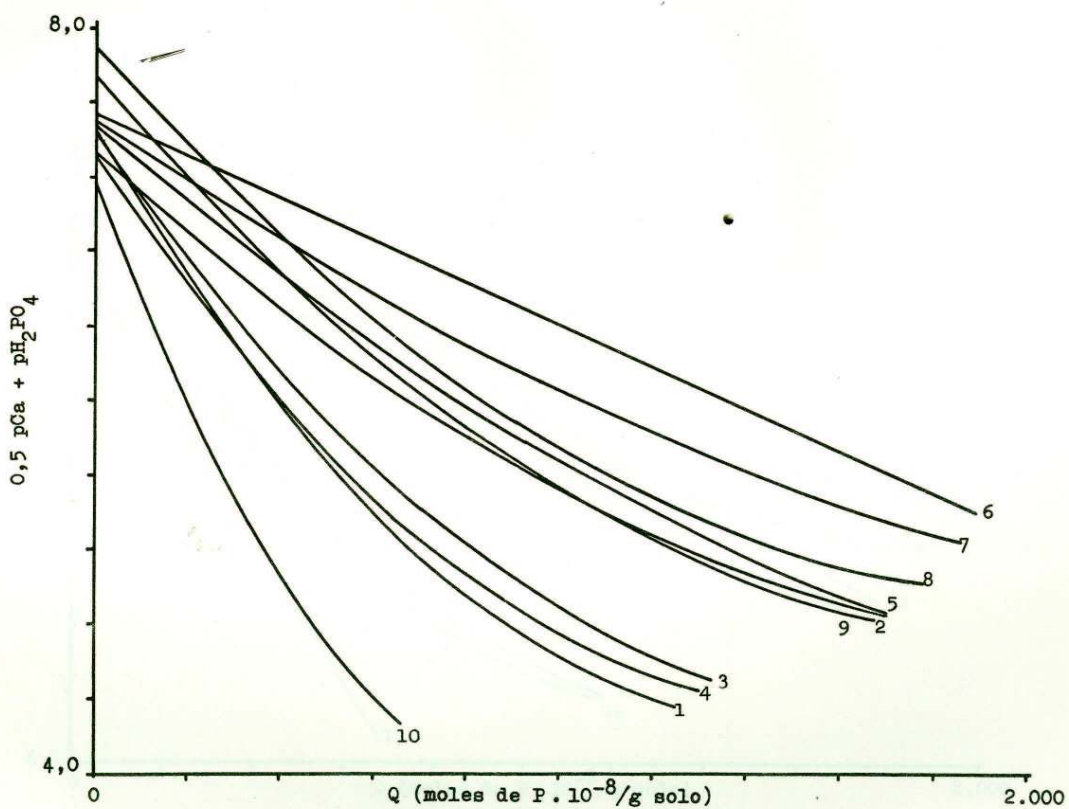


FIGURA 1. Relações entre potencial de fosfato monocálcico ($0,5 \text{ pCa} + \text{pH}_2\text{PO}_4$) e fósforo adsorvido (Q) nas amostras de solo 1 a 10. (Grande grupo de solo - Latosol Vermelho Escuro).

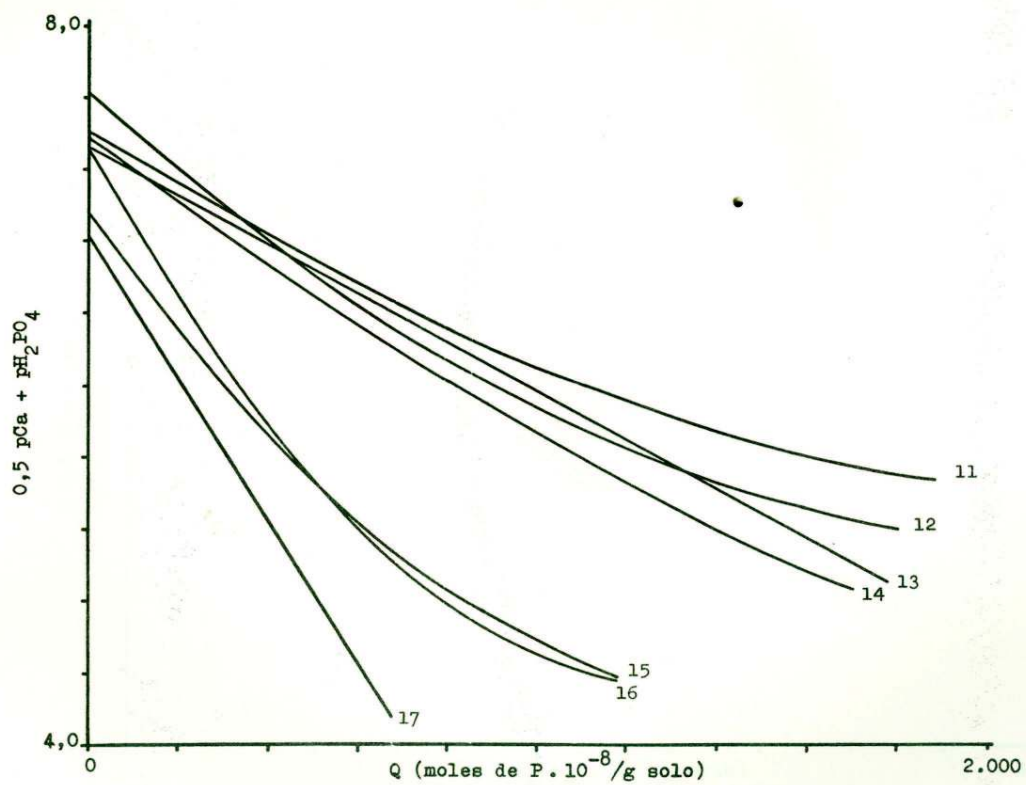


FIGURA 2. Relações entre potencial de fosfato monocálcico (0,5 pCa + pH₂PO₄) e fósforo adsorvido (Q) nas amostras de solo 11 a 17. (Grande grupo de solo - Latosol Vermelho Amarelo).

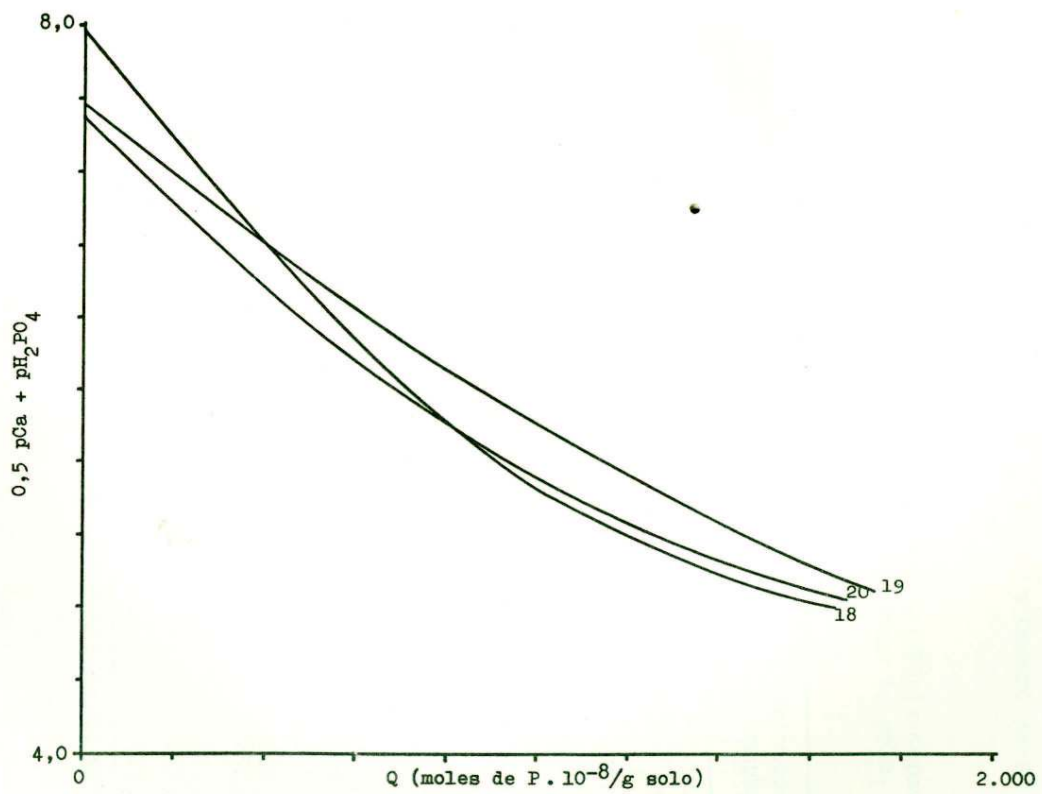


FIGURA 3. Relações entre potencial de fosfato monocálcico ($0,5 \text{ pCa} + \text{pH}_2\text{PO}_4$) e fósforo adsorvido (Q) nas amostras de solo 18 a 20. (Grande grupo de solo - Latosol Roxo).

esta condição ocorre a valores próximos da capacidade máxima de adsorção de fósforo (Fig. 1, 2, 3 e Quadro 3A- Apêndice).

QUADRO 5. Fatores intensidade ($0,5 \text{ pCa} + \text{pH}_2\text{PO}_4$) e capacidade tampão de fósforo nas amostras de solo.

Grande grupo de solo	N.º de amostra	Intensidade ($0,5 \text{ pCa} + \text{pH}_2\text{PO}_4$)	Capacidade tampão (1)
	1	7,43	271,4
	2	7,33	470,4
	3	7,42	311,7
	4	7,32	301,8
LE	5	7,47	493,1
	6	7,53	885,0
	7	7,49	620,3
	8	7,89	389,1
	9	7,72	382,6
LEm	10	7,19	186,4
	11	7,43	645,9
	12	7,64	484,0
LV	13	7,33	735,3
	14	7,38	559,3
	15	6,96	326,2
LVm	16	7,31	262,3
	17	6,84	252,5
LRd	18	7,99	327,4
	19	7,58	511,2
LRe	20	7,52	421,6

1. Expresso em moles de $\text{P} \cdot 10^{-8} / \text{g}$ solo/unidade de potencial.

Por outro lado, solos com alta capacidade tampão de fósforo devem ser adubados de forma diferente da forma usada em solos com baixa capacidade tampão. Este é o caso dos solos 7 (alta capacidade) e 10 (baixa capacidade), que representam esta situação (Fig. 1 e Quadro 5). Para o pri-

meiro solo adição de pequena quantidade de fósforo determina ligeira alteração na capacidade tampão de fósforo e no potencial de fosfato monocálcico, sendo que possivelmente a região de adsorção atingida é a I. Entretanto, para o solo 10, que tem baixa capacidade tampão de fósforo, pode-se atingir com a mesma adição as regiões II ou III. Assim, para o solo 7 a dose de fósforo adicionada deverá ser maior do que no 10, e a aplicação será feita de uma só vez. Para o solo 10, a quantidade de fósforo necessária para se atingir a região III é menor, e a aplicação poderá ser feita parceladamente, uma vez que pequena variação na quantidade de fósforo adsorvida por este solo causa grande redução no potencial de fosfato monocálcico. Uma vez adubado, espera-se que o solo 7 mantenha alta atividade de fósforo em solução por mais tempo que o solo 10, embora, neste último, os valores desta atividade devam ser superiores aos do solo 7 (Figura 1).

Como a capacidade tampão de fósforo depende dos pontos de adsorção de fósforo no solo (8), procurou-se relacionar este parâmetro com algumas características dos solos estudados (Quadro 6). Dentre as características utilizadas, apenas os teores de argila, matéria orgânica e sesquióxido de alumínio correlacionaram significativamente com a capacidade tampão de fósforo. A existência destas correlações indica, no entanto, a dependência entre capacidade tampão e o fenômeno de adsorção de fósforo, em concordância com resultados de outros trabalhos (34, 43, 64).

Aparentemente, a existência da correlação significativa entre capacidade tampão e argila é explicada pela adsorção de fósforo na superfície das partículas desta fração textural. A correlação encontrada entre matéria orgâ-

nica e argila ($r = 0,83^{**}$), entretanto, demonstra que as variações na capacidade tampão de fósforo são devidas principalmente à matéria orgânica, que é um dos constituintes da fração argila. A matéria orgânica do solo tem, no entanto, caráter aniônico, sendo competitiva com fosfato na adsorção de cátions (9). Há, porém, possibilidade de formação de complexos de ferro e alumínio com a fração orgânica, ocasionando aumento na adsorção de fósforo (9). Este último mecanismo explica a correlação positiva encontrada entre a capacidade tampão de fósforo e matéria orgânica.

QUADRO 6. Coeficientes de correlação linear entre a capacidade tampão de fósforo e algumas variáveis para os solos em estudo.

Variáveis	r
Matéria orgânica	0,64**
Argila	0,66**
Fe ₂ O ₃	0,08n.s.
Al ₂ O ₃	0,58**
P-Al	0,06n.s.
P-Fe	0,17n.s.
P-Red	0,16n.s.
P-Ca	0,28n.s.

n.s. - não significativo

** Excede ao nível de probabilidade de 1%

A análise mineralógica da fração argila, feita pela difração dos raios X (Quadro 7) mostra, todavia, que a natureza do material constituinte desta fração exerce influência na capacidade tampão de fósforo dos solos estudados. Assim, altos valores de capacidade tampão (Quadro 5)

QUADRO 7. Análise mineralógica qualitativa da fração argila dos solos estudados.

Grande grupo de solo	N.º de amostra	Minerais presentes na fração argila
	1	caolinita e gibsita
	2	caolinita e gibsita
	3	caolinita e gibsita
	4	caolinita e gibsita
LE	5	gibsita
	6	caolinita e gibsita
	7	caolinita e gibsita
	8	caolinita e gibsita
	9	caolinita e gibsita
LEm	10	caolinita e gibsita
	11	gibsita
	12	caolinita e gibsita
LV	13	caolinita e gibsita
	14	caolinita e gibsita
	15	caolinita
LVm	16	caolinita
	17	caolinita
	18	caolinita e gibsita
LRd	19	gibsita
LRe	20	caolinita e gibsita

estão associados à presença de gibsita (solos 5, 11, 19) ou a ocorrência de pequena quantidade de material cristalino (solo 6), enquanto que os menores valores deste parâmetro ocorrem quando a caolinita é o único mineral cristalizado presente (solos 15, 16, 17). A variação observada nos valores de capacidade tampão dos solos, cujo material argiloso é constituído de caolinita e gibsita, reflete as diferenças entre solos na quantidade destes minerais na fração argila, bem como a predominância de um dos minerais sobre o outro. Estas diferenças foram claramente expres-

sas nas intensidades dos picos observados nos difratogramas obtidos pela análise de difração dos raios X.

A correlação positiva encontrada entre Al_2O_3 e capacidade tampão de fósforo (Quadro 6) reforça por sua vez os resultados obtidos na análise mineralógica, uma vez que a adsorção de fósforo pela caolinita é sensivelmente inferior ao poder adsorvente do hidróxido de alumínio (35). Por outro lado, os óxidos de alumínio são, segundo FRANKLING e REISENAUER (27), 160 vezes mais efetivos na adsorção de fósforo do que os óxidos de ferro. Este fato justifica a inexistência de correlação significativa entre Fe_2O_3 e capacidade tampão de fósforo.

As correlações encontradas, bem como a natureza do material da fração argila, parecem indicar que a capacidade de tampão de fósforo varia em função do intemperismo do solo. Baseando-se nos resultados encontrados neste trabalho, sugere-se que a capacidade tampão de fósforo dos solos aumenta na seguinte ordem, em função do material constituinte da fração argila: caolinita < gibsitita < material amorfo.

4.2. Quantidade de fósforo

Este parâmetro foi avaliado através do fracionamento de CHANG e JACKSON (19), sendo que os teores de fósforo obtidos nas diversas formas acham-se no Quadro 8.

Na primeira fração extraída (solúvel em NH_4Cl), não se constatou a presença de fósforo, pelo menos dentro dos limites de sensibilidade do método colorimétrico empregado. Dentre as frações obtidas, predomina a forma P-Red, que em latossolos ocorre geralmente em maior quantidade (63).

QUADRO 8. Teores de fósforo em formas inorgânicas (ppm).

Grande grupo de solo	N.º de amostra	Formas de fósforo			
		P-Al	P-Fe	P-Red	P-Ca
LE	1	49,8	72,2	137,2	22,4
	2	145,9	210,6	164,6	84,9
	3	49,0	48,5	84,4	51,8
	4	108,1	207,3	151,0	122,6
	5	48,2	48,0	88,7	41,6
	6	76,7	117,2	128,2	67,9
	7	137,4	248,9	198,9	78,1
	8	332,3	312,7	271,5	111,5
	9	33,5	43,6	203,9	36,0
LEm	10	39,1	61,2	105,9	22,2
	11	29,5	46,0	43,0	17,1
LV	12	44,3	106,9	80,1	41,3
	13	60,0	105,3	179,6	98,6
	14	30,2	26,5	80,2	17,8
	15	30,2	40,1	123,7	27,4
LVm	16	56,6	43,6	63,5	19,0
	17	25,7	37,7	31,0	9,8
LRd	18	60,9	109,5	134,3	62,5
	19	94,2	182,0	282,6	110,5
LRe	20	75,6	63,8	151,2	62,5
Média		76,4	106,6	135,2	55,3

As demais formas seguem a ordem P-Fe > P-Al > P-Ca, quando se considera as médias dos teores de fósforo. Esta mesma distribuição de fósforo nas diversas formas foi anteriormente sugerida por CHANG e JACKSON (20) e CHANG e CHU (18), ao estudarem, em outros solos, a distribuição de formas de fósforo em relação ao intemperismo. Segundo estes autores, nos estádios iniciais de intemperismo, há

maior possibilidade de formação de fosfatos de cálcio e alumínio, uma vez que as atividades dos cátions, cálcio e alumínio são superiores à atividade de ferro. As atividades destes íons são controladas pela presença de carbonato de cálcio, aluminossilicatos, gibsita e óxidos de ferro. Gradualmente, as formas de fosfatos de cálcio e as de alumínio são reduzidas pela formação de fosfatos de ferro, que são menos solúveis que os anteriores. A formação e transformação de vários tipos de fosfatos seguem, de acordo com o princípio de solubilidade, a ordem de fosfatos de cálcio, alumínio, ferro e fosfatos oclusos, correspondendo a estádios crescentes de intemperismo, tendo em vista as diferentes estabilidades destes fosfatos (20).

A distribuição de formas encontrada corresponde, deste modo, a um estágio avançado de intemperismo dos solos estudados, o que é confirmado pelos resultados da análise da difração dos raios X apresentados no Quadro 7.

A pedogênese dos "oxisols", no entanto, consiste basicamente na remoção de sílica, concentração de ferro livre e em alguns casos gibsita, completa decomposição de minerais primários intemperizáveis e de minerais de argila 2:1, além de remoção quase completa de bases trocáveis (15). Conseqüentemente, a atividade de cálcio em solução, provavelmente será bem menor do que as atividades dos cátions alumínio e ferro, resultando numa menor quantidade de fosfatos de cálcio e predominância dos fosfatos de alumínio e ferro, fato este já verificado em alguns trabalhos (18, 20, 54). Desde que o fosfato de cálcio é o mais solúvel dentre os demais (20), a fração de fósforo ligada a cálcio, que permanece nos oxilosos, possivelmente é

constituída de fosfatos de cálcio de baixa solubilidade.

4.3. Fósforo "disponível" e sua relação com formas de fósforo inorgânico

Os teores de fósforo "disponível" obtidos pelos extratores utilizados (Quadro 9) mostraram que a maior amplitude de variação dos teores de fósforo foi verificada no extrator Bray 1 (33,8 ppm). Os extratores Mehlich e Olsen apresentaram amplitudes de variação semelhantes (20,7 e 21,3 ppm respectivamente), enquanto que a menor amplitude foi constatada nos teores de fósforo obtidos pelo IAC (15,6 ppm). Por outro lado, as médias dos teores obtidos indicam que o extrator Bray 1 apresentou maior poder de extração de fósforo nos solos estudados, seguido dos extratores IAC, Olsen e Mehlich (Quadro 9). Verifica-se, contudo, que houve correlação entre os teores obtidos por Bray 1, Olsen e Mehlich (Quadro 10), sendo que este resultado pode ser em razão da extração preferencial de uma determinada forma de fósforo. Esta pressuposição é confirmada no Quadro 11, sendo que a fração de fósforo predominantemente removida pelos mencionados extratores é a de fósforo ligado a alumínio. Os menores valores do coeficiente de correlação encontradas para o extrator IAC (Quadro 10) são justificáveis, tendo em vista que este extrator remove preferencialmente a forma de fósforo ligada a ferro (Quadro 11). Considerando que a forma de fósforo ligada a alumínio somente é superior em quantidade à ligada a cálcio, depreende-se que a extração de formas pelos extratores químicos não se deve unicamente a predominância de uma

QUADRO 9. Teores de fósforo disponível (ppm) obtidos com extratores químicos nas amostras de solo.

Grande grupo de solo	N.º de amostra	Extratores			
		Bray 1	IAC	Mehlich	Olsen
LE	1	6,6	4,3	2,4	7,2
	2	18,9	18,0	8,8	10,8
	3	5,9	8,2	4,4	4,3
	4	14,3	17,2	6,6	8,6
	5	5,1	3,1	1,8	3,3
	6	7,2	9,8	4,8	5,2
	7	15,2	15,3	7,8	12,1
	8	35,9	10,0	21,4	23,8
	9	2,5	2,4	1,8	3,3
LEm	10	5,5	3,3	2,6	3,9
	11	2,5	2,5	1,3	2,5
	12	3,9	2,1	1,6	3,1
LV	13	6,6	7,7	4,4	6,1
	14	2,1	2,5	0,7	2,7
	15	3,3	4,2	3,1	4,3
LVm	16	4,5	3,3	2,5	3,7
	17	3,4	3,3	2,6	3,3
LRd	18	5,1	4,3	2,0	5,2
	19	12,8	6,0	4,1	7,7
LRe	20	4,6	5,8	3,3	2,9
Média		8,3	6,7	4,4	6,2

forma sobre as demais. Possivelmente, a maior remoção da forma de fósforo ligada a alumínio está relacionada com a maior solubilidade nos extratores, além de maior atividade relativa dos fosfatos que a constituem em relação às demais formas. Outros autores sugerem o mesmo mecanismo para explicar o comportamento diferencial de extratores em

relação a formas de fósforo inorgânico (5, 18, 20, 21, 49).

Desta maneira, a extração preferencial da forma de fósforo ligada a alumínio pelos extratores Bray 1, Mehlich e a Olsen indica maior solubilidade dos fosfatos de alumínio e maior atividade relativa desta forma dentre as demais, nestes extratores. A maior solubilidade dos fosfatos de alumínio pelos mencionados extratores pode ser explicada pelo efeito complexante do fluor sobre o alumínio, pela solubilização destes fosfatos no ácido clorídrico e sua hidrólise pelo bicarbonato de sódio (21, 36, 49). Por outro lado, a extração da forma de fósforo ligada a ferro expressa a solubilização dos fosfatos de ferro no ácido sulfúrico (45).

QUADRO 10. Coeficientes de correlação linear entre os métodos de avaliação da disponibilidade de fósforo.

	IAC	Mehlich	Olsen	Potencial
Bray 1	0,6507**	0,9668**	0,9772**	0,3400n.s.
IAC	-	0,5897**	0,5936**	0,0270n.s.
Mehlich	-	-	0,9635**	0,2994n.s.
Olsen	-	-	-	0,3571n.s.

n.s. - não significativo.

* Excede ao nível de probabilidade de 5%.

** Excede ao nível de probabilidade de 1%.

Os coeficientes de determinação obtidos nas regressões ajustadas entre fósforo "disponível" e frações de fósforo inorgânico (Quadro 11) mostram que as variações nos teores de fósforo, obtidos pelos extratores Bray 1, Mehlich e Olsen, derem-se, em grande parte, ao fator quanti-

QUADRO 11. Análises de variância das equações de regressão ajustadas entre teor de fósforo "disponível" e frações de fósforo inorgânico.

Extrator	Fonte de variação	G.L.	QM	R ²	Equação de regressão
Bray 1	Devido a P-Al	1	1.175,00**	0,9604	$Y = -0,3383 + 0,1131** X_{Al}$
	Devido a P-Al e P-Fe	2	594,57**	0,9720	$Y = 0,9374 + 0,0896** X_{Al} + 0,0225* X_{Fe}$
	Devido a P-Fe dado P-Al	1	14,14*	0,0124	
	Devido a P-Al, P-Fe e P-Red	3	396,40**	0,9720	
	Devido a P-Red dado P-Al, P-Fe	1	0,04n.s.	0,0000	
	Devido a P-Al, P-Fe, P-Red, P-Ca	4	297,30**	0,9720	
	Devido a P-Ca, dado P-Al, P-Fe, P-Red	1	0,01n.s.	0,0000	
IAC	Devido a P-Fe	1	278,40**	0,5836	$Y = 1,7006 + 0,0465** X_{Fe}$
	Devido a P-Fe e P-Al	2	149,56**	0,6270	
	Devido a P-Al dado P-Fe	1	20,72n.s.	0,0434	
	Devido a P-Fe, P-Al, P-Red	3	103,92**	0,6535	
	Devido a P-Red dado P-Al, P-Fe	1	12,66n.s.	0,0265	
	Devido a P-Fe, P-Al, P-Red e P-Ca	4	84,84**	0,7113	
	Devido a P-Ca dado P-Fe, P-Al, P-Red	1	27,59n.s.	0,0578	
Mehlich	Devido a P-Al	1	374,61**	0,9544	$Y = -0,4825 + 0,0639** X_{Al}$
	Devido a P-Al e P-Fe	2	187,86**	0,9573	
	Devido a P-Fe dado P-Al	1	1,12n.s.	0,0029	
	Devido a P-Al, P-Fe, P-Red	3	125,39**	0,9585	
	Devido a P-Red dado P-Al, P-Fe	1	0,45n.s.	0,0012	
	Devido a P-Al, P-Fe, P-Red e P-Ca	4	94,11**	0,9591	
	Devido a P-Ca dado P-Al, P-Fe, P-Red	1	0,25n.s.	0,0006	
Olsen	Devido a P-Al	1	438,09**	0,9377	$Y = 0,9253 + 0,0691** X_{Al}$
	Devido a P-Al e P-Fe	2	220,77**	0,9451	
	Devido a P-Fe dado P-Al	1	3,44n.s.	0,0074	
	Devido a P-Al, P-Fe e P-Ca	3	148,15**	0,9513	
	Devido a P-Ca dado P-Al, P-Fe	1	2,91n.s.	0,0062	
	Devido a P-Al, P-Fe, P-Ca e P-Red	4	111,77**	0,9570	
	Devido a P-Red dado P-Al, P-Fe, P-Ca	1	2,63n.s.	0,0057	

n.s. - não significativo

* - excede ao nível de probabilidade de 5%

** - excede ao nível de probabilidade de 1%

dade de fósforo. Este fato, aliado à inexistência de correlação significativa entre potencial de fosfato monocalcico e teores de fósforo "disponível" (Quadro 10) indica que possivelmente estes extratores não têm sensibilidade suficiente para remover somente o fósforo representativo do fator intensidade. A remoção de fósforo, principalmente do fator quantidade, impede, assim, que o fator intensidade influencie nos teores de fósforo obtidos pelos extratores. Possivelmente, o mesmo ocorre com o extrator IAC, com a diferença de que apenas 58,36% da variação dos teores de fósforo obtidos é explicada pela remoção da forma de fósforo ligada a ferro.

4.4. Ensaio em estufa

Os dados de produção de matéria seca de aveia e fósforo absorvido, cujas médias estão apresentadas no Quadro 12, foram submetidos a análises de variância, obtendo-se os resultados constantes do Quadro 13. Neste quadro, verifica-se que o efeito dos tratamentos estudados foi semelhante nos dois parâmetros estudados, evidenciando diferentes respostas do vegetal em função dos solos e níveis de fósforo aplicados. A significância da interação solo x nível permite o ajuste de equações das variáveis produção de matéria seca e fósforo, absorvido com níveis de adsorção máxima de fósforo aplicados.

Os dados experimentais de produção de matéria seca ajustaram-se, em todos os solos, ao modelo do segundo grau (Quadros 5A e 14). O mesmo não ocorreu com a absorção de fósforo pelas plantas de aveia, que aumentou linearmente

QUADRO 12. Efeito de níveis de adsorção máxima de fósforo na produção de matéria seca de aveia e absorção de fósforo. Médias de três repetições.

Grande grupo de solo	N.º da amostra	Níveis de adsorção máxima de fósforo							
		0,0	0,4	0,8	1,2	0,0	0,4	0,8	1,2
		Produção de matéria seca (g/vaso)				Fósforo absorvido (mg/vaso)			
LE	1	2,065	5,463	6,177	6,130	1,691	15,182	35,261	37,632
	2	2,478	5,520	5,617	6,224	2,598	16,377	28,157	38,956
	3	1,853	5,207	5,926	5,653	1,590	15,218	26,248	30,262
	4	2,407	5,192	6,340	5,984	2,663	12,720	30,413	37,914
	5	1,294	6,852	7,197	7,488	0,613	15,802	22,301	44,123
	6	1,516	5,709	6,152	6,523	1,093	10,502	18,561	34,296
	7	2,227	6,452	6,975	6,790	2,524	14,582	21,158	33,278
	8	4,577	7,397	6,773	7,534	7,056	21,930	32,717	46,588
	9	1,452	5,528	5,690	5,718	0,962	14,096	30,971	30,506
LEm	10	1,599	4,607	5,003	5,014	1,306	10,076	24,218	31,968
LV	11	1,305	5,142	5,437	5,821	0,878	11,848	17,310	29,692
	12	1,551	7,207	7,925	7,752	1,020	14,933	26,713	48,974
	13	1,743	5,594	6,248	6,151	1,731	13,505	30,366	33,828
	14	1,423	6,423	7,041	6,837	0,995	25,873	44,412	48,814
	15	1,458	6,071	6,911	6,521	0,889	15,907	29,652	29,335
LVm	16	1,625	4,519	5,253	5,531	1,094	18,924	32,680	37,043
	17	1,223	4,940	4,902	4,738	0,805	24,701	34,552	36,655
LRd	18	1,708	6,085	6,203	5,889	1,508	16,862	33,211	39,955
	19	2,040	6,231	6,446	6,489	1,326	15,177	33,417	38,612
LRe	20	1,542	6,078	6,628	6,300	1,181	16,438	35,078	43,287

com as doses de fósforo aplicados. Este aumento linear in dica, possivelmente, a existência de consumo de luxo de fósforo pelo vegetal. Este consumo, no entanto, ocorre so mente quando a quantidade de fósforo aplicada for supe - rior aos níveis de fósforo necessários para produção máxi ma de matéria seca.

QUADRO 13. Análises de variância dos dados de produção de matéria seca de aveia e absorção de fósforo (quadrados médios) nos vinte latossolos.

Fonte de variação	G.L.	Matéria seca	Fósforo absorvido
Blocos	2	2,33**	52,98**
Níveis	3	270,74**	14511,20**
Solos	19	5,19**	154,57**
Interação			
Solos x níveis	57	0,72**	52,58**
Erro	158	0,13	10,45
Total	239		
C.V. %		7,12	15,38

** Excede ao nível de probabilidade de 1%.

A partir das equações ajustadas entre matéria seca e níveis de adsorção máxima de fósforo, calcularam-se os níveis necessários para máximos de produção. Estes resultados, constantes do Quadro 15, mostram a variação dos valores calculados de 0,79 a 0,98 da adsorção máxima de fósforo, sendo que esta amplitude está dentro dos interva

QUADRO 14. Coeficientes das regressões ajustadas entre produção de matéria seca de aveia e níveis de fósforo aplicados.

Grande grupo de solo	N.º de amostra	Coeficientes da regressão			Coeficiente de determinação R ²
		Intercessão	Linear	Quadrático	
LE	1	2,16	9,69**	-5,38**	0,9669**
	2	2,65	7,40**	-3,81**	0,9194**
	3	1,94	9,77**	-5,62**	0,9614**
	4	2,41	8,86**	-4,90**	0,9096**
	5	1,55	14,60**	-8,23**	0,9379**
	6	1,70	11,03**	-5,97*	0,9149**
	7	2,38	11,82**	-6,89**	0,9564**
	8	4,82	5,92**	-3,22*	0,7035**
	9	1,64	10,83**	-6,32**	0,9279**
LEm	10	1,71	8,28**	-4,68**	0,9418**
	11	1,49	9,94**	-5,40**	0,9299**
LV	12	1,75	15,76**	-9,11**	0,9298**
	13	1,92	10,10**	-5,60**	0,9008**
	14	1,60	13,97**	-8,13**	0,9588**
	15	1,58	13,38**	-7,82**	0,9452**
LVm	16	1,71	8,02**	-4,09**	0,9522**
	17	1,40	9,90**	-6,07**	0,9185**
LRd	18	1,90	11,96**	-7,33**	0,9326**
	19	2,23	11,17**	-6,48**	0,9328**
LRe	20	1,70	12,83**	-7,60**	0,9587**

* Excede ao nível de probabilidade de 5%.

** Excede ao nível de probabilidade de 1%.

los encontrados por WOODRUFF e KAMPRATH (66) e BRAGA e DEFELIPO (11).

QUADRO 15. Doses de fósforo necessárias para produção máxima de matéria seca de aveia nos vinte latossolos.

Grande grupo de solo	N.º da amostra	Quantidade de fósforo para produção máxima expressa em:	
		Níveis de adsorção máxima	mg P/vaso
LE	1	0,90	327,8
	2	0,97	439,9
	3	0,87	336,8
	4	0,90	372,1
	5	0,89	433,5
	6	0,92	420,6
	7	0,86	415,3
	8	0,92	426,3
	9	0,79	371,0
LEm	10	0,88	179,8
	11	0,92	396,6
LV	12	0,86	424,4
	13	0,90	431,6
	14	0,86	424,4
	15	0,86	347,9
LVm	16	0,98	420,3
	17	0,82	214,0
LRd	18	0,82	326,4
	19	0,86	431,6
LRe	20	0,90	431,9

4.5. Produção de matéria seca e fósforo absorvido
em função dos fatores intensidade, capacidade
e quantidade de fósforo

A influência dos fatores intensidade, capacidade tampão e quantidade de fósforo na produção de matéria seca de aveia e fósforo absorvido foi avaliada através de regressões múltiplas ajustadas com os dados experimentais representativos destes parâmetros. Os ajustes foram efetuados considerando-se os dados de produção de matéria seca e fósforo absorvido nos quatro níveis de fósforo aplicados em função dos valores iniciais de potencial de fosfato monocálcico, capacidade tampão e quantidade de fósforo. Os modelos matemáticos empregados basearam-se nas relações propostas por OLSEN e WATANABE (48), NYE (46) e SALMON (54).

Na ausência da adubação fosfatada, não houve influência dos fatores intensidade e capacidade tampão de fósforo na produção de matéria seca e fósforo absorvido (Quadros 16 e 17), sendo que as variações observadas nestes parâmetros de crescimento vegetal se devem, em grande parte, ao fator quantidade (Quadros 18 e 19).

Os resultados obtidos, concordantes com as ponderações de KHASAWNEH (37), expressam, possivelmente, a exploração intensa pelas raízes do reduzido volume de solos dos vasos, diminuindo a importância do processo de difusão ativa na absorção de fósforo pelo vegetal e da manutenção de atividade constante deste nutriente próximo às raízes. Neste caso, a movimentação de fósforo da fase sólida para a fase líquida pode ter sido processada através do fluxo

em massa, principalmente quando foram aplicadas as maiores doses de fósforo. A constatação feita neste trabalho, de consumo de luxo de fósforo, constitui uma evidência desta hipótese. No entanto, é possível que as baixas concentrações de fósforo nestes solos (Quadro 7) possam não ter sido suficientes para alterar de maneira acentuada o crescimento vegetal, durante todo o período de condução do ensaio em estufa.

QUADRO 16. Equações de regressão ajustadas entre produção de matéria seca de aveia no tratamento testemunha (Y), potencial de fosfato monocálcico (I) e capacidade tampão de fósforo (C).

Equações ajustadas	Coef. de determinação R^2
$Y = -6,34 + 1,10 I$	0,1618 n.s.
$Y = 2,02 - 0,37 \cdot 10^5 C$	0,0083 n.s.
$Y = -6,81 + 1,21 I - 0,76 \cdot 10^5 C$	0,1947 n.s.
$Y = 2,10 - 119,93 \sqrt{C}$	0,0046 n.s.
$Y = -6,61 + 1,23 I - 320,25 \sqrt{C}$	0,1924 n.s.
$Y = 0,92 - 0,17 \log C$	0,0017 n.s.
$Y = -11,29 + 1,24 I - 0,73 \log C$	0,1890 n.s.

n.s. - não significativo.

Nos demais níveis de fósforo aplicados, em relação a intensidade e capacidade tampão de fósforo, as regressões ajustadas mostraram semelhante tendência.

QUADRO 17. Equações de regressão ajustadas entre fósforo absorvido por plantas de aveia no tratamento testemunha (Y), potencial de fosfato monocálcico (I) e capacidade tampão de fósforo (C).

Equações ajustadas	Coef. de determinação R^2
$Y = -13,27 + 2,01 I$	0,1489 n.s.
$Y = 1,89 - 0,49 \cdot 10^5 C$	0,0040 n.s.
$Y = -14,01 + 2,18 I - 0,12 \cdot 10^6 C$	0,1712 n.s.
$Y = 1,98 - 148,89 \sqrt{C}$	0,0019 n.s.
$Y = -13,70 + 2,21 I - 508,82 \sqrt{C}$	0,1702 n.s.
$Y = 0,71 - 0,18 \log C$	0,0005 n.s.
$Y = 21,29 + 2,23 I - 1,18 \log C$	0,1686 n.s.

n.s. - não significativo.

Considerando o efeito do parâmetro quantidade, em relação a produção de matéria seca, nos níveis 0,4, 0,8 e 1,2 da adsorção máxima, verificou-se que, somente no nível 0,4 houve influência deste parâmetro, e que apenas 20,76% da variação dos dados de matéria seca foram explicadas pela forma de fósforo ligado a alumínio. Esta forma, no entanto, é a única dentre as demais que influencia marcadamente a produção de matéria seca e a quantidade de fósforo absorvido no tratamento testemunha (Quadros 18 e 19). Alguns trabalhos (1, 49, 57, 60) confirmam estes resultados e evidenciam a maior disponibilidade desta forma de fósforo para o vegetal, contrariando a seqüência de dispo

QUADRO 18. Análise de variância da equação de regressão ajustada entre produção de matéria seca de aveia no tratamento testemunha e frações de fósforo inorgânico.

Fonte de variação	G.L.	QM	R ²	Equação de regressão
Devido a P-Al	1	9,52**	0,9248	$Y = 1,0765 + 0,0102^{**} X_{Al}$
Devido a P-Al, P-Red	2	4,76**	0,9253	
Devido a P-Red dado P-Al	1	0,01 n.s.	0,0005	
Devido a P-Al, P-Red, P-Ca	3	3,20**	0,9259	
Devido a P-Ca dado P-Red, P-Ca	1	0,01 n.s.	0,0006	
Devido a P-Al, P-Red, P-Ca, P-Fe	4	2,38**	0,9260	
Devido a P-Fe dado P-Al, P-Red, P-Ca	1	0,01 n.s.	0,0001	

n.s. - não significativo.

* Excede ao nível de probabilidade de 5%.

** Excede ao nível de probabilidade de 1%.

QUADRO 19. Análise de variância da equação de regressão ajustada entre fósforo absorvido no tratamento testemunha e frações de fósforo inorgânico.

Fonte de variação	G.L.	QM	R ²	Equação de regressão
Devido a P-Al	1	34,43**	0,9240	$Y = 0,1975 + 0,0194^{**} X_{Al}$
Devido a P-Al, P-Fe	2	17,30**	0,9284	
Devido a P-Fe dado P-Al	1	0,64 n.s.	0,0044	
Devido a P-Al, P-Fe, P-Red	3	11,54**	0,9296	
Devido a P-Red dado P-Al, P-Fe	1	0,04 n.s.	0,0012	
Devido a P-Al, P-Fe, P-Red, P-Ca	4	8,66**	0,9296	
Devido a P-Ca dado P-Al, P-Fe, P-Red	1	0,03 n.s.	0,0000	

n.s. - não significativo.

* Excede ao nível de probabilidade de 5%.

** Excede ao nível de probabilidade de 1%.

nibilidade de formas proposta por CHANG e JACKSON (20).

Embora a capacidade tampão não tenha afetado o crescimento vegetal, não se verifica o mesmo quando se relacionam doses de fósforo para atingir a produção máxima, expressas em mg de fósforo/vaso (Quadro 15), potencial de fosfato monocálcico e capacidade tampão de fósforo. As regressões ajustadas entre estes parâmetros (Quadro 20) mostram que maiores doses de fósforo para produção máxima são necessárias em solos de maiores valores de capacidade tampão. Esta tendência sugere que a capacidade tampão de fósforo atuou neste experimento, reduzindo a solubilidade do fertilizante fosfatado.

A redução desta solubilidade pode ser explicada em função do aumento de adsorção do fósforo aplicado e redução do fósforo na fase líquida. O aumento na adsorção do fósforo aplicado pode ter sido causado pela mistura efetuada do fertilizante com o solo, além do controle de umidade que foi efetuado durante o experimento. Este efeito de adsorção é maior em solos com altos valores de capacidade tampão, uma vez que, como já foi discutido, este parâmetro depende principalmente dos locais de adsorção de fósforo.

Os melhores ajustes foram obtidos quando se considerou a transformação $\log C$ como representativa do fator quantidade. Esta transformação foi proposta por SALMON (54), e seria aplicável nos casos em que a capacidade tampão atuasse reduzindo a solubilidade do fósforo adicionado. Sugere ainda este autor que a função \sqrt{C} representaria a capacidade tampão na manutenção do potencial, sendo esta transformação baseada nos modelos de OLSEN e WATANA-

QUADRO 20. Equações de regressão ajustadas entre dose de fósforo para a produção máxima de matéria seca (Y), potencial de fosfato monocálcico (I) e capacidade tampão de fósforo (C).

Equações ajustadas	Coef. de determinação R^2
$Y = -504,86 + 118,77 I$	0,1907 n.s.
$Y = 266,11 + 0,25 \cdot 10^8 C$	0,3904**
$Y = -363,65 + 86,31 I + 0,23 \cdot 10^8 C$	0,4864*
$Y = 130,60 + 0,12 \cdot 10^6 \sqrt{C}$	0,4659**
$Y = -414,71 + 76,79 I + 0,11 \cdot 10^6 \sqrt{C}$	0,5406**
$Y = 2047,01 + 309,68 \log C$	0,5418**
$Y = 1394,76 + 66,13 I + 279,92 \log C$	0,5959**

n.s. - não significativo.

* Excede ao nível de probabilidade de 5%.

** Excede ao nível de probabilidade de 1%.

BE (48) e NYE (46). As doses de fertilizante para a produção máxima cresceriam com a capacidade tampão no primeiro caso, e decresceriam no segundo, sendo esperados estes efeitos em experimentos de estufa e de campo, respectivamente.

As regressões ajustadas mostram, entretanto, que há tendência de aumento nas doses de fósforo, quando se utiliza qualquer das duas transformações.

Em todos os ajustes, não houve efeito do fator intensidade utilizado, na quantidade de fósforo a ser aplicada para produção máxima, sugerindo que o potencial de

fosfato monocálcico não é o melhor índice de disponibilidade de fósforo para os solos estudados. Esta dúvida, já levantada por alguns pesquisadores, em solos de outras regiões, (2, 22, 29, 38, 41) é reforçada pelo fato de que a forma de fósforo mais ativa dentre as demais é aquela ligada a alumínio. Possivelmente, os fosfatos constituintes desta forma controlam a atividade de fósforo em solução. O estabelecimento do potencial nutritivo adequado depende, entretanto, do conhecimento da composição e solubilidade dos **fosfatos** incluídos nesta forma de fósforo.

4.6. Produção de matéria seca e fósforo absorvido em relação a teores de fósforo "disponível"

As regressões ajustadas entre produção de matéria seca, fósforo absorvido e teores de fósforo "disponível" (Quadro 21) mostram altos coeficientes de determinação, quando a variável independente é representada pelos teores de fósforo obtido pelos extratores Bray 1, Mehlich e Olsen. Estes resultados confirmam a maior disponibilidade da forma ligada a alumínio, uma vez que o fósforo removido pelos extratores citados é predominantemente constituído desta forma. Os baixos coeficientes de determinação encontrados, quando se considera o extrator IAC, evidenciam, desta maneira, a baixa disponibilidade para o vegetal da forma de fósforo ligada a ferro, e desaconselham o uso deste extrator em programas de análise de solo, considerando os dados deste ensaio. Os três extratores restantes apresentam semelhantes condições de utilização, muito embora o Bray 1 extraia pequena parte da forma de fósforo ligado a ferro.

QUADRO 21. Equações de regressão ajustadas entre produção de matéria seca e fósforo absorvido no tratamento testemunha e teores de fósforo "disponível".

Variável dependente	Variável independente ⁺	Equação de regressão	Coef. de determinação r^2
Matéria seca	Bray 1	$Y = 1,12 + 0,09 X$	0,9317**
Matéria seca	IAC	$Y = 1,32 + 0,08 X$	0,2928*
Matéria seca	Mehlich	$Y = 1,17 + 0,15 X$	0,9136**
Matéria seca	Olsen	$Y = 0,96 + 0,14 X$	0,9427**
Fósforo absorvido	Bray 1	$Y = 0,30 + 0,17 X$	0,8993**
Fósforo absorvido	IAC	$Y = 0,71 + 0,15 X$	0,2701*
Fósforo absorvido	Mehlich	$Y = 0,36 + 0,30 X$	0,9391**
Fósforo absorvido	Olsen	$Y = -0,01 + 0,27 X$	0,9293**

+ Teor de fósforo "disponível" obtido pelo extrator químico.

* Excede ao nível de probabilidade de 5%.

** Excede ao nível de probabilidade de 1%.

Considerando, no entanto, os aspectos de amplitude dos teores obtidos, preparação dos extratores, relação solo:solução e tempo de agitação, verifica-se que o extrator Bray 1 apresenta uma série de vantagens sobre o Mehlich e Olsen. Estas vantagens são expressas pela facilidade de preparação da mistura extratora, pela relação solo:solução e amplitude de teores de fósforo, que neste trabalho foi superior aos demais extratores. A primeira vista, o tempo de agitação de um minuto constitui séria desvantagem deste extrator. Entretanto, à semelhança do extrator Mehlich, o solo e a solução extratora são deixados em repouso para decantação, depois de serem agitados (62). Desta forma, são necessários estudos complementares para definir até que ponto os erros cometidos no tempo de agitação influenciam os teores de fósforo obtidos pelo uso do Bray 1, após a decantação.

A utilização do extrator Olsen apresenta desvantagens em relação ao Bray 1, nos aspectos de preparo e conservação da solução extratora, relação solo:solução(1:20), tempo de agitação, além de ser necessária a utilização de carvão vegetal para clarificar o extrato obtido depois da agitação. Para o extrator Mehlich, o único inconveniente apresentado se refere a amplitude dos teores obtidos de fósforo, que foi semelhante ao Olsen e muito inferior à amplitude obtida para o Bray 1. Este resultado indica, assim, menor sensibilidade destes extratores em relação às variações dos teores de fósforo dos solos estudados.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Foram coletadas amostras superficiais compostas de vinte latossolos do Estado de Minas Gerais, com o objetivo de estudar a disponibilidade de fósforo nestes solos. Para este estudo foram realizadas, em laboratório, determinações do potencial de fosfato monocálcico, da capacidade tampão de fósforo, das formas de fósforo inorgânico, do fósforo "disponível" obtido pelos extratores Bray 1, IAC, Mehlich e Olsen, além da capacidade máxima de adsorção de fósforo. Preparou-se, também, lâminas da fração argila destes solos, que foram submetidas a análise de difração dos raios X.

Em ensaio conduzido em casa de vegetação, procurou-se verificar a resposta de aveia (Avena sativa L. var., 'A marelá') a níveis de fósforo aplicados nos vinte solos. Este ensaio consistiu de um experimento fatorial 20 x 4 disposto em blocos casualizados com três repetições. Cada um dos vinte solos foi adubado com quantidades crescentes de fósforo equivalentes a 0,0, 0,4, 0,8 e 1,2 da sua adsorção máxima de fósforo.

Depois de 30 dias da emergência das plântulas de aveia, cortou-se o material vegetal, determinando-se, de-

pois de sua secagem, o peso de matéria seca e a quantidade de fósforo absorvido.

Os dados obtidos em laboratório e em casa de vegetação foram submetidos a análises estatísticas, onde se procurou estabelecer as relações entre índices de disponibilidade de fósforo, formas de fósforo inorgânico e crescimento vegetal expresso pelo peso de matéria seca e quantidade de fósforo absorvido pelo vegetal.

Em decorrência dos resultados assim obtidos, concluiu-se que:

1. As relações entre potencial de fosfato monocálcico e fósforo adsorvido foram, na maioria dos solos, curvilíneas.

2. Houve pequena variação entre os valores de potencial de fosfato monocálcico; o mesmo não se verificou com os valores de capacidade tampão de fósforo.

3. As diferentes relações observadas (item 1) evidenciaram que solos de alta capacidade tampão deveriam ser adubados com doses de fósforo próximas à capacidade máxima de adsorção, aplicadas de uma só vez. Solos com baixa capacidade necessitariam de menores quantidades de fósforo, aplicadas parceladamente.

4. O teor de matéria orgânica e conteúdo de sesquióxido de alumínio influenciaram positivamente a capacidade tampão de fósforo dos solos estudados. Houve evidências de que a natureza do material constituinte da fração argila afetou também os valores obtidos de capacidade tampão de fósforo.

5. Das frações de fósforo inorgânico determina-

das, predominou a fração P-Red seguida das frações P-Fe, P-Al, P-Ca.

6. As variações observadas nos teores de fósforo "disponível" foram devidas, em grande parte, ao fator quantidade de fósforo.

7. Os extratores Mehlich e Olsen extraíram preferencialmente a forma de P-Al; o extrator Bray 1, além de extrair esta forma, removeu pequena parte da forma de P-Fe. Por sua vez, o extrator IAC somente extraiu esta última forma.

8. Os máximos de matéria seca de aveia foram obtidos com a aplicação de doses de fósforo, que variaram de 0,79 a 0,98 da capacidade máxima de adsorção de fósforo.

9. A produção de matéria seca e fósforo absorvido foram influenciados, principalmente pelo fator quantidade de fósforo expresso pela forma P-Al. Não foi verificado e feito algum do potencial de fosfato monocálcico e capacidade tampão de fósforo sobre este parâmetro.

10. As doses de fósforo para produção máxima variaram diretamente com a capacidade tampão de fósforo.

11. Dos extratores de fósforo "disponível" utilizados, o Bray 1 apresentou melhores condições de utilização em programas de análise para os solos estudados.

6. LITERATURA CITADA

1. ALBAN, L.N.; VACHAROTAYAN, S.; JACKSON, M.L. Phosphorus availability in reddish brown lateritic soils. I. Laboratory studies. Agron. J., Madison, 56(6): 555-8, 1964.
2. ASLYNG, H.C. Lime and phosphate potentials of soils; the solubility and availability of phosphate. Yearbook Royal Veterinary Agricultural College. Copenhagen, 1:1-50, 1954.
3. BACHE, B.W. Aluminum and iron phosphates studies relating to soils. I. Solution and hydrolysis of variscite and strengite. J. Soil Sci., Oxford, 14(1):113-23, 1963.
4. BACHE, B.W. & ROGERS, N.E. Soil phosphate values in relation to phosphate supply to plants from some Nigerian soils. J. Agric. Sci., Cambridge, 74(2):383-90, 1970.
5. BALERDI, F.; MULLER, L.; FASSBENDER, H.W. Estudio del fósforo en suelos de América Central. III. Comparación de cinco métodos químicos de análisis de fósforo disponible. Turrialba, Costa Rica, 18(4):348-60. 1968.
6. BARROW, N.J. Relationship between uptake of phosphorus by plants and the phosphorus potential and buffering capacity of the soil - An attempt to test Schofield's hypothesis. Soil Sci., Baltimore, 101(2):99-106, 1967.

7. BARROW, N.J.; OZANNE, P.G.; SHAW, T.C. Nutrient potential and capacity. I. The concepts of nutrient potential and capacity and their application to soil potassium and phosphorus. Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 16(1):51-60, 1965.
8. BECKETT, P.H.T. & WHITE, E.E. Studies on the phosphate potentials of soils. Part. III: The pool of labile inorganic phosphate. Plant and Soil, The Hague, 21(3):253-82, 1964.
9. BRAGA, J.M. Fixação de fósforo. In: SEMINÁRIO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, Piracicaba, 1973. Piracicaba, ESALQ, 1973. p. 1-20.
10. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Relações entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material vegetal em solos sob vegetação de cerrado: I. Trabalhos de laboratório. Rev. Ceres, Viçosa, 19(102):124-36, 1972.
11. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Relações entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material vegetal em solos sob vegetação de cerrado: II - Trabalhos em estufa. Rev. Ceres, Viçosa, 19(104):248-60, 1972.
12. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. Rev. Ceres, Viçosa, 21(113):73-85, 1974.
13. BRAY, R.H. Soil plant relations. I. The quantitative relation of exchangeable potassium to crop yields and to crop response to potash additions. Soil Sci., Baltimore, 58(4):305-24, 1944.
14. BRAY, R.H. Correlation of soil tests with crop response to added fertilizers and with fertilizer requirements. In: KITCHEN, H.B. Diagnostic techniques for soils and crops. Washington, The American Potash Institute, 1947. p. 53-85.

15. BUOL, S.W.; HOLE, F.D.; McCracken, R.J. Soil genesis and classification. Ames, The Iowa State University Press, 1973. 360 p.
16. CATANI, R.A.; GALLO, J.R.; GARGANTINI, H. Amostragem de solo, métodos de análise, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo, 1955. 28 p. (Bol. Tec., 69).
17. CHAI, M.C. & CALDDWEL, A.C. Forms of phosphorus and fixation in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 23(4):458-60, 1959.
18. CHANG, S.C. & CHU, W.K. The fate of soluble phosphate applied to soils. J. Soil Sci., Oxford, 12(2): 286-93, 1961.
19. CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci., Baltimore, 34(2):133-44, 1957.
20. CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. Soil phosphorus fractions in some representative soils. J. Soil Sci., Oxford, 9(1):109-19, 1958.
21. CHANG, S.C. & JUO, S.R. Available phosphorus in relation to forms of phosphate in soils. Soil Sci., Baltimore, 95(2):91-6, 1963.
22. CLARK, J.S. & PEECH, M. Solubility criteria for the existence of calcium and aluminum phosphates in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 19(2):171-4, 1955.
23. FASSBENDER, H.W. Descripción fisico-química del sistema fertilizante fosfatado-suelo-planta. Turrialba, Costa Rica, 16(3):237-46, 1966.
24. FASSBENDER, H.W. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. Fitotecnia Latino-Americana. Turrialba, 3(1-2):203-16, 1966.

25. FASSBENDER, H.W.; MULLER, L.; BALERDI, F. Estudio del fósforo en suelos de América Central. II. Formas y su relacion con las plantas. Turrialba, Costa Rica, 18(4):333-47, 1968.
26. FIFE, C.V. An evaluation of ammonium fluoride as a selective extractant for aluminum-bound soil phosphate. IV. Detailed studies on selected soils (2). Soil Sci., Baltimore, 96(2):112-20, 1963.
27. FRANKLIN, W. & REINSENAUER, H.M. Chemical characteristics of soils related to phosphorus fixation and availability. Soil Sci., Baltimore, 90(3):192-200. 1960.
28. GUNARY, D. & SUTTON, G.D. Soil factors affecting plant uptake of phosphate. J. Soil Sci., Oxford, 18(1):167-73, 1967.
29. HEMWALL, J.B. The role of soil clay minerals in phosphorus fixation. Soil Sci., Baltimore, 83(2):101-8, 1957.
30. HSU, P.H. Adsorption of phosphate by aluminum and iron in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 28(4):474-8, 1964.
31. IBM, International Business Machines Corporation, New York. 1130 statistical system (1130-CA-06 X); user's manual. 2.ed. New York, 1967. 118 p.
32. JACKSON, M.L. Soil chemical analysis; advanced course. Madison, University of Wisconsin, Department of Soil Science, 1956. 894 p.
33. JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. New Jersey, Prentice Hall, 1968. 498 p.
34. JENSEN, H.E. Phosphate potential and phosphate capacity of soils. Plant and Soil. The Hague, 33(1):17-29, 1970.

35. JORGE, J.A. Fósforo. In: MONIZ, A.C. Elementos de pedologia, São Paulo, Universidade de São Paulo, 1972. p. 191-7.
36. KHANNA, S.S. & MAHAJAN, K.K. A study of the behaviour of added phosphates in soils of variable physico-chemical properties. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF SOIL FERTILITY EVALUATION, New Delhi, 1971. Proceedings... New Delhi, Indian Society of Soil Science, 1971. v. 1. p. 725-36.
37. KHASAWNEH, F.E. Solution ion activity and plant growth. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 35(3):426-35, 1971.
38. KITRICK, J.A. & JACKSON, M.L. Common ion effect on phosphate solubility. Soil Sci., Baltimore, 79(6):415-21, 1955.
39. LARSEN, S. Soil phosphorus. Adv. in Agronomy, New York, 19:151-211, 1967.
40. LE MARE, P.H. Observations on the phosphate potential of some tropical soils. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 7th, Madison, 1960. Transactions... Madison, International Society of Soil Science, 1960. v. 3, p. 600-3.
41. LINDSAY, W.L.; PEECH, M.; CLARK, J.S. Solubility criteria for the existence of variscite in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 23(3):357-70, 1959.
42. LOTT, W.L.; NERY, J.P.; GALLO, J.R.; MEDCALF, J.C. A técnica da análise foliar aplicada ao cafeeiro. São Paulo, IBEC Research Institute, 1956. 40 p. (Bol. Téc., 9).
43. MATTINGLY, G.E.G. The influence of intensity and capacity factors on the availability of soil phosphate. In: Soil phosphorus, London, Campfield Press. 1965. p. 1-9. (Tech. Bull., 13).

44. MULJADI, D.; POSNER, A.M. & QUIRK, J.P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. J. Soil Sci., Oxford, 17(2): 212-47, 1966.
45. NELSON, W.L.; MEHLICH, A. & WINTERS, E. The development, evaluation, and use of soil tests for phosphorus availability. In: PIERRE, W.H. & NORMAN, A.G. Soil and fertilizer phosphorus. New York, Academic Press, 1953. v. 4, cap. 6, p. 153-88.
46. NYE, P.H. The effect of the nutrient intensity and buffering power of a soil, and the absorbing power, size and root hairs of a root, on nutrient absorption by diffusion. Plant and Soil. The Hague, 25(1): 81-105, 1966.
47. OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 21(2):144-9, 1957.
48. OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. Diffusion of phosphorus as related to soil texture and plant uptake. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 27(6):648-53, 1963.
49. PAYNE, H. & HANNA, W.J. Correlations among soil phosphorus fractions, extractable phosphorus and plant content of phosphorus. J. Agric. Food Chem., Washington, 13(4):322-6, 1965.
50. PETERSEN, G.W. & COREY, R.B. A modified Chang and Jackson procedure for routine fractionation of inorganic soil phosphorus. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 30(5):563-5, 1966.
51. PINTO, O.C.B.; YAHNER, J.E. & ROTH, C.B. Natureza e formação de caolinita em forma de pseudomica em solos de Viçosa, Minas Gerais. Experientiae, Viçosa, 13(12):383-421, 1972.

52. PRATT, P.F. & GARBER, M.J. Correlations of phosphorus availability by chemical tests with inorganic phosphorus fractions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28(1):23-36, 1964.
53. RAMA MOORTHY, B. & SUBRAMANIAN, T.R. Phosphate potential and phosphate availability. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 7th, Madison, 1960. Transactions... Madison, International Society of Soil Science, 1960. v. 3, p. 590-9.
54. SALMON, R.C. Effects of initial phosphate intensity and sorption or buffering capacity of soil on fertilizer requirements of different crops grown in pots or in field. J. Agric. Sci., Cambridge, 81(1):39-46, 1973.
55. SAXENA, S.N. Characterization of soil available phosphorus. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF SOIL FERTILITY EVALUATION, New Delhi, 1971. Proceedings... New Delhi, Indian Society of Soil Science, 1971. v. 1, p. 361-9.
56. SCHOFIELD, R.K. Can a precise meaning be given to 'available' soil phosphorus. Soil and Fertilizers, Harpenden, 18(5):373-5, 1955.
57. SHING, R.N.; MARTENS, D.C.; OBENSHAIN, S.S. Plant availability and form of residual phosphorus in Davidson clay loam. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 30(5):617-20, 1966.
58. SHOEMAKER, H.E.; McLEAN, E.O.; PRATT, P.P. Buffer method for determining lime requirements of soils with appreciate amounts of extractable aluminum. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 25(4):274-7, 1961.
59. SMITH, A.N. Distinction between iron and aluminum phosphate in CHANG and JACKSON'S procedure for fractionation inorganic soil phosphorus. Agrochimica, Pisa, 9(2):162-8, 1965.

60. SUSUKI, A.; LAWTON, K.; DOLL, E.C. Phosphorus uptake and soil tests as related to form of phosphorus in some Michigan soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 27(4):401-3, 1963.
61. TANDON, H.L.S.; TYNER, E.H.; WALKER, W.M. The relation of labile phosphorus to soil inorganic phosphorus forms: evaluation by regression analysis. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF SOIL FERTILITY EVALUATION, New Delhi, 1971. Proceedings... New Delhi, Indian Society of Soil Science, 1971. v. 1, p. 105-9.
62. VETTORI, L. Métodos de análise de solo. EPE, Rio de Janeiro, 1969. 24 p. (Bol. Téc., 7).
63. VIEIRA, L.S. & BORNEMISZA, E. Categorias de fósforo en los principales grandes grupos de suelos en la Amazonia de Brasil. Turrialba, Costa Rica, 18(3): 242-8, 1968.
64. WEBER, M.D. & MATTINGLY, G.E.G. Inorganic soil phosphorus. I. Changes in noncalcium potentials. J. Soil Sci., Oxford, 21(1):111-20, 1970.
65. WHITE, R.E. & BECKETT, P.H.T. Studies on the phosphate potentials of soils. I: measurement of phosphate potential. Plant and Soil, Netherlands, 20(1):1-16, 1964.
66. WOODRUFF, J.R. & KAMPRATH, E.J. Phosphorus adsorption maximum as measured by Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 29(2):148-50, 1965.

7. APÊNDICE

QUADRO 1-A. Análises químicas das amostras dos solos em estudo.

Grande grupo de solo	N.º de amostra	pH		Complexo sortivo do solo (eq. mg/100 g)								V %	MO %
		H ₂ O	KCl	H ⁺	Al ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T		
LE	1	4,80	4,30	7,00	1,60	0,80	-	0,10	0,30	1,20	9,80	12,24	1,65
	2	5,00	4,55	8,25	1,20	2,32	0,88	0,22	0,28	3,70	13,15	28,14	2,15
	3	5,35	4,60	4,82	0,48	2,48	0,48	0,24	0,30	3,50	8,80	39,77	1,47
	4	5,10	4,70	4,59	0,48	3,28	0,80	0,30	0,30	4,68	9,75	48,00	1,75
	5	5,10	4,30	7,92	1,52	0,48	0,48	0,16	0,30	1,42	10,86	13,08	2,34
	6	5,00	4,30	14,92	4,08	1,28	0,72	0,09	0,26	2,35	21,35	11,01	3,06
	7	5,00	4,30	12,94	2,88	1,44	0,32	0,07	0,28	2,11	17,93	11,77	3,09
	8	5,30	4,50	12,74	1,20	2,64	1,44	0,17	0,32	4,57	18,51	24,69	3,27
	9	4,95	4,40	8,71	1,52	1,20	0,16	0,14	0,30	1,70	11,93	14,25	2,30
	10	4,95	4,50	2,64	0,72	0,80	0,32	0,16	0,46	1,74	5,10	34,12	0,79
LEm LV	11	4,40	4,20	12,47	4,24	0,72	0,32	0,07	0,28	1,39	18,10	7,68	2,58
	12	4,60	4,30	12,01	1,36	3,04	1,20	0,22	0,38	4,84	18,21	25,58	2,32
	13	5,10	4,30	8,98	2,00	2,88	1,12	0,33	0,38	4,71	15,69	30,02	2,80
	14	4,80	4,25	7,99	1,28	0,64	0,24	0,05	0,26	1,19	10,64	11,38	1,37
	15	4,80	4,05	8,18	2,16	1,20	1,20	0,22	0,36	2,98	13,32	22,37	2,49
LVm	16	5,30	4,30	4,29	0,80	1,76	0,32	0,12	0,30	2,50	7,59	32,94	1,26
	17	4,90	4,00	1,78	1,28	0,64	0,16	0,09	0,28	1,17	4,23	27,66	0,32
LRd	18	4,70	4,50	6,47	1,04	1,04	0,16	0,19	0,26	1,65	8,16	20,22	1,73
	19	5,45	4,60	5,48	0,72	0,80	0,24	0,12	0,26	1,42	7,62	18,63	1,71
LRe	20	6,25	5,70	4,36	nihil	11,92	1,76	0,24	0,48	14,40	18,76	76,76	3,02

Análises realizadas no Laboratório de Análise de Solos do IPEACO.

QUADRO 2-A. Características físicas e químicas das amostras dos solos em estudo.

Grande grupo de solo	N.º de amostra	Argila %	Equiv. unidade %	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
LE	1	27	16,91	16,77	16,06
	2	49	30,93	10,28	29,45
	3	50	26,76	18,18	27,03
	4	40	29,05	8,08	28,56
	5	36	27,54	11,98	30,47
	6	53	33,32	11,18	27,92
	7	56	34,04	13,07	30,22
	8	59	37,18	11,08	26,40
	9	47	29,28	24,35	25,50
LEm	10	14	10,51	5,59	8,03
	11	48	31,29	9,58	26,52
LV	12	37	26,26	10,78	33,40
	13	56	33,12	11,98	25,12
	14	44	20,55	8,38	23,08
	15	38	27,46	10,68	15,55
LVm	16	22	14,15	1,60	14,53
	17	10	6,82	1,70	6,63
LRd	18	36	26,00	25,15	23,71
	19	43	26,47	12,37	26,90
LRc	20	51	34,92	27,54	24,73

Análises realizadas no Laboratório de Análise de Solos do IPEACO.

QUADRO 3-A. Valores de capacidade máxima de adsorção de fósforo e constante de equilíbrio, determinados pela isoterma de Langmuir, nas amostras de solo.

Grande grupo de solo	N.º da amostra	Capacidade máxima de adsorção mg P/g solo	Constante de equilíbrio $\frac{1}{\text{ppm}}$	Equação de regressão	Coefficiente de determinação R^2
LE	1	0,4328	2,1804	$Y = 1,0597 + 2,3106 X$	0,9489**
	2	0,5669	6,1985	$Y = 0,2846 + 1,7641 X$	0,9730**
	3	0,4833	2,9199	$Y = 0,7087 + 2,0693 X$	0,9748**
	4	0,5168	3,2068	$Y = 0,6034 + 1,9350 X$	0,9522**
	5	0,6089	16,5076	$Y = 0,0995 + 1,6424 X$	0,9734**
	6	0,5714	144,6446	$Y = 0,0121 + 1,7502 X$	0,9415**
	7	0,6036	22,4167	$Y = 0,0739 + 1,6566 X$	0,9115**
	8	0,5792	14,9878	$Y = 0,1152 + 1,7266 X$	0,8943**
	9	0,5870	68,9757	$Y = 0,0247 + 1,7037 X$	0,9685**
LEm	10	0,2554	1,7028	$Y = 2,2996 + 3,9157 X$	0,9436**
LV	11	0,5388	9,4314	$Y = 0,1968 + 1,8561 X$	0,9851**
	12	0,6169	16,7113	$Y = 0,0970 + 1,6210 X$	0,8638**
	13	0,5995	11,5928	$Y = 0,1439 + 1,6682 X$	0,9553**
	14	0,6168	12,4428	$Y = 0,1303 + 1,6213 X$	0,9683**
	15	0,5056	1,3062	$Y = 1,5141 + 1,9778 X$	0,9724**
LVm	16	0,5361	1,2623	$Y = 1,476 + 1,8652 X$	0,9765**
	17	0,3262	0,8054	$Y = 3,8066 + 3,0660 X$	0,9866**
LRd	18	0,4975	5,6474	$Y = 0,3559 + 2,0099 X$	0,8934**
	19	0,6273	8,1707	$Y = 0,1951 + 1,5941 X$	0,8392**
LRe	20	0,5998	5,7174	$Y = 0,2916 + 1,6672 X$	0,9667**

** Excede ao nível de probabilidade de 1%.

QUADRO 4-A. Composição química da solução nutritiva utilizada no ensaio em estufa.

Solução estoque	Gramas per litro	ml de solução estoque per litro de solução nutritiva
NH_4NO_3	197,8540	100
KNO_3	113,8520	100
K_2SO_4	66,7480	25
Micronutrientes ^{1/}		
^{1/} Composição da solução estoque de micronutrientes		
Fonte	Gramas por litro	
H_3BO_3	0,9300	
$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2,2423	
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	3,5180	
$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	0,9738	
MoO_3	0,0450	
$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	1,5480	
Ácido cítrico*	10,0000	

*Utilizado como agente estabilizador da solução.

QUADRO 5-A. Análises de variância das equações de regressão ajustadas entre produção de matéria seca de aveia e níveis de fósforo aplicados.

N.º da amostra	Fonte de variação	G.L.	QM
1	Componente linear	1	24,99**
	Componente quadrático	1	8,90**
2	Componente linear	1	19,27**
	Componente quadrático	1	4,45**
3	Componente linear	1	21,92**
	Componente quadrático	1	9,71**
4	Componente linear	1	21,17**
	Componente quadrático	1	7,40**
5	Componente linear	1	53,73**
	Componente quadrático	1	20,80**
6	Componente linear	1	35,87**
	Componente quadrático	1	10,96**
7	Componente linear	1	30,30**
	Componente quadrático	1	14,58**
8	Componente linear	1	10,20**
	Componente quadrático	1	3,18*
9	Componente linear	1	25,19**
	Componente quadrático	1	12,29**
10	Componente linear	1	16,98**
	Componente quadrático	1	6,74**
11	Componente linear	1	28,75**
	Componente quadrático	1	8,94**
12	Componente linear	1	56,00**
	Componente quadrático	1	25,47**
13	Componente linear	1	27,40**
	Componente quadrático	1	9,64**
14	Componente linear	1	42,64**
	Componente quadrático	1	20,32**

N. ^o da amostra	Fonte de variação	G.L.	QM
15	Componente linear	1	38,55**
	Componente quadrático	1	18,77**
16	Componente linear	1	23,26**
	Componente quadrático	1	5,13**
17	Componente linear	1	15,56**
	Componente quadrático	1	11,30**
18	Componente linear	1	24,05**
	Componente quadrático	1	16,51**
19	Componente linear	1	27,59**
	Componente quadrático	1	12,91**
20	Componente linear	1	32,96**
	Componente quadrático	1	17,74**

* Excede ao nível de probabilidade de 5%.

** Excede ao nível de probabilidade de 1%.