

FIXAÇÃO DE FOSFATOS EM SOLOS DE “CERRADO” DE GOIÁS

JOSÉ XAVIER DE ALMEIDA NETO

Eng^o Agrônomo

Orientador: PROF. DR. MOACYR DE OLIVEIRA
CAMPONEZ DO BRASIL SOBRINHO

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universi-
dade de São Paulo, para obtenção do título
de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A

1 9 7 5

Homenagem Póstuma

Ao tio Guilherme Xavier de Almeida

Dedico

Aos meus pais Domitilla e José
À minha esposa Neusa Maria e
minha filha Mara.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo, através da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Departamentos e seus dirigentes, pela oportunidade do aperfeiçoamento.

À Universidade Federal e Escola de Agronomia e Veterinária de Goiás, nas pessoas dos Professores Farnese Dias Maciel Neto e Clairmont Orlando Gomes, respectivamente, reitor e diretor, por ocasião do nosso afastamento para pós-graduação.

À Subsecretaria de Cooperação Econômica e Técnica Internacional (SUBIN) e à Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas concedidas durante o curso.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pelo auxílio financeiro na condução do trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Geologia da ESALQ pela colaboração prestada.

Ao Dr. Moacyr de O.C. do Brasil Sobrinho pela orientação e pela amizade.

Ao Prof. Manoel Passos de Castro pelo acúmulo de trabalho assumido devido nosso afastamento para Pós-Graduação.

Aos Drs. José Mário Braga e Braz Victor De-
felipo pelas sugestões apresentadas.

Ao Dr. Eilmar Ziller Marcos pelas sugestões
e pelo summary.

Ao Dr. José Xavier de Almeida Júnior pela
leitura e correção do manuscrito.

À Valdívia Veloso de Andrade (Eng^o Agr^o) pe-
lo auxílio nos cálculos estatísticos.

À acadêmica de agronomia Maria de Fátima S.
Róveri, pelo auxílio, em parte, das análises de laborató
rio.

A todas as pessoas que de alguma forma con-
tribuíram para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

	Pág.
LISTA DE QUADROS	V
LISTA DE FIGURAS	VI
CAPÍTULO I	
1. INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II	
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Considerações sobre o Cerrado	4
2.1.1. Área e Vegetação do Cerrado	4
2.1.2. Propriedades Físicas e Altitude	6
2.1.3. Propriedades Químicas e Mineralógicas dos Solos de Cerrado	9
2.2. Aspectos Gerais da Fixação de Fosfatos ..	15
2.2.1. Conceito de Fixação de Fósforo	15
2.2.2. Fatores que Afetam a Fixação de Fosfa - tos	16
2.2.2.1. Conteúdo e "Qualidade" da fração Argi la	16
2.2.2.2. pH	19
2.2.2.3. Matéria Orgânica	22
2.2.2.4. Tempo de Contato	24
2.2.3. Mecanismo de Fixação de Fosfatos	25
2.2.4. Metodologia de Estudo da Fixação de Fos fatos	27

CAPÍTULO III

3. MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1. Material	30
3.1.1. Solos	30
3.1.2. Material de Laboratório e do Ensaio Bio- lógico	35
3.1.2.1. Fontes de Nutrientes Empregados	35
3.1.2.2. Vasos	36
3.1.2.3. Termômetro	
3.1.2.4. Frascos	36
3.1.2.5. Sementes	36
3.2. Método	37
3.2.1. Coleta, Preparo e Armazenamento das Amostras de Solo	37
3.2.2. Determinação das Características Físi- cas e Químicas	37
3.2.2.1. Caracterização Física	38
3.2.2.2. Caracterização Química	38
3.2.2.2.1. Determinação do pH	38
3.2.2.2.2. Fósforo Total	38
3.2.2.2.3. Determinação do Carbono	39
3.2.2.2.4. Determinação da Acidez Total	39
3.2.2.2.5. Sódio Trocável	39
3.2.2.2.6. Determinação do Óxido de Ferro Li- vre	39
3.2.2.2.7. Determinação do Cálcio e do Magné- sio	40
3.2.2.2.8. Determinação do Potássio "extraível" Mehlich	40

	Pág.
3.2.2.2.9. Fósforo Solúvel pela Solução Extrato ra de Mehlich	43
3.2.2.2.10. Determinação do Alumínio Trocável .	43
3.2.3. Preparo da Solução Nutritiva sem Fósforo	43
3.2.4. Determinação da Capacidade Hídrica	43
3.2.5. Determinação da Umidade Higroscópica ...	43
3.2.6. Determinação da Percentagem de Fosfato Fixado nos Solos pelo Método Descrito por WAUGH & FITTS (1966)	43
3.2.7. Determinação da Capacidade Máxima de Ad- sorção de Fósforo, usando a Isoterma de Langmuir	46
3.2.8. Ensaio em Vasos, Utilizando <u>Panicum mi- liaceum</u> (painço) como Planta Indicadora na Extração de Fósforo	48
3.2.9. Delineamento Experimental	51
 CAPÍTULO IV	
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1. Os valores "X" dos Solos de: Anápolis, Itum biara e Morrinhos obtidos pelo Método de WAUGH & FITTS (1966)	52
4.1.1. Escolha do Valor "X"	59
4.2. Produção de <u>Panicum miliaceum</u> (painço) em gramas de Matéria Seca por Vaso, dos So- los de: Anápolis, Itumbiara e Morrinhos.	60

4.3. Valores da Adsorção Máxima Através da Iso terma de Langmuir para os Solos de: Aná polis, Itumbiara e Morrinhos	67
---	----

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÕES	71
---------------------	----

CAPÍTULO VI

6. RESUMO	74
-----------------	----

7. SUMARY	78
-----------------	----

8. BIBLIOGRAFIA CITADA	80
------------------------------	----

LISTA DE QUADROS

	Pág.
1. Composição granulométrica dos solos, componen <u>tes</u> cristalinos predominantes da fração argi <u>la</u> , cor e classificação textural dos solos de Anápolis, Itumbiara e Morrinhos	32
2. Características químicas e umidade higroscópi <u>ca</u> dos solos de Anápolis, Itumbiara e Morrinhos	33
3. Quantidade de P adicionado aos solos em testes de laboratório	44
4. Quantidades de fósforo adicionadas aos vasos no ensaio com <u>Panicum miliaceum</u> (painço)	49
5. Percentagem de fixação de fosfatos no solo de Anápolis	55
6. Percentagem de fixação de fosfatos no solo de Itumbiara	56
7. Percentagem de fixação de fosfatos no solo de Morrinhos	57
8. Produção de painço em g/vaso de matéria seca no ensaio de vasos com doses crescentes de fósforo no solo de Anápolis	61
9. Produção de painço em g/vaso de matéria seca no ensaio de vasos com doses crescentes de fósforo no solo de Itumbiara	62
10. Produção de painço em g/vaso de matéria seca no ensaio de vasos com doses crescentes de fósforo no solo de Morrinhos	63

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Cobertura vegetal - cerrado de Anápolis	7
2. Cobertura vegetal - cerrado de Itumbiara	7
3. Cobertura vegetal - cerrado de Morrinhos	8
4. Curvas de extração de fósforo para os solos de Anápolis, Itumbiara e Morrinhos	53
5. Ilustração mostrando, nos três solos estudados, a diferença de crescimento, entre o testemunho T_1 e T_5 com 100 ppm de fósforo adicionados	66
6. Ilustração mostrando a diferença de crescimento nos três solos estudados, quando se adicionaram T_9 (200 ppm) e a dose máxima T_{11} (400 ppm)	66

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O Estado de Goiás possui uma área de 642.036 km² sendo 68,5% aproximadamente (Camargo, 1969, citado por RIZZO et alii, 1971) cobertos, originalmente, por vegetação de cerrado o que correspondem a 439.794 km². A maior parte da agricultura de Goiás se acha implantada neste "solo cerrado".

Os solos de cerrado apresentam, normalmente, boas condições físicas e topografia favorável à mecanização, oferecendo, portanto, excelentes possibilidades à exploração agrícola, o que já foi alertado por vários pesquisadores, (VELOSO, 1949; PAVAGEAU, 1952; MELLO et alii, 1960. O

Governo Federal, consciente do potencial dos cerrados, criou em 1975 o Programa do Desenvolvimento do Cerrado.

Entretanto, esta formação edáfica se caracteriza por baixa fertilidade, sendo que, mesmo nos cerrados considerados férteis ocorre generalizada deficiência de fósforo, o que torna baixa e às vezes ínfima a sua produtividade.

O fósforo é um elemento imprescindível aos processos biológicos, pois é o transportador normal de energia nas células, além de promover o crescimento e a reprodução de plantas e animais.

Para se conseguir aumento na produtividade dos solos de cerrado as pesquisas têm mostrado a necessidade de se adicionar fósforo.

Os fertilizantes fosfatados sofrem várias reações com os componentes dos solos. Os produtos formados são usualmente muito menos acessíveis às plantas do que o fosfato contido nos fertilizantes. O solo, portanto, compete com a planta no tocante ao fosfato aplicado, fixando parte deste. O conhecimento da quantidade de fosfato, capaz de ser fixada pelos solos, dos cerrados em estudo, é de grande importância, para se proceder as interpretações de análises

de terras e recomendar adubações visando o aumento da produtividade das culturas e das pastagens.

Com o atual preço mundial de fertilizantes, é muito importante um melhor conhecimento das quantidades de fosfatos afim de se procurar minimizar os custos de produção, para exploração econômica das culturas nos cerrados.

Este trabalho foi desenvolvido, buscando-se conhecer a capacidade de fixação de fosfatos em três solos de cerrados de Goiás, através de duas técnicas de avaliação em laboratório e trabalho com plantas em vasos.

Com o conhecimento da capacidade de fixação de fósforo em laboratório, foram determinadas as quantidades de fosfatos que, adicionadas a estes solos, proporcionaram a melhor produção em ensaio biológico.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Considerações Sobre o Cerrado

2.1.1. Área e vegetação do cerrado

O Brasil pode ser dividido em três principais províncias geobotânicas que genericamente correspondem a três importantes domínios morfoclimáticos:

- a. domínio das regiões serranas de morros ma melonares do Brasil Sudeste (área de climas tropicais e subtropicais úmidos - zona da mata atlântica sul oriental);
- b. domínio das depressões intermontanas e interplanálticas do Nordeste semi árido (área subequatorial e tropical semi árida

zona das caatingas)

c. domínio dos chapadões tropicais de regime pluviométrico a duas estações - zona dos cerrados e das florestas galerias (AB'SABER, 1963).

Os campos cerrados ocupam extensa área do território nacional, ou seja em torno de 25% ou, ainda, aproximadamente 2.000.000 km² (JOLY, 1970).

O Estado de Goiás ocupa área de 642.036 km², sendo 68,5 % sob vegetação de cerrado, que correspondem a 439.794 km².

A vegetação considerada "cerrado" é bastante variada e pode ser dividida segundo uma escala crescente quanto ao porte de sua povoação em: campo ou campo propriamente dito, campo sujo ou campo-cerrado, cerrado e cerradão (FERREIRA et alii, 1968).

VELOSO (1949) considerou o cerrado atual como originado dos campos, que seriam relíquias de um clímax mais antigo.

As plantas que compõem esta vegetação são bastante variadas em seu aspecto xeromórfico (FERRI, 1968)

(Figuras 1, 2 e 3). Entretanto, suas estruturas não mostram adaptação a um clima xérico, como se observa pela manutenção dos estômatos abertos durante o dia (ARENS, 1963).

O conceito de que a peculiaridade geral das plantas de cerrado é uma característica escleromórfica oligotrófica foi iniciado em 1942 na U.S.P. (ARENS, 1963).

A oligotrofia (escassez de nutrientes minerais) parece ser a característica geral e única dos diversos solos que suportam campos cerrados, desde o Amapá até o Paraná (ARENS, 1958; ARENS, 1963).

A deficiência de fósforo produz estrutura rígida e nanismo (Scheffer & Walte, 1955 e Banmeister, 1958, citados por ARENS, 1963).

2.1.2. Propriedades físicas e altitude

Os solos de cerrado, com raríssimas exceções, revelam-se dotados de boa profundidade efetiva. Sua classificação em grandes grupos, ou sua classificação textural é bem variada (RANZANI, 1963). Entretanto a maioria dos solos de cerrado é constituído de latossolos bastante intemperizados (LEAL, 1971).



Figura 1 - Cobertura vegetal - Cerrado de Anápolis



Figura 2 - Cobertura vegetal - Cerrado de Itumbiara



Figura 3 - Cobertura vegetal - Cerrado de Morrinhos

Pensou-se durante algum tempo que a falta de água fosse o fator limitante da produção no cerrado, até que Ferri, 1955, demonstrou o contrário (MALAVOLTA, 1965).

BANEMA (1964) encontrou nos solos de cerrado estudados textura de média a argilosa.

Destas afirmativas, podemos ver que o "cerrado" apresenta propriedades físicas bem variadas e que não o caracterizam.

Quanto à altitude, os cerrados são encontrados numa ampla faixa alcançando desde 50 m no Anapá até 1200 m no sul de Minas Gerais (JACOMINI, 1964).

2.1.3. Propriedades químicas e mineralógicas dos solos de cerrado.

Em 1948, uma expedição do Conselho Nacional de Geografia fez determinações do fósforo solúvel (extrator de Truog: ácido sulfúrico 0,005 N) e do fósforo total de "solos de Cerrados" de São Paulo, Goiás, Mato Grosso e Minas Gerais e constatou baixos níveis deste nutriente (PAVAGEAU, 1952).

McCLUNG et alii (1958), estudando vários solos de cerrados, entre eles quatro solos de Anápolis - Goiás, instalou experimentos de subtração de nutrientes e constatando pobreza e acentuado desequilíbrio de nutrientes.

BANEMA (1964), estudando latossolos sob vegetação de cerrado, encontrou na fração areia: quartzo ou minerais ferruginosos; minerais silicatados - muscovita, biotita, turmalina, hornblenda, silimanita, epidoto, etc.

Na fração argila (menor que 2μ): argilas silicatadas, tipo caulinítico, óxidos de alumínio não combinados na forma de gibbsita; óxido de ferro e quartzo.

Alguns solos são baixos em caulinita e ricos em óxido de ferro e alumínio e podem apresentar-se como eletro-positivos. As C.T.C. são normalmente inferiores a 2,0 eq.mg/100 g e os teores de alumínio são normalmente inferiores a 2,0 eq.mg/100 g e são considerados médios. A saturação em bases é geralmente baixa entre 2 % e 42 % e o fósforo é normalmente baixo e menor que o das florestas. "O fósforo muitas vezes é, talvez, o fator decisivo para a presença da vegetação tipo cerrado, porém nem sempre isto acontece". Este autor se refere ainda à deficiência de outros macro e micronutrientes (BANEMA, 1964).

LEAL (1971) estudando solos de cerrado, entre eles um de Anápolis - Goiás, encontrou um teor elevado de óxidos amorfos de alumínio e ferro.

BRAGA & DEFELIPO (1972 a), fracionando o fósforo do solo pelo método de Chang & Jackson, julgaram que a forma de fósforo predominante deveria ser a variscita e que o extrator que melhor correlacionou com o fósforo ligado ao alumínio foi o Carolina do Norte, na relação volume de terra para volume extrator de 1:10.

Nas considerações sobre a fertilidade dos cerrados foi levada em conta como referência de níveis baixos, médios e altos a tabela apresentada por CATANI & JACINTO (1974).

A interpretação dos dados analíticos que vai ser apresentada na Tabela seguinte está fundamentada em 3 níveis: baixo, médio e alto, com exceção do pH em que as categorias obedecem a outro critério.

Tabela - Interpretação dos resultados analíticos do solo

pH

Abaixo de	5,00	acidez elevada
de 5,00 a	6,00	acidez média
de 6,00 a	7,00	acidez fraca
	= 7,00	neutralidade
de 7,00 a	7,80	alcalinidade fraca
	> 7,80	alcalinidade elevada

Carbono, em g por 100 g de terra

	< 0,60	baixo
0,60 a	1,20	médio
	> 1,20	alto

Fósforo solúvel em solução de H_2SO_4 0,05 N

	< 0,10 eq.mg PO_4^{3-} /100 g de terra ou 10 ppm de P	baixo
0,10 a	0,30 eq.mg PO_4^{3-} /100 g de terra ou de 10 a 30 ppm de P	médio
	> 0,30 eq.mg PO_4^{3-} /100 g de terra ou 30 ppm de P	alto

continuação

Potássio trocável

	< 0,10 eq.mg K/100 g de terra ou 39(40)ppm K	baixo
0,10 a	0,30 eq.mg K/100 g de terra ou 39 a 117 (40 a 120)ppm K	médio
	> 0,30 eq.mg K/100 g de terra ou 117(120)ppm K	alto

Cálcio trocável

	< 2,0 eq.mg/100 g de terra	baixo
2,00 a	4,0 eq.mg/100 g de terra	médio
	> 4,0 eq.mg/100 g de terra	alto

Magnésio trocável

	< 0,40 eq.mg/100 g de terra	baixo
0,40 a	0,80 eq.mg/100 g de terra	médio
	> 0,80 eq.mg/100 g de terra	alto

Cálcio + magnésio trocáveis

	< 2,40 eq.mg/100 g de terra	baixo
--	-----------------------------	-------

continuação

2,40 a	4,80 eq.mg/100 g de terra	médio
	> 4,80 eq.mg/100 g de terra	alto

Alumínio trocável

	< 0,30 eq.mg/100 g de terra	baixo
0,30 a	0,60 eq.mg/100 g de terra	médio
	> 0,60 eq.mg/100 g de terra	alto

Prótons extraídos com solução 1 N de acetato de cálcio

	< 2,50 eq.mg/100 g de terra	baixo
2,50 a	5,00 eq.mg/100 g de terra	médio
	> 5,00 eq.mg/100 g de terra	alto.

2.2. Aspectos gerais da fixação de fosfatos

2.2.1. Conceito de fixação do fósforo

A perda de fósforo por lixiviação é excessivamente baixa, mesmo considerando a ação de drenagem. Lipman & Conybeare (1936) citados por BLACK (1968).

Entretanto, quando se adicionam fosfatos solúveis ao solo, o aumento na concentração do íon ortofosfato na solução do solo é menor ao que deveria ser. Isto se deve à transformação de formas solúveis de fósforo em outras menos solúveis. Esta transformação é controlada por fenômenos físicos e químicos, denominados fixação de fosfatos (CATANI & PELEGRINO, 1960), (HEMWALL, 1967).

O estudo da fixação de fosfatos se iniciou na metade do século passado conforme referências de HIBBARD (1935) e de HEHWALL (1957).

Numa revisão sobre fixação de fosfatos HIBBARD (1935) afirmou que a partir de 1930, houve uma intensificação deste estudo e indicou como fatores que afetavam a fixação: tempo de contato, relação solo:água, características físicas, sílica solúvel.

2.2.2. Fatores que afetam a fixação de fosfatos

2.2.2.1. Conteúdo e "qualidade" da fração argila

Uma série de trabalhos mostra a influência positiva do teor de argila na fixação dos fosfatos: CATANI & PELLEGRINO (1957), HEMWALL (1957), OLSEN & WATANABE (1957), FRANKLIN & RETSENAUER (1960), MEIRA (1968), MELLO (1970) , BRAGA (1971), LEAL (1971), MACIEL (1974).

Com referência à qualidade da fração argila, encontraremos uma gama de minerais que vai do cristalino ao criptocristalino e ao amorfo. Vários autores têm estudado a importância destes constituintes.

HIBBARD (1935) considerou a importância da composição das partículas do solo.

MENDES (1950) apresentou, na "II Reunião Brasileira de Ciência do Solo", a observação que, nos solos ácidos, ocorria a adsorção de fósforo aos hidratos de ferro e alumínio.

C/ TANI & PELLEGRINO (1957) estudando três solos de Bauru - SP, consideraram que para os solos ácidos e com um teor médio a alto em óxidos hidratados de ferro, alumínio, etc., a causa mais importante da fixação de fósforo é a sua adsorção às partículas coloidais do solo.

HENWALL (1957) observou que nos solos ácidos a fixação era devida à formação de compostos insolúveis de ferro e alumínio.

OLSEN & WATANABE (1957) verificaram que, dentro da fração argila, a adsorção foi proporcional à superfície específica e que os solos ácidos retiveram mais fósforo e com maior energia (mais fortemente).

FRANKLIN & REITSENAUER (1960), estudando 17 solos de Washington, constataram que a fixação de fósforo foi altamente correlacionada com o alumínio trocável e com o alumínio solúvel em ácido cítrico 0,5 M. Constataram ainda que o alumínio solúvel em ácido cítrico 0,5 M., foi 160 vezes mais ativo na adsorção de fósforo que o ferro solúvel no mesmo ácido.

ESU (1964), estudando solos do Canadá, considerou o material amorfo como principal fator de fixação de fósforo.

RAMULU et alii (1967) trabalharam com 12 solos da Califórnia e verificaram que a fração argila, em que predominava a caulinita, fixava mais P e que dentro de cada grupo a fixação foi proporcional ao ferro livre.

CATANI & BATAGLIA (1968), estudando o fracionamento do fósforo em oito solos de São Paulo e Paraná, verificaram que a maior porção de fósforo foi a ligada ao ferro e alumínio colúidos (extraídos com: $\text{HCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3$ concentrados).

MEIRA et alii (1968), estudando 17 solos da Zona da Mata de Pernambuco observaram que a fixação foi proporcional ao teor de argila. Consideraram que a adsorção superficial de fósforo foi fator dominante, pois, somente quando o alumínio trocável se aproximou de 1,0 eq.mg/100 g, a relação P x Al se tornou importante.

REEVE & SUMNER (1970) estudaram oito oxissolos e não encontraram relação entre alumínio trocável e fixação de fósforo e verificaram que a calagem não diminuiu a fixação.

LEAL (1971) notou que a adsorção foi maior nos solos com maiores teores de óxido amorfo de alumínio e

ferro.

MACIEL (1974), estudando cinco solos do Paraguai encontrou correlação entre a fixação de fósforo e Fe_2O_3 e Al^{+3} .

FASSBENDER (1969 a), estudando oito latosolos da amazônia, não encontrou correlação entre fixação de P e Alumínio trocável, nem com ferro total ou livre.

SHUKLA et alii (1971), estudando 25 sedimentos de lagos de Wisconsin, verificaram que os óxidos de alumínio amorfos são o fator mais importante na adsorção do P adicionado.

2.2.2.2. pH

O pH é um fator muito considerado e bastante discutido nas determinações da fixação de fosfatos. E, embora existam divergências nas opiniões, parece que a maioria dos autores concorda em que as fixações são maiores nos potenciais de hidrogênio, nas faixas extremas de acidez ou alcalinidade.

HIBBARD (1935), num trabalho em que estudou a fixação de P em dez dolos, verificou que a fixação aumentou com o pH e com a adição de Ca^{++} , CaCO_3 .

KARIM & KHAN (1955) estudaram 26 solos do Paquistão, cujos potenciais de hidrogênio variavam de 4,2 a 6,5. Encontraram que o fósforo orgânico aumentou com o pH de 4,2 a 4,6 e após isto decresceu até o pH 5,6, quando novamente aumentou com a elevação do pH.

A adsorção de fósforo mostrou um aumento acentuadamente correlacionado com o pH de 4,0 a 5,3, sendo que daí por diante houve um decréscimo até pH 6,2.

CATANI & PELLEGRINO (1960) concluíram que as opiniões são concordes em que para os solos ácidos, os compostos de ferro e alumínio são os maiores responsáveis pela fixação, enquanto que, para os solos alcalinos são os compostos de cálcio.

DE DATTA et alii (1963), trabalhando com três solos do Hawaii, verificaram que o P na solução do solo aumentava com o pH até 5,8 para um dos solos e até 6,6 para os outros dois.

PRATT (1966) afirmou que a solubilidade do ânion do ácido fosfórico depende da presença de cátions como: Ca, Fe, Al, Mg, F, etc.. As reações são dependentes de constantes do produto de solubilidade que pode ser relacio-

nado com o pH do solo e quanto maior estiver a constante do produto de dissociação do H_2PO_4 (pH_2PO_4) mais estável será o composto.

O autor mostra ainda que, nos casos de extrema acidez, o produto é controlado principalmente pelos íons alumínio e ferro e nos casos de pH maior que 5 pelo fluor e cálcio.

CABALA & FASSBENDER (1971), estudando oito solos ácidos da Bahia, encontraram que a calagem diminuiu o poder de fixação até um pH 5,8, do qual a partir daí houve um aumento.

SHUKLA et alii (1971) encontraram que os se dimentos não calcários adsorveram mais fósforo e que a fixação foi inversamente proporcional ao conteúdo de $CaCO_3$.

BRAGA & DEFELIPO (1972a), estudando oito solos de cerrado da região do Triângulo Mineiro, concluíram que a calagem alterou de maneira desuniforme os teores de P disponível.

LOURENÇO (1973), estudando adsorção e des sorção de fósforo em solos do Paraná, verificou que o calcário aumentou a adsorção máxima.

VASCONCELLOS (1973), estudando dois solos de cerrado de Mato Grosso, encontrou que a adsorção máxima decresceu com o aumento do pH inicial da suspensão, sendo que num dos solos voltou a aumentar após pH 7,0.

2.2.2.3. Matéria orgânica

A matéria orgânica tem influência marcante na fixação de fosfatos e depende, em parte, do seu teor no solo e do seu estágio de mineralização, o conhecimento da quantidade e do grau de intensidade desta fixação. (SAUCHELLI, 1965) (RUCKMAN & BRADY, 1966) (BLACK, 1968) (FISDALE & NELSON, 1970).

HEMWALL (1957) mostrou que, embora exista uma crítica extensiva, evidenciando a fixação do fósforo orgânico pelo solo, poucas conclusões podem ser pesquisadas. Certos compostos orgânicos, notadamente, fitina e seus derivados, formam compostos insolúveis com alumínio, ferro e cálcio e de modo semelhante com ortofosfato.

MELLO (1968), estudando onze solos de São Paulo, afirmou que "a atividade biológica pode atingir, às vezes, certa magnitude".

FASSBENDER (1969 b) afirmou que devido à presença de cargas eletropositivas na matéria orgânica o íon H_2PO_4 é por ela adsorvido.

TISDALE & NELSON (1970), citando vários trabalhos mostraram algumas vantagens da matéria orgânica no aumento do fósforo disponível à planta como: - na decomposição da matéria orgânica, ocorre despendimento de dióxido de carbono que com a água forma o ácido carbônico, que pode decompor certos minerais primários.

- os extratos de humus podem aumentar a solubilidade dos fosfatos:

- a. formando complexos fosforohúmicos que são mais facilmente assimiláveis pelas plantas;
- b. pode trocar o ânion do fosfato por ânions do ácido húmico;
- c. cobrir as partículas de sesquióxidos por humus, diminuindo a capacidade de fixação de fósforo deste solo.

LEAL (1971) encontrou correlação altamente significativa entre adsorção de fósforo e matéria orgânica.

2.2.2.4. Tempo de contato

Na adsorção de fosfatos um fator ao qual se dá muita ênfase é o tempo de contato, entre o fósforo e o solo.

HIBBARD (1935) demonstrou que a maioria do fósforo adicionado foi fixada em poucas horas e a fixação pode continuar por um ano ou mais.

DE DATTA (1963) encontrou num solo reação muito rápida nos primeiros minutos e continuou rápida até 48 horas, após o que, tornou-se lenta, atingindo uma reação muito lenta, após 96 horas (4 dias).

CATANI & GLORIA (1964), estudando oito solos de São Paulo, em trabalho com $^{32}\text{P}_{15}$ (fósforo radioativo) concluíram que o equilíbrio, entre P fixado e o P em solução, foi de 16 horas.

LARSEN (1967) afirmou que quando a suspensão de solo for agitada por poucos minutos a atividade microbiana provavelmente pode ser ignorada, mas não quando se agita horas ou dias.

LOURENÇO (1973). A adsorção máxima não variou

consistentemente com o tempo de reação. A constante correlacionada com a energia de retenção aumentou com este tempo.

2.2.3. Mecanismo de fixação de fosfatos

O mecanismo de adsorção de fosfato é complexo. HSU (1964) considerou que a literatura apresenta um quadro muito confuso sobre o assunto. Coleman & Thomas (1967) citados por LEAL (1971) sugeriram que o mecanismo exato pelo qual os ânions são adsorvidos pelo solo seja, talvez, impossível de se elucidar.

HEMWALL (1957) julgou que a fixação do fósforo nos solos ácidos, pode ser por precipitação ou por adsorção, dependendo das condições existentes no solo. Esta fixação é devida à formação de compostos de ferro e alumínio do tipo $M(H_2O)_3(OH)_2H_2PO_4$ que podem precipitar ou ser adsorvidos no solo. M = cátion de ferro ou alumínio.

HSU (1964) considerou que a fixação se dava em duas reações: a primeira mais rápida devida à adsorção aos hidróxidos de alumínio amorfo e óxidos de ferro e a segunda, lenta, devida a estes mesmos compostos, porém quando eles se iam formando durante o experimento.

Fassbender (1966) citado por VASCONCELOS (1973), considerou entre outros mecanismos, dois tipos de reação dos fosfatos.

O primeiro tipo são as reações que obedecem os princípios físico-químicos, como a lei das massas. São reações de precipitação do fósforo em precipitados de baixa solubilidade, do tipo das apatitas - $\text{Ca}_5\text{PO}_4\text{OH}$, strengita $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, variscita - $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e outros fosfatos complexos, cristalinos ou amorfos.

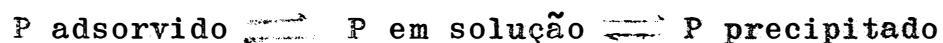
O segundo tipo de reação obedece leis específicas químico-coloidais. E ocorre na adsorção do fósforo pelas partículas coloidais como: matéria orgânica, argilas e hidróxidos. Este tipo de adsorção pode ser exemplificado na adsorção do H_2PO_4 pela caulinita, na reação representada a seguir:



PRATT (1966) deu parecer de que, tanto a precipitação como a dissolução dos compostos de fósforo, bem como a adsorção e a dessorção, sobre as superfícies, podem ocorrer em um mesmo solo e ao mesmo tempo. O comportamento do fósforo, em torno das faixas ou grânulos de fertilizantes,

é controlado e mais bem explicado pelas reações de precipitação e solubilidade dos compostos distintos e, também, pelas reações em solução diluída, enquanto que em pontos afastados das faixas de fertilizantes, é melhor explicado pelas reações de adsorção-dessorção.

LARSEN (1967) concluiu que a concentração do fósforo deve ser determinada pelo princípio do produto da solubilidade, ilustrada da seguinte maneira:



O equilíbrio é controlado pela energia livre. A energia livre do fósforo adsorvido será aumentada, quando a adsorção máxima se aproximar.

2.2.4. Metodologia de estudo da fixação de fosfatos.

É bastante variada a metodologia utilizada na determinação da fixação de fosfatos.

A equação de Langmuir, base da teoria de cinética dos gases, é usada extensivamente para descrever a adsorção de gases no solo. A mesma equação frequentemente se aplica para a adsorção de líquidos e íons da solução por só

lidos. Apesar do mesmo rigor, a base teórica não está amplamente desenvolvida (OLSEN & WATANABE, 1957).

Vários autores têm avaliado a adsorção máxima de fosfatos através da isoterma de Langmuir: OLSEN & WATANABE (1957), HSU (1964), MEIRA et alii (1968), FASSBENDER (1969 b), REEVE & SUMMER (1970), LEAL (1971), BRAGA & DEFELIPO (1972 b), VASCONCELOS (1972) e LOURENÇO (1973).

O uso do isótopo $^{32}\text{P}_{15}$ é também ferramenta importante no auxílio da determinação da fixação de fósforo. Tem sido largamente utilizado: CATANI & PELLEGRINO (1957), FRANKLIN & RETSENAUER (1960), DE DATTA et alii (1963), CATANI & GLORIA (1964), RAMULU et alii (1967), FASSBENDER (1969 a), MELLO (1970), LOURENÇO (1973) e MACIEL (1974).

Na primeira reunião sobre Análise de Solo para fins de fertilidade (janeiro - 1967), realizada na Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo, foi recomendado que se fizessem estudos sobre capacidade de fixação de fósforo nos solos brasileiros, como parte de recomendação extensiva à América do Sul. Para uniformidade de resultados deveria ser seguido o método preconizado por Waugh & Fitts (ANASTÁCIO, 1968). A necessidade de uniformidade na metodologia foi

preconizada por BACHE (1971) para padronizar um índice de sorção na caracterização e comparação dos solos.

O método químico de WAUGH & FITTS (1967) é simples e foi usado em vários trabalhos: ANASTÁCIO (1968), BRAGA & DEFELIPO (1972 b), FERREIRA (1973), MACIEL (1974).

CAPÍTULO III

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

Três solos foram empregados neste estudo, coletados no Estado de Goiás, todos sob vegetação de cerrado.

Estes solos serão designados pelas iniciais dos municípios onde foram coletados.

3.1.1. Solos

Solo A - Latossolo V.A., fase cerrado, coletado a 6 km de Anápolis, na direção de Brasília. A cobertura vegetal é campo cerrado, Fig. 1 (pág. 7). Dentre as árvores são mais frequentes: Dimorphandra mollis Benth (faveira);

Kielmeyra coriacea Mart (pau santo); Qualea parviflora (pau terra de folha miúda); Lafoencia pacari St. Hil (pacari) ; Didymopanax vinosum Mart (mandioquinha).

As características físicas e químicas são apresentadas nos Quadros 1 e 2, respectivamente, (págs. 32 e 33).

Informações complementares sobre o município de Anápolis: latitude $16^{\circ}20'S$, longitude $48^{\circ}58'W$, altitude de 1017 m (ARTIAGA, 1951), precipitação anual 1600 mm (INSTITUTO AGRONÔMICO, 1973). Clima segundo THORNTWAITE (1972) B_{3r}A'a' (úmido, pequena deficiência de água no inverno, me gatérmico, com pequena amplitude anual de variação de temperatura.

Solo I - Latossolo roxo, fase cerrado. Coleado a 15 km de Itumbiara. A cobertura vegetal é cerradão, Fig. 2 (pág. 7). Dentre as árvores mais frequentes: Hymenaea stignocarpa Mart (Jatobá); Curatella americana L. (lixreira); Qualea Grandi flora Mart (pau terra de folha larga).

As características físicas e químicas, estão nos Quadros 1 (pág. 32) e 2 (pág. 33), respectivamente.

Informações complementares sobre o município de Itumbiara: latitude $18^{\circ}25' S$, longitude $49^{\circ}13'09''log.W$,

Quadro 1 - Composição granulométrica dos solos, componentes cristalinos predominantes da fração argila, cor e classificação textural dos solos de Anápolis, Itumbiara e Morrinhos.

Solo	Composição Granulométrica (%)			Componentes cristalinos da fração argila
	areia	silte	argila	
A	54,1	22,3	23,6	Caulinita, Gibbsita, Quartzo
I	16,7	33,1	50,2	Caulinita, Gibbsita
M	47,7	15,0	37,3	Caulinita, Gibbsita

Cor do solo

Anápolis

alaranjado (5YR 5/8); vermelho fraco (10R 4/3); úmido

Itumbiara

vermelho escuro (10R 3/6; 3/4 úmido)

Morrinhos

vermelho fraco (10R 4/4; 4/3 úmido).

Classe textural (SOIL SURVEY STAFF, 1951)

A = Barro-arenoso

I = Argila

M = Barro-argilo-arenoso.

Quadro 2 - Características químicas e umidade higroscópica dos solos de Anápolis, Itumbiara e Morrinhos.

Solo	CTC e. mg/ 100 ml	Cátions trocáveis (e. mg/100 ml) T.F.S.A.				pH		V %	P (ppm)		Acidez Total e. mg/ 100ml	Óxido de ferro Fe ₂ O ₃	C %	
		Ca	Mg	K	Na	Al	1:1 água		1:1 KCl	Total				Sol. (*)
A	7,09	0,26	0,19	0,12	0,03	0,29	5,2	4,3	8,46	413	1,4	6,20	7,21	1,41
I	9,67	0,77	0,91	0,24	0,05	0,20	5,2	4,1	20,37	1835	6,6	7,50	9,20	1,31
M	6,62	0,18	0,28	0,22	0,03	0,35	5,1	4,3	10,72	558	3,9	5,56	7,46	1,46

(*) Solúvel em H₂SO₄ 0,025 N + HCl 0,05 N

Umidade Higroscópica	A = 2,040 %	Fator para correção	A = 1,02
	I = 3,736 %	de resultado	I = 1,04
	M = 1,772 %		M = 1,02

altitude 320 m (ARTIAGA, 1951), precipitação anual 1265 mm (INSTITUTO AGRONÔMICO, 1973). Clima segundo THORNTWAITE (1972) C₂WA'a' (úmido, subúmido, moderada deficiência de água no inverno, megatérmico, com pequena amplitude anual de variação de temperatura).

Solo M - Latossolo V.A., fase cerrado. Coletado a 30 km de Morrinhos, na direção de Buriti Alegre. A cobertura vegetal é cerrado, Fig. 3 (pág. 8). Dentre as árvores são mais frequentes: Cariocar brasiliense Camb. (pequi zeiro); Qualea grandiglora Mart (pau terra de folha larga); Pterodom pubescens Benth. (sucupira branca); Jacaranda decurrem Cahn. (jacarandá do campo); Hancornia speciosa Gom. (mangaba); Byrsonima intermedia Juss. (murici).

As características físicas e químicas são mostradas nos Quadros 1 (pág. 32) e 2 (pág. 33), respectivamente.

Informações complementares sobre o município de Morrinhos: latitude 17°42' S, longitude 49°07' W, altitude 667 m (ARTIAGA, 1951), precipitação anual 1175 mm (INSTITUTO AGRONÔMICO, 1973). Clima segundo THORNTWAITE (1972) C₂WA'a' (úmido, subúmido, megatérmico, com pequena variação anual de temperatura).

Na identificação dos vegetais foram usadas as descrições e ilustrações de FERRI (1968) e RIZZO (1972) e na identificação dos solos a metodologia de RANZANI (1969).

3.1.2. Material de laboratório e do ensaio biológico

3.1.2.1. Fontes dos nutrientes empregados

Nitrogênio	KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Potássio	KNO_3 , fósforo - $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
Cálcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
Magnésio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Enxofre	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Boro	H_3BO_3
Cloro	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Manganês	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Molibdênio	$\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Zinco	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Quantidade de cálcio fornecida como nutriente.

Solução estoque - 236 g/l de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ que

correspondem a 40 g/l de Ca.

Para cada vaso foi usada uma quantidade de cálcio correspondente a 2,5 t/ha de carbonato de cálcio.

Devido os solos apresentarem baixos teores em alumínio trocável = 0,39 eq.mg/100 ml (Anápolis); 0,20 eq. mg/100 ml (Itumbiara); 0,35 eq.mg/100 ml (Morrinhos) Quadro 2 (pág. 33) foi dispensado o cálcio como corretivo.

3.1.2.2. Vasos

Foram usados vasos de plástico de capacidade de 2000 ml, sem drenagem, forma cilíndrica com diâmetro de 12,5 cm e 16 cm de altura.

3.1.2.3. Para verificação da temperatura utilizou-se um termômetro de máxima e mínima.

3.1.2.4. Bandeja com erlenmeyers de capacidade de 125 ml.

3.1.2.5. Sementes

Foram usadas sementes de Panicum miliaceum

(painço), com grau de pureza de 98,9 %, com valor cultural de 76,2 %. (*)

3.2. Método

3.2.1. Coleta, preparo e armazenamento das amostras de solo

As amostras foram coletadas superficialmente até a profundidade de 20 cm, secadas à sombra, bem misturadas, passadas em peneira de 2 mm e conservadas em sacos plásticos.

3.2.2. Determinação das características físicas e químicas

As características físicas e químicas foram determinadas no Centro de Estudos de Solos - ESALQ - USP.

A análise mineralógica foi executada no Instituto Agronômico de Campinas, na Seção de Pedologia.

(*) Análise executada no laboratório de sementes do Departamento de Agricultura e Horticultura da ESALQ - USP.

3.2.2.1. Caracterização física

A análise granulométrica foi executada, seguindo o método da pipeta, MARCOS (1972). A dispersão foi feita com calgon (hexametáfosfato de sódio) a 5 %.

A análise mineralógica foi feita por difratometria através da difração dos raios X.

A cor do solo foi classificada pela carta de cores para solo de MUNSELL (1954).

3.2.2.2. Caracterização química

3.2.2.2.1. Determinação do pH

As determinações do pH em água e em KCl foram feitas potenciométricamente, usando uma suspensão de solo em água e outra em cloreto de potássio, respectivamente, numa relação peso do solo e volume da solução de 1:1 (CATANI & BITTENCOURT, 1972).

3.2.2.2.2. Fósforo total

Foi feito o ataque do solo com ácidos inorgânicos concentrados (HCl , H_2SO_4) juntamente com os oxidantes (HNO_3 e HClO_4). Determinou-se o fósforo pelo complexo fosfo-

-sulfo-molibdico, usando-se o ácido ascórbico como redutor e o ion bismuto como catalizador. A leitura foi colorimétrica, filtro de 660 milimicra (CATANI & BITTENCOURT, 1972).

3.2.2.2.3. Determinação do carbono

Determinou-se o carbono, fazendo-se a oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio e, por iodometria, o excesso do oxidante (CATANI & BITTENCOURT, 1972).

3.2.2.2.4. Determinação da acidez total

A acidez total foi determinada por titulação, usando como extrator acetato de cálcio 1,0 N conforme CATANI et alii (1955).

3.2.2.2.5. Sódio trocável

Extraiu-se com acetato de amônio 1,0 N, pH 7,0 e fez-se a leitura no fotômetro de chama.

3.2.2.2.6. Determinação do óxido de ferro livre

Na determinação do óxido de ferro livre a extração foi feita com ditionito de sódio e a determinação

por fotolorimetria com filtro de 499 milimicra.

3.2.2.2.7. Determinação do cálcio e do magnésio

O Cálcio e o Magnésio foram determinados pelo método do EDTA (ácido etileno, diamino tetra acético). Para o cálcio o indicador foi o metalocrômico calcon sendo o pH de 7,5 a 13,5.

Para o cálcio junto com o magnésio o indicador foi o eriocromo preto T, sendo o pH de 6,5 a 11,5 (CATANI & BITTENCOURT, 1972).

3.2.2.2.8. Determinação do potássio "extraível" - Mehlich

O potássio foi extraído com uma mistura diluída de ácidos inorgânicos H_2SO_4 - 0,025 N e HCl 0,05 N (extrator de "Mehlich").

O teor foi avaliado por fotometria de chama no comprimento de onda entre 766 e 767 milimicra (VETTORI, 1969).

3.2.2.2.9. Fósforo solúvel pela solução extratora de Mehlich

A extração foi feita como em 3.2.2.2.8.

Determinou-se o fósforo pelo complexo fósforo-sulfo-molíbdico, usando-se como redutor ácido ascórbico e fez-se a leitura em fotocolorímetro com filtro de 660 milimicra (VETTORI, 1969).

3.2.2.2.10. Determinação do alumínio trocável

Na determinação do alumínio trocável usou-se como extrator o cloreto de potássio 1,0 N e titulou-se com hidróxido de sódio usando-se como indicador azul de bromotimol (VETTORI, 1969).

3.2.3. Preparo da solução nutritiva sem fósforo

Preparo: soluções estocues

- a. KNO_3 1,0 M p.a. 101 g/l
- b. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 1,0 M p.a. 236 g/l
- c. $\text{Mg SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ p.a. 123 g/l
- d. Solução de micronutrientes

H_3BO_3 (1,55 g) + $MnCl \cdot 4H_2O$ (0,99 g) + $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (0,58 g) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (0,08 g) + $H_2MoO_4 \cdot H_2O$ (0,02g) misturados em 1 litro de água destilada.

Solução nutritiva

A solução nutritiva foi preparada em galão de plástico de 10 litros, tirando-se as seguintes alíquotas das soluções estoques citadas em 3.2.3.

Solução:

- a. 500 ml
- b. 500 ml
- c. 250 ml
- d. 100 ml

O volume foi completado até 10 litros com água destilada.

3.2.4. Determinação da capacidade hídrica

Seguiu-se a marcha analítica apresentada pelo (INSTITUTO DE QUÍMICA, 1950), com pequenas modificações.

Foi colocada T.F.S.A. até $2/3$ de um cadinho de Gooch tarado, cujo fundo foi tapado por um disco de papel de filtro úmido. O cadinho foi imerso até $1/3$ em água destilada e deixado por 30 minutos. O conteúdo foi drenado

com o auxílio de uma trompa para extrair o excesso de água e em seguida foi pesado para avaliar a água remanescente.

3.2.5. Determinação da umidade higroscópica

A umidade higroscópica a $105^{\circ} - 110^{\circ}\text{C}$ foi efetuada segundo Saiz Del Rio & Bornemisza conforme foi descrita por (MELLO, BRASIL SOBRINHO & ARZOLLA, 1965).

3.2.6. Determinação da percentagem de fosfato fixado nos solos pelo método descrito por WAUGH & FITTS (1966)

Preparo das soluções de fósforo.

Solução de estoque. A - 2500 ppm de P. Dissolveram-se 9,44 g de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ amorfo em água, até completar 1000 ml.

Solução B - 3750 ppm de P. (Para preparo do tratamento 12). Dissolveram-se 1416 g de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ amorfo em água, até completar 1000 ml.

Quadro 3 - Quantidade de P adicionado aos solos em testes de laboratório.

Tratamento	Volume da Sol. A p/diluir a 50 ml	Concentração nos balões de 50 ml	Concentração no solo
1	0,0	0,0	0,0
2	2,5	125,0	50,0
3	5,0	250,0	100,0
4	7,5	375,0	150,0
5	10,0	500,0	200,0
6	12,5	625,0	250,0
7	15,0	750,0	300,0
8	20,0	1.000,0	400,0
9	25,0	1.250,0	500,0
10	30,0	1.500,0	600,0
11	50,0	2.500,0	1.000,0
12 (Sol. B)	50,0	3.750,0	1.500,0

Foram colocados 10 ml de terra, com duas repetições em erlenmeyers de 125 ml para receberem 4 ml (mais ou menos a quantidade de solução que corresponde à capacidade de campo) das soluções preparadas nos balões volumétricos de 50 ml que receberam os diversos tratamentos.

Na adição dos 4 ml foram usadas pipetas de 2 ml, sendo gotejados 2 ml de solução na parte central dos erlenmeyers que continham o solo e 2 ml na parte periférica.

Os erlenmeyers foram cobertos com plástico (PARAFILM "M")^(*) para evitar a perda de umidade do solo. A incubação foi por quatro dias.

A extração do fósforo se deu no quinto dia. Nas amostras úmidas foram colocados 100 ml do extrator de "Mehlich" usado no Estado de Carolina do Norte, (H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05 N).

A determinação do fósforo nas amostras foi efetuada num fotolorímetro Klett-Summerson.

A melhor amplitude de leitura útil foi obtida através de um gráfico de Ringbom (1959), descrito por BITTENCOURT (1969).

A curva padrão foi construída com dez pontos, isto é, dez soluções diferentes. As concentrações dos padrões variaram de 0,8 ppm a 9,0 ppm, sendo usado como padrão KH_2PO_4 p.a.

(*) Papel parafinado - PARAFILM "M" - MARATHON - A - A Division of American Can Company. Menasha. Wisconsin.

Determinação do fósforo nos solos incubados. Nesta determinação foi seguida a metodologia indicada por VETTORI (1969).

Escolha do valor "X"

A escolha do valor "X" foi feita através de gráfico assinalando-se na ordenada o fósforo extraído na análise (extrator Mehlich) e na abscissa a quantidade de fósforo aplicada em $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.

O ponto onde o fósforo extraível aumenta abruptamente é considerado como valor "X" por WAUGH & FITTS (1966).

3.2.7. Determinação da capacidade máxima de adsorção de fósforo, usando a isoterma de Langmuir

Determinação da capacidade máxima de adsorção de fósforo, usando a Isoterma de Langmuir (BRAGA, 1971a).

A equação da isoterma de Langmuir é baseada na teoria cinética dos gases. É extensamente usada para descrever a adsorção de gases pelos sólidos e também a adsorção de líquidos e ions da solução por sólidos (HSU, 1964).

Em sua forma linear, a equação da Isoterma de Langmuir é:

$$\frac{C}{x/m} = \frac{1}{Kb} + \frac{C}{b}$$

onde:

c = concentração de P da solução em equilíbrio

x/m = quantidade de P adsorvido/unidade de peso

b = capacidade máxima de adsorção de P

k = constante de energia de retenção de P

1/b = inclinação da reta na isoterma.

Marcha analítica. Foram pesadas amostras de 2,5 g de terra, após serem passadas em peneira de 270 malhas/polegada linear (peneira 270) e em seguida foram colocadas em balões volumétricos de 50 ml. Finalmente se adicionaram aos frascos 25 ml de soluções de fosfatos contendo: 0, 20, 40, 60, 80 e 100 ppm de P, correspondentes a uma série de padrões. Em seguida, agitou-se periodicamente cada balão, durante 24 horas. Filtrou-se. Logo após determinou-se o fósforo, como já foi descrito em 3.2.2.2.9. Foram utilizadas desde o início duas repetições de cada tratamento.

3.2.8. Ensaio em vasos, utilizando Panicum
miliacêum (painço) como planta indi-
cadora na extração de fósforo

Utilizaram-se vasos de plástico com capacidade para 2000 ml, sem drenagem. Nos vasos foram colocados 2 kg de solo e os tratamentos foram 11 a fim de que com essa amplitude de doses se pudesse obter o valor "X" no ensaio com plantas de acordo com o Quadro 4 (pág. 49).

A mistura do adubo foi efetuada espalhando os dois quilogramas de solo num plástico de 1,5 m x 1,5 m. A terra foi bem misturada com o adubo fazendo-se ambos rolarem pelo plástico, de lado a outro, e no sentido das diagonais deste último, até que mostrassem boa uniformidade.

Após a mistura, a terra foi retornada ao va-
so.

A mistura do solo com o adubo se deu a par-
tir da dose zero, até a dose 11.

O plástico foi sacudido, após cada homogenei-
zação. Considerou-se que esta precaução deve proporcionar maior segurança no sentido de evitar contaminação de trata-
mentos com resíduos de fosfato no plástico.

Quadro 4 - Quantidade de fósforo adicionadas aos vasos no ensaio com
Panicum miliaceum (painço)

Tratamento	P ppm	P kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ g/vaso
T ₁	0	0	0	0,0000
T ₂	25	50	114	0,1887
T ₃	50	100	229	0,3774
T ₄	75	150	349	0,5662
T ₅	100	200	458	0,7549
T ₆	125	250	573	0,9436
T ₇	150	300	687	1,1323
T ₈	175	350	801	1,3211
T ₉	200	400	916	1,5098
T ₁₀	300	600	1.374	2,2647
T ₁₁	400	800	1.832	3,0196

A quantidade de água colocada em cada vaso foi medida através de proveta e correspondeu à capacidade hídrica, diminuída de 100 ml, para que esta diferença de volume fosse depois utilizada no adicionamento da solução nutritiva.

Após colocar a água destilada mais 100 ml da solução nutritiva sem fósforo, cobriram-se os vasos com papel, para manter a umidade e foram incubados por uma semana.

Na segunda semana, foram semeadas as sementes à razão de trinta por vaso, com o auxílio de uma vareta de madeira de formato semelhante a um lápis. Os vasos foram novamente cobertos com papel até a germinação das sementes.

Com 2 dias todas as sementes estavam germinadas. Foi retirada a cobertura de papel e adicionaram-se 100 ml de solução nutritiva.

Seis dias após a germinação, efetuou-se o desbaste até ficarem 18 plantas por vaso e colocou-se um suporte de arame em cada vaso a fim de evitar o acamamento das plantas.

As soluções nutritivas foram ainda adicionadas nos vasos, aos 9 dias, 16 dias e 21 dias.

Foram tiradas fotografias do experimento, aos 10 e 30 dias. Aos trinta dias, o experimento foi colhido e a massa verde secada a 70^o C e depois pesada.

3.2.9. Delineamento Experimental

Foi empregado no ensaio em vasos, o delineamento em blocos casualizados, usando 11 tratamentos com 3 repetições.

As parcelas foram vasos de 2 kg com 18 plantas e os blocos, conjuntos de 11 vasos.

As médias entre os tratamentos foram comparadas entre si, através do teste de TUKEY, aos níveis de 5 % e 1 %, (PIMENTEL GOMES, 1963).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Os valores "X" dos solos de: Anápolis, Itumbiara e Morrinhos, obtidos pelo método de WAUGH & FITTS (1966).

Os três solos estudados apresentaram curvas de extração de fósforo similares no que tange à dificuldade da escolha do valor "X", Figura 4 (pág. 53). Estes solos não apresentaram um valor onde fósforo extraível aumentasse abruptamente como ocorreu com um solo do Peru estudado por Muel-ler (1966) citado por WAUGH & FITTS (1966).

Este comportamento similar pode ser consequên

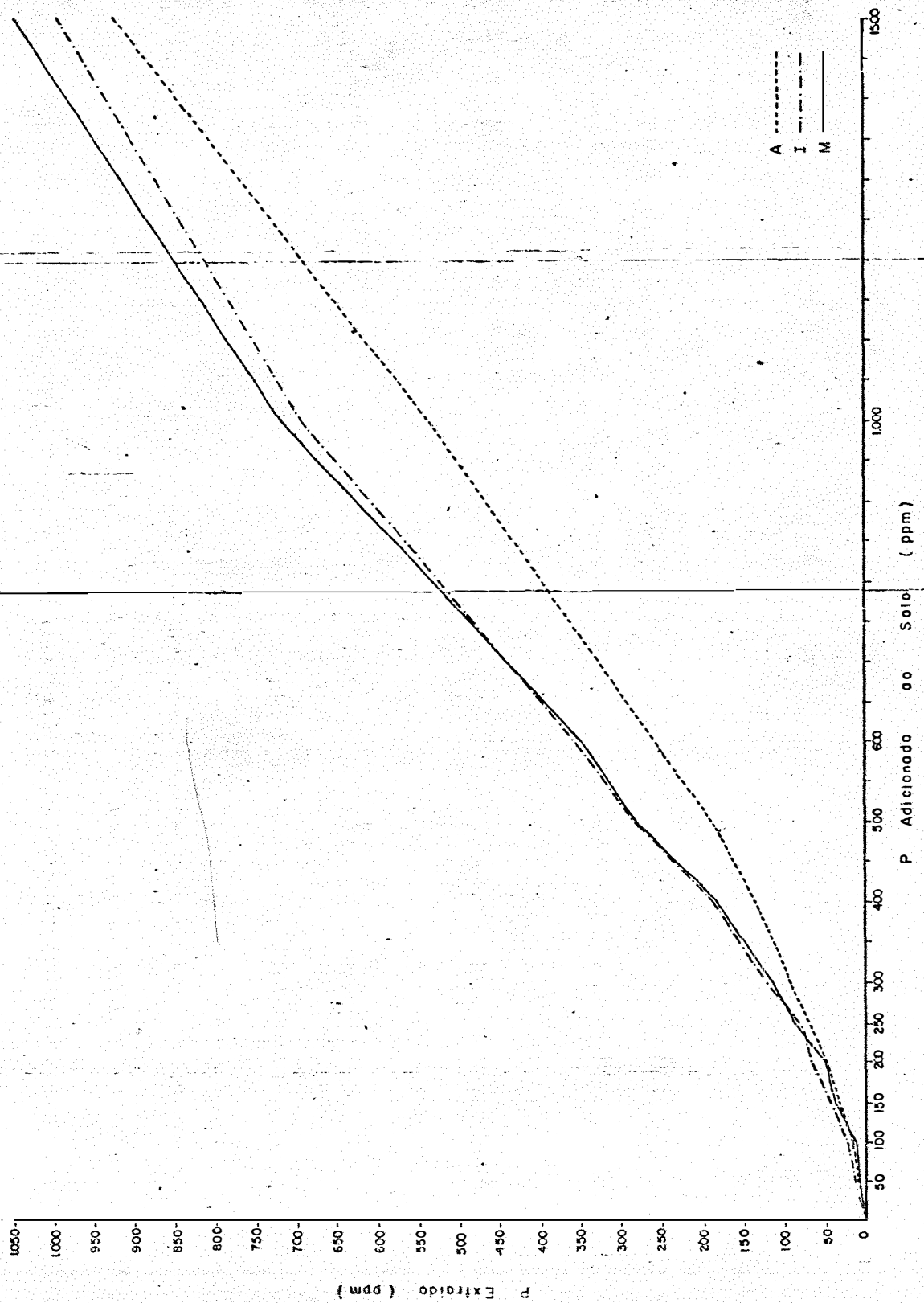


Fig. 4 — Curvas de Extração de Fósforo para os Solos de Andpolis, Itumbiara e Morrinhos.

cia das semelhanças em vários aspectos físicos e químicos entre os solos estudados.

Os trabalhos desenvolvidos com solos brasileiros não têm mostrado valor "X" bem definido, como o de ANASTÁCIO (1968), estudando 55 solos de várias unidades de solos brasileiros, e o de FERREIRA (1973), estudando 2 solos de São Paulo.

MACIEL (1974), trabalhando com 5 solos do Paraguai, encontrou, num dos solos, certa facilidade na escolha do valor "X".

A percentagem de fixação de fósforo variou de 86,32 % quando se adicionaram 50 ppm de P ao solo de Anápolis diminuindo até 30,34 %, quando foram adicionados 1500 ppm ao solo de Morrinhos.

Os resultados da fixação de fósforo nos três solos são apresentados nos Quadros 5, 6 e 7 respectivamente, nas páginas 55, 56 e 57.

Pelos resultados mostrados nos Quadros citados acima verifica-se que o solo de Anápolis foi o que mais fixou fosfatos.

Quadro 5 - Percentagem de fixação de fosfatos no solo de Anápolis

Tratamento	Fósforo adicionado ppm-P	Fósforo solúvel no extrator Mehlich			Fósforo P não fixado do ppm-P	Fósforo % de fixação
		Rep. 1 ppm-P	Rep. 2 ppm-P	Média ppm-P		
1	0	1,40	1,48	1,44	0,00	0,00
2	50	8,28	8,28	8,28	6,84	86,32
3	100	19,09	19,32	19,20	17,76	82,24
4	150	32,66	33,12	32,89	31,45	79,03
5	200	51,29	50,59	50,94	49,50	75,25
6	250	70,15	68,99	69,57	68,13	72,74
7	300	92,00	96,60	94,30	92,86	69,04
8	400	133,40	138,00	135,70	134,26	66,43
9	500	188,60	186,30	187,45	186,01	62,79
10	600	250,70	255,30	253,00	251,56	58,07
11	1.000	529,00	542,80	535,90	534,46	46,55
12	1.500	929,20	929,20	929,20	927,76	38,15

Quadro 6 - Percentagem de fixação de fosfatos no solo de Itumbiara.

Tratamento	Fósforo adicionado ppm-P	Fósforo solúvel no extrator Mehlich			Fósforo P não fixado do ppm-P	Fósforo % de fixação
		Rep. 1 ppm-P	Rep. 2 ppm-P	Média ppm-P		
1	0	6,67	6,67	6,67	0,00	0,00
2	50	16,79	16,79	16,79	10,12	79,76
3	100	28,98	29,90	29,44	22,77	77,23
4	150	47,38	47,60	47,49	40,82	72,79
5	200	68,08	66,46	67,27	60,60	69,70
6	250	79,35	91,99	85,67	79,00	68,40
7	300	138,00	128,80	133,40	126,73	57,76
8	400	188,60	197,80	193,20	186,53	53,37
9	500	276,00	294,40	285,20	278,53	44,29
10	600	368,00	368,00	368,00	361,33	39,77
11	1.000	708,40	690,00	699,20	692,53	30,74
12	1.500	1.021,20	975,20	998,20	991,53	33,90

Quadro 7 - Percentagem de fixação de fosfatos no solo de Morrinhos.

	Fósforo adicionado ppm-P	Fósforo solúvel no extrator Mehlich			Fósforo P não fixado do ppm-P	Fósforo de fixação %
		Rep. 1 ppm-P	Rep. 2 ppm-P	Média ppm-P		
1	0	3,91	3,91	3,91	0,00	0,00
2	50	11,96	11,72	11,84	7,93	84,14
3	100	24,61	25,29	24,95	21,04	78,96
4	150	41,40	43,24	42,32	38,41	74,39
5	200	65,32	67,62	66,47	62,56	68,72
6	250	89,70	88,54	89,12	85,21	65,91
7	300	128,80	133,40	131,10	127,19	57,60
8	400	186,30	189,80	188,05	184,14	53,96
9	500	285,20	280,60	282,90	278,99	44,20
10	600	361,10	354,20	357,65	353,74	41,04
11	1.000	722,20	722,20	722,20	718,29	28,17
12	1.500	1.048,80	1.048,80	1.048,80	1.044,89	30,34

O solo de Anápolis, foi também o que menos liberou fósforo para as plantas, como se vê, pelas produções de Panicum miliaceum (painço) nos Quadros 8, 9 e 10.

O ensaio biológico também mostrou que o solo de Morrinhos foi, nas doses mais elevadas, o que liberou maiores quantidades de fósforo para as plantas, comprovadas pelas maiores produções de painço.

O solo de Itumbiara que no início apresentou maiores quantidades de fósforo nativo e menor porcentagem de adsorção de fosfatos; na dose de 50 ppm (79,76 %), foi também o que produziu, devido ao fósforo nativo, maior quantidade de painço no ensaio biológico. Entretanto, quando se adicionavam doses mais elevadas de fosfatos ele foi superado pelo solo de Morrinhos, tanto na liberação de fosfato em laboratório, como no ensaio com painço.

Pelos resultados apresentados nos Quadros 5, 6 e 7 pode ser visto que estes solos sofreram decréscimo na porcentagem de fósforo fixado, devido a uma saturação paulatina do seu poder de fixação de fosfatos.

ANASTÁCIO, usando este método, encontrou que, quando se adicionavam 400 ppm, a fixação de fosfatos varia-

va de 0 % a 60 %.

CATANI (1969) afirmou que alguns solos brasileiros chegam a fixar 24 eq.mg/100 g (2481 ppm). Daí resulta o consumo relativamente elevado de fertilizantes fosfatados.

SYERS et alii (1971), estudando 15 solos do Rio Grande do Sul encontrou fixação que variou de 12 % num solo arenoso (Bom Retiro) a 98 % num solo rico em sexquióxido (Durox).

4.1.1. Escolha do valor "X"

Como pode ser visto na Figura 4 (pág. 53) o valor "X" não se apresenta definido.

WAUGH & FITTS (1966) indicaram que para solos que fixam pouco fósforo podem ser atribuídos ao valor "X" de 50 ppm a 100 ppm. Tendo em vista que os solos estudados apresentaram um valor de fixação de fósforo de certa magnitude, os valores de "X" foram atribuídos, para teste em vasos, de 50, 100, 150 e 200 ppm. O método preconiza que devem ser aplicados os tratamentos: 0, 1/2, 1 e 2 vezes para o valor "X".

Por terem sido escolhidos os valores "X" de: 50, 100, 150 e 200 ppm trabalhamos com 11 tratamentos.

Valor "X"			
0	1/2	1	2
0	25	50	100
0	50	100	150
0	75	150	300
0	100	200	400

ou seja: 0, 25, 50, 75, 100, 150, 175, 200, 300 e 400 ppm; o tratamento de 175 ppm foi acrescentado, para manter constante o intervalo de tratamentos até 200 ppm.

4.2. Produção de Panicum miliaceum (painço) em gramas de matéria seca por vaso, dos solos de: Anápolis, Itumbiara e Morrinhos

A produção de painço em gramas de matéria seca por vaso é apresentada nos Quadros: 8 (pág. 61), 9 (pág. 62) e 10 (pág. 63), que correspondem à produção dos solos de Anápolis, Itumbiara e Morrinhos, respectivamente.

Na análise estatística, o ensaio foi altamen

Quadro 8 - Produção de painço em g/vaso de matéria seca no ensaio de vasos com doses crescentes de fósforo, no solo de Anápolis.

Tratamento	g/vaso de matéria seca				Média
	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	3	
1	0,24	0,19	0,16	0,16	0,20
2	0,25	0,17	0,14	0,14	0,19
3	0,34	0,49	0,58	0,58	0,47
4	1,45	1,54	1,55	1,55	1,51
5	2,54	2,93	2,14	2,14	2,54
6	3,66	3,78	3,88	3,88	3,77
7	5,31	4,40	4,45	4,45	4,72
8	5,88	5,41	5,52	5,52	5,60
9	5,55	4,76	5,87	5,87	5,39
10	7,36	6,69	7,42	7,42	7,16
11	6,27	6,65	6,31	6,31	6,41
D.M.S. Tukey 1%	-	-	-	-	1,20
D.M.S. Tukey 5%	-	-	-	-	0,99

Quadro 9 - Produção de painço em g/vaso de matéria seca no ensaio de vasos com doses crescentes de fósforo, no solo de Itumbiara.

Tratamento	g/vaso de matéria seca			Média
	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	
1	0,33	0,49	0,51	0,44
2	1,06	0,89	0,63	0,86
3	1,73	2,03	1,95	1,90
4	2,86	4,10	3,58	3,51
5	4,07	4,28	5,11	4,49
6	4,44	5,41	5,36	5,07
7	4,93	6,77	7,69	6,46
8	9,84	7,92	8,31	8,69
9	9,36	7,57	7,41	8,11
10	7,73	6,51	6,81	7,02
11	5,68	6,17	5,45	5,77
<hr/>				
D.M.S.	-	-	-	2,66
Tukey 1 %	-	-	-	2,19
D.M.S.	-	-	-	
Tukey 5 %	-	-	-	

Quadro 10 - Produção de painço em g/vaso de matéria seca no ensaio de vasos com doses crescentes de fósforo, no solo de Morrinhos.

Tratamento	g/vaso de matéria seca			Média
	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	
1	0,30	0,23	0,25	0,26
2	0,90	0,68	0,85	0,81
3	2,69	2,40	2,23	2,44
4	5,35	5,37	4,59	5,10
5	6,46	5,09	6,34	5,96
6	8,17	8,28	8,77	8,41
7	10,89	10,72	14,93	12,18
8	13,06	15,09	14,05	14,07
9	12,05	12,36	10,38	11,60
10	8,76	8,83	7,41	8,33
11	7,86	8,30	8,14	8,10
D.M.S.				
Tukey 1 %	-	-	-	1,99
D.M.S.				
Tukey 5 %	-	-	-	1,07

te significativo, ao nível de 1 % pelo teste F.

Para diferença mínima significativa (D.M.S.) foi usado o teste de Tukey aos níveis de 1 % e 5 %. Os valores de D.M.S. são:

Anápolis - D.M.S. a 1 % = 1,20; D.M.S. a 5 % = 0,99

Itumbiara - D.M.S. a 1 % = 2,66; D.M.S. a 5 % = 2,19

Morrinhos - D.M.S. a 1 % = 1,99; D.M.S. a 5 % = 1,07

Pelos resultados de produção do solo de Anápolis, (Quadro 8, pág. 61) podemos ver que os tratamentos T_{10} e T_{11} (300 ppm e 400 ppm) se destacaram dos demais aos níveis de 1 % e 5 %, pelo teste de Tukey; e mostram uma inflexão na curva de produção, embora a queda de produção ocorrida do 10º tratamento (7,16 g/vaso) para o 11º tratamento (6,41 g/vaso) não seja significativa ao nível de 5 %.

Pelo resultado de produção do solo de Itumbiara (Quadro 9, pág. 62) podemos ver que os tratamentos T_7 (150 ppm) T_8 (175 ppm), T_9 (200 ppm) e T_{10} (300 ppm) se destacaram dos demais ao nível de 1 %. Ao nível de 5 % foram melhores os tratamentos T_8 (175 ppm), T_9 (200 ppm) e T_{10} (300 ppm).

Este solo mostrou muito bem a inflexão da curva da produção. E nos vasos que receberam tratamento (T_{11}) 400 ppm ocorreu queda de produção significativa aos níveis de 1 % e 5 %.

O solo de Morrinhos, cuja produção é apresentada no Quadro 10 (pág. 63), mostra como melhores tratamentos, ao nível de 1 %, T_8 (175 ppm), T_9 (200 ppm) e, ao nível de 5 %, T_8 (175 ppm). A curva de produção nesse solo apresentou o ponto de inflexão mais nítido entre os solos estudados, sendo que a melhor dose de fósforo foi o tratamento T_8 (175 ppm), que se diferencia dos demais tratamentos, ao nível de 5 %. O nível de 5 % é o valor do teste de Tukey, mais usado nos ensaios com vegetais.

Os três solos estudados mostraram pobreza em fósforo disponível, que pode ser vista nos Quadros de produção pelas altas respostas a adição de fosfato: Quadro 8 (pág. 61), Quadro 9 (pág. 62), Quadro 10 (pág. 63) e é ilustrada na Figura 5. (pág. 66) que mostra os três solos nos tratamentos T_1 e T_5 .

O único solo que atingiu a produção de grãos sem adição de fósforo (T_1) foi o de Itumbiara e este apre-

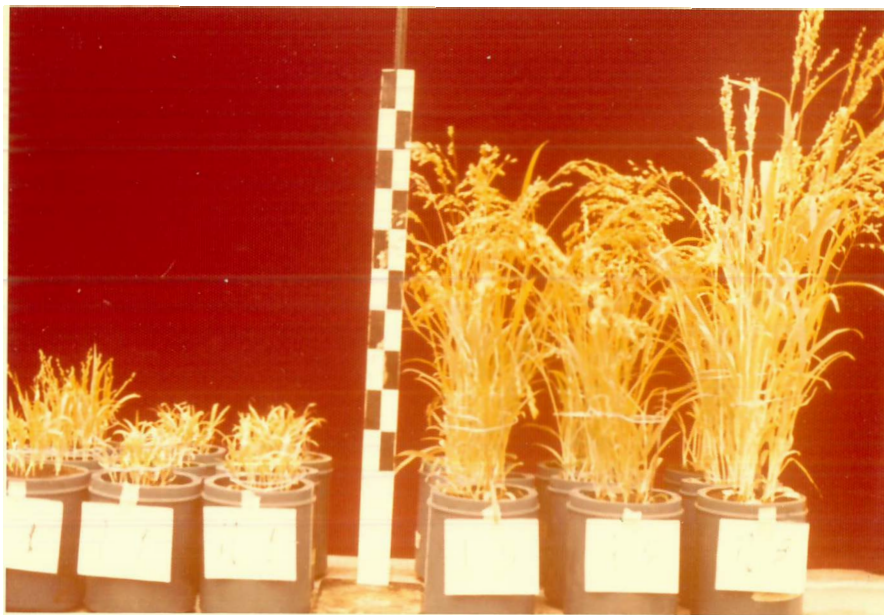


Figura 5 - Ilustração mostrando, nos três solos estudados, a diferença de crescimento, entre o testemunho T_1 e T_5 com 100 ppm de fósforo adicionados.¹

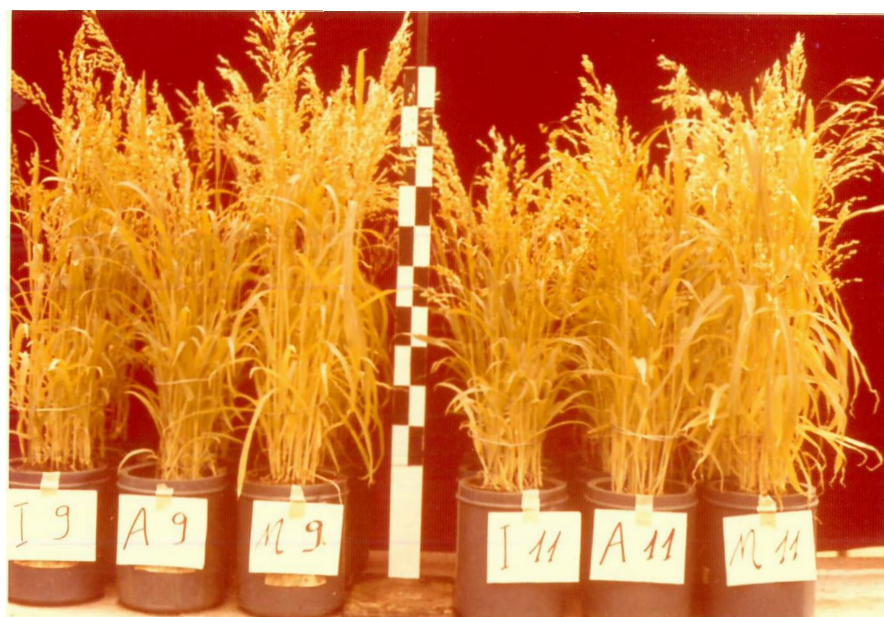


Figura 6 - Ilustração mostrando a diferença de crescimento, nos três solos estudados, quando se adicionaram T_9 (200 ppm) e a dose máxima T_{11} (400 ppm).

sentava maior quantidade de fósforo extraível pelo extrator de Melich (H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05 N), conforme se pode ver no Quadro 2 (pág. 33).

Os solos estudados mostraram um ponto máximo de produção, como vimos na discussão dos quadros de produção e podem ser ilustrados na Figura 6 (pág. 66).

4.3. Valores de adsorção máxima através da isoterma de Langmuir para os solos de Anápolis, Itumbiara e Morrinhos.

O desenvolvimento da equação de Langmuir apresentou os seguintes valores:

A adsorção máxima do solo de Anápolis foi de: 0,699 mg/P g de terra = 1,398 t de P/ha = 3,20 t de P_2O_5 /ha.

LEAL (1973) encontrou, no solo da mesma região: adsorção máxima = 0,52 mg/P g de terra.

Se considerarmos o valor encontrado, temos que a produção máxima no teste com painço, foi obtida quando se usaram de 42,9 % a 57,2 % da absorção máxima de fosfato pelo solo.

A adsorção máxima do solo de Itumbiara foi de:
0,695 mg de P/g de terra = 1,390 de P/ha = 3,18 t de P_2O_5 /ha.

A produção máxima, no ensaio biológico, foi alcançada, quando se adicionaram de 25,2 % a 43,2 % da quantidade de fosfato adicionada para a adsorção máxima.

A adsorção máxima do solo de Morrinhos foi de:
0,491 mg de P/g de terra = 0,982 t de P/ha = 2,25 t de P_2O_5 /ha.

A produção máxima, no ensaio com painço, foi obtida quando se usaram fosfatos em quantidades correspondentes a 35,6 % daquela utilizada na adsorção máxima.

Nos trabalhos em que se compararam adsorção máxima por meio da isoterma de Langmuir os resultados são aproximadamente, embora não muito constantes. BRAGA & DEFELIPO (1972) consideraram o valor da adsorção máxima igual ao melhor tratamento no ensaio biológico.

LOURENÇO (1973) encontrou que a metade da quantidade da adsorção máxima era suficiente para promover bom desenvolvimento das plantas.

VELOSO (1973) verificou que a melhor quantidade de fosfato no ensaio biológico foi de 75 % da adsorção máxima.

O presente trabalho que estudou apenas três solos não pode pretender se aprofundar em correlações entre a fixação de fósforo e os fatores apontados como responsáveis por aquele fenômeno. Entretanto, algumas observações podem ser mencionadas.

Pelo que se verificou, na revisão de literatura, os trabalhos de pesquisa salientam como fatores mais importantes na fixação de fosfatos: conteúdo e qualidade da fração argila, pH, matéria orgânica e tempo de contato.

Os três solos estudados apresentam potenciais de hidrogênio, praticamente iguais, não sendo assim possível assim, qualquer inferência neste sentido; o mesmo se pode dizer com relação ao tempo de contato, que após escolhido não foi modificado.

O teor de carbono nos três solos estudados é considerado alto e, portanto, este fator não estabelece diferença de comportamento entre os mesmos.

Com referência à fração argila, houve destaque para este fator, que muito contribuiu para a fixação de fosfato e que possibilitou a observação de diferenças nos comportamentos dos três solos estudados.

Os estudos que trataram dos fatores de fixação de fosfatos foram praticamente unânimes quando se referiam no teor de argila como fator positivo na fixação de fosfatos (CATANI & PELLEGRINO, 1957; HEMWALL, 1957; OLSEN & WATANABE, 1957; FRANKLIN & RETSENAUER, 1960; MEIRA, 1968 ; MELLO, 1968; MELLO, 1970; BRAGA, 1971; LEAL, 1971; MACIEL, 1974).

Entretanto, entre os solos estudados o que mais fixou fosfatos foi o de Anápolis, que apresentou menor teor de argila. A explicação para este comportamento pode ser atribuída à qualidade da fração argila, visto ser o solo de Anápolis altamente intemperizado com predominância de gibbsita e caulinita, embora a ausência de dados quantitativos impossibilite maiores esclarecimentos.

Os resultados mostraram que os solos que apresentaram maior adsorção máxima, exigiram maiores quantidades de fosfato para suas produções máximas de painço.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÕES

1. Os solos de "cerrado" estudados, quando se adicionaram 50 ppm de fósforo, fixaram:

Anápolis - 86,32 % = 0,043 mg de P/g de terra.

Morrinhos - 84,14 % = 0,042 mg de P/g de terra.

Itumbiara - 79,76 % = 0,039 mg de P/g de terra.

A percentagem de fixação de fósforo decresceu com o aumento de P adicionado, mostrando tendência à saturação do solo. Assim, quando se adicionaram 1500 ppm de P a fixação foi para:

Anápolis - 38,15 % = 0,572 mg de P/g de terra.

Itumbiara - 33,90 % = 0,508 mg de P/g de terra.

Morrinhos - 30,34 % = 0,455 mg de P/g de terra.

2. Os solos estudados mostraram uma pobreza acentuada de fósforo nativo disponível às plantas.

3. A adsorção máxima para os solos através da isoterma de Langmuir foi, para:

Anápolis = 0,699 mg de P/g de terra.

Itumbiara = 0,695 mg de P/g de terra.

Morrinhos = 0,491 mg de P/g de terra.

4. Comparando a produção máxima de Panicum miliaceum, painço, com a adsorção máxima, a produção máxima foi obtida quando se adicionam para:

Anápolis - de 42,9 % a 57,2 %

Itumbiara - de 25,2 % a 43,2 %

Morrinhos - 35,6 %.

5. No estudo em vasos, a quantidade de 175 ppm, (350 kg de P_2O_5 /ha) foi a mais adequada para um bom desenvolvimento das plantas nos solos de Morrinhos e Itumbia

ra. Para o solo de Anápolis a quantidade foi de 300 ppm (600 kg de P_2O_5 /ha).

6. Num confronto entre os três solos estudados houve uma predominância na capacidade de fixação de fósforo para o solo de Anápolis.

CAPÍTULO VI

6. RESUMO

O Estado de Goiás ocupa área de 642.036 km², sendo, aproximadamente, 68,5 % cobertos, originalmente, por vegetação de cerrado, que correspondem a 439.794 km².

Os solos de cerrado apresentam normalmente condições físicas boas e topografia favorável à mecanização.

Entretanto, oferecem apreciável variação na fertilidade, sendo que mesmo os considerados férteis mostram-se com baixos teores em fósforo. Este elemento chega

mesmo a ser o fator limitante da produção nesses solos.

Quando se adicionam fosfatos aos solos, ainda que em forma prontamente disponível às plantas, grande parte deste se torna não assimilável pelos vegetais. Este fenômeno é genericamente denominado de fixação de fosfatos.

É bastante discutido o mecanismo de fixação de fosfatos, mas podem ser relacionados as seguintes modalidades: adsorção química de superfície, formação de compostos e precipitação.

No presente estudo procurou-se conhecer a fixação de fosfato em três latossolos sob cerrado representativos dos Municípios de Anápolis, Itumbiara e Morrinhos.

Os métodos utilizados foram: testes de laboratório propostos por WAUGH & FITTS e o da isoterma de Langmuir e teste biológico em vasos com Panicum miliaceum (painço) como planta indicadora.

A comparação estatística dos resultados no ensaio com painço foi efetuada pelo teste Tukey ao nível de 5 %.

Os solos de cerrado estudados, quando se

adicionaram 50 ppm de fósforo, fixaram: Anápolis - 86,32%; Morrinhos - 84,14 % e Itumbiara - 79,76 %, que correspondem a 0,043 mg de P/g de terra, 0,042 mg de P/g de terra e 0,039 mg de P/g de terra, respectivamente. Quando se adicionaram 1.500 ppm de P, a fixação foi, para: Anápolis - 38,15 %, Itumbiara - 33,90 % e Morrinhos - 30,34 %, correspondentes a 0,572 mg de P/g de terra, 0,508 mg de P/g de terra, 0,455 mg de P/g de terra, respectivamente. A percentagem de fixação decresceu mostrando uma tendência à saturação do solo.

A adsorção máxima para os solos através da isoterma de Langmuir foi, para: Anápolis = 0,699 mg de P/g de terra; Itumbiara = 0,695 mg de P/g de terra; Morrinhos = 0,491 mg de P/g de terra.

No ensaio biológico utilizou-se como planta indicadora o Panicum miliaceum (painço) e, como resultado, os solos apresentaram uma produção máxima quando foram adicionadas as seguintes doses de 300 a 400 ppm de P para o solo de Anápolis 175 a 300 ppm para o de Itumbiara e 175 ppm para o de Morrinhos.

Os solos estudados mostraram uma pobreza acentuada em fósforo nativo disponível às plantas.

Num confronto entre os três solos estudados, houve uma predominância na capacidade de fixação de fosfatos para o solo de Anápolis.

7. SUMMARY

Phosphorus fixation in three different Latosols representative of soils under cerrado vegetation of the State of Goias was studied comparatively, using two laboratory methods, Langmuir's isotherm and WAUGH & FITTS, and a biological test conducted in pots using Panicum miliaceum as the indicator plant. The soils used were collected from Anapolis, Itumbiara and Morrinhos Municipalities.

Phosphate fixation by the tree soils when 50 ppm of phosphorus was added was as follows: Anápolis- 86,32 %; Morrinhos - 84,14 % and Itumbiara - 79,76%. These

values correspond to 0,043, 0,042 and 0,039 mg of P/g of soil, respectively. Upon the addition of 1.500 ppm of P, fixation was: Anapolis - 38,15 %; Itumbiara - 33,90% and Morrinhos 30,34 %. These values are equivalent to 0,572, 0,508 and 0,455 mg of P/g of soil, respectively. The decrease in percent P fixed indicated a tendency towards soil saturation.

Maximum adsorption for these soils as indicated by Langmuir's isotherm was as follows: Anapolis = 0,699, Itumbiara = 0,695 and Morrinhos = 0,491 mg of P/g of soil. The statistical comparison of the results obtained in the biological test was made utilizing Tukey's test at the 5 % level. Maximum production was obtained with the application of 300 to 400 ppm of P for the Anapolis soil, 175 to 300 ppm for the Itumbiara soil and of 175 ppm for Morrinhos.

All three of the soils studied were extremely low in their original content of available phosphorus.

The results indicate that the Anapolis soil showed a higher capacity for phosphate fixation.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- 1 - AB'SABER, A. Contribuição à geomorfologia da área dos cerrados. In: Simpósio sobre o cerrado. Ed. da Universidade de São Paulo. p.117-124. 1963.
- 2 - ANASTÁCIO, M. de L.A. Fixação de fósforo nos solos Brasileiros. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, M.A. Boletim Técnico nº 4. Rio de Janeiro-GB, 14 p. 1968.
- 3 - ARENS, K. O cerrado como vegetação oligotrófica. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, nº 244. Botânica, 15: 59-77. 1958.
- 4 - ARENS, K. Plantas lenhosas dos campos cerrados como flora adaptada às deficiências minerais no solo. In: Simpósio sobre o cerrado. Ed. da Universidade de São Paulo, p. 285-304. 1963.
- 5 - ARTIAGA, Z. Geografia econômica e descritiva do Estado de Goiás. Tomos 1 e 2. Tipografia Triângulo. 1951.
- 6 - BACHE, B.E. & WILLIAMS, E.G. A phosphate sorptions index for soils. Journal of Soil Science 22(3): 291 - 301. 1971.
- 7 - BANEMA, J. Características químicas e físicas de latos solos sob vegetação de cerrado. In: Recuperação do cerrado. Rio de Janeiro. Serviço de Informação Agrícola, p.137-143. 1964.

- 8 - BITTENCOURT, V.C. Métodos instrumentais de análise. Curso de Nutrição de Plantas. E.S.A. "Luiz de Queiroz". Piracicaba. Mimeografado, 1969. 71 p.
- 9 - BLACK, C.A. Soil plant relationships. 2ª ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 792 p. 1968.
- 10 - BRAGA, J.M. Fatores que afetam a adsorção do fosfato. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 1971. 13 p.
- 11 - BRAGA, J.M. Adsorção de anions. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 5 p. 1971 a.
- 12 - BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Relações entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material vegetal em solos sob vegetação de cerrado: I - Trabalho de laboratório. Viçosa. Rev. Ceres, 19 (102) 124-136. 1972 a.
- 13 - BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Relação entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e materiais em solos sob a vegetação de cerrado. II - Trabalhos em estufa. Viçosa. Rev. Ceres, 19 (104): 248-260. 1972 b.
- 14 - BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. Natureza e propriedade dos solos. Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo Filho. 2ª ed. Rio de Janeiro. Livraria Freitas Bastos, 1966. 594 p.

- 15 - CABALA, R.P & FASSBENDER, H.W. Efecto del encalado en las formas y disponibilidad de fosfatos en suelos de la region cacaotera, Bahia, Brasil. Turrialba, 21:38-46. 1971.
- 16 - CATANI, R.A.; GALLO, J.R. & GARGANTINI, H. Amostragem de solo, método de análise interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Boletim nº 69 do Instituto Agrônômico de Campinas. 1955.
- 17 - CATANI, R.A. & PELLEGRINO, D. A fixação de fósforo em alguns solos do Estado de São Paulo, estudada com o auxílio de fósforo radioativo $^{32}\text{P}_{15}$. Piracicaba. Revista de Agricultura, 32 (4): 237-252. 1957.
- 18 - CATANI, R.A & PELLEGRINO, D. Avaliação da capacidade de fixação de fósforo, pelo solo. Piracicaba. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", 17(271):19-28. 1960.
- 19 - CATANI, R.A. & GLORIA, N.A. Evaluation of the capacity of phosphorus fixation by the soils through the isotopic exchange, using $^{32}\text{P}_{15}$. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 21:230-237. 1964.
- 20 - CATANI, R.A. & BATAGLIA, D.C. Formas de ocorrência do fósforo no solo latossólico roxo. Piracicaba. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz". 25:99-119. 1968.
- 21 - CATANI, R.A. A fixação do fósforo por alguns solos do Brasil e a adubação fosfatada. VI Congresso Mundial de Adubos. Lisboa. Revista Agrônômica, 52:83-87. 1969.

- 22 - CATANI, R.A. & BITTENCOURT, V.C. Apostila de aulas práticas da Disciplina de Química do Solo. Curso de Solos e Nutrição de Plantas. Parte Prática. E.S.A. "Luiz de Queiroz". Piracicaba. Mimeog. 1972. 28 p.
- 23 - CATANI, R.A. & JACINTO, A.O. Análise química para avaliar a fertilidade do solo. Boletim Técnico Científico, nº 37. E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1974. 57 p.
- 24 - DE DATTA, S.K.; FOX, R.L. & SHERMAN, G.D. Availability of fertilizer phosphorus in three latosols of Hawai. Agron. J., Madison, 55 (4): 311-313. 1963.
- 25 - FASSBENDER, H.W. Retencion y transformacion de fosfatos en 8 latosoles de la amazonia del Brasil. Fitoecnia Latinoamericana, 6:115-126. 1969 a.
- 26 - FASSBENDER, H.W. Phosphorus fixation in tropical soils. AGRI. Digest nº 18. 1969 b.
- 27 - FERREIRA, J.C.G.M.; AGUIAR, A.D.; AMARAL, A.Z.; CORSINI, C.A & LEONI, I. Exploração e uso dos cerradões cerrados e campos. Boletim Técnico SCR nº 23. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, Secretaria da Agricultura. São Paulo. 1968. 17 p.
- 28 - FERREIRA, M.E. Estudo sobre a fixação de fosfatos nos latossolos roxo e vermelho escuro-fase arenosa de Jaboticabal. Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Medicina, Veterinária e Agronomia de Jaboticabal. Jaboticabal-SP. 1973. 161 p.

- 37 - JOLY, A.B. Conheça a vegetação brasileira. Ed. da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1970. 165 p.
- 38 - KARIM, A. & KHAN, D.H. Relationships between pH and different forms of phosphorus in some soils of east Pakistan. Soil Sci. Baltimore, 80:229-233. 1955.
- 39 - LARSEN, S. Soil phosphorus. Adv. in Agron. 19:151-209 1967.
- 40 - LEAL, J.R. Adsorção de fosfato em latossolos sob cerrado. Tese de mestrado apresentada à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro 1971. - 96 p.
- 41 - LOURENÇO, S. Adsorção e dessorção de fósforo em solos do Estado do Paraná. Tese de doutoramento apresentada à E.S.A."Luiz de Queiroz". Piracicaba-SP, 68 p. 1973.
- 42 - MACIEL, C.A.C. Estudo sobre a fixação de fosfatos em alguns solos do Paraguai. Tese de mestrado apresentada a E.S.A."Luiz de Queiroz". Piracicaba. Sp.79 p. 1974.
- 43 - MUNSELL SOIL COLOR CHARTS. Munsell color company. Inc. Baltimore. U.S.A. 1954.
- 44 - MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O.J.; DE ANDRADE, R.G.; ALVIZURI, C.; VENCOWSKY, R. & DE FREITAS, L.M.M. Estudos sobre a fertilidade dos solos de cerrado. I. Efeito da calagem na disponibilidade do fósforo. Piracicaba. Anais da E.S.A."Luiz de Queiroz". 22:131-138. 1965.

- 29 - FERRI, M.G. Plantas do Brasil. Espécies do Cerrado. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 1968. 239 p..
- 30 - FRANKLIN, W.T. & RETSENAUER, H.M. Chemical characteristics of soil related to phosphorus fixation and availability. Soil Sci., Baltimore, 90:192-200. 1960.
- 31 - HEMWALL, J.B. The fixation of phosphorus by soil. Adv. in Agron., 9:95-112. 1957.
- 32 - HIBBARD, P.L. Factors influencing phosphate fixation in soils. Soil Sci.Amer.Proc., Madison, 28:337-358. 1975.
- 33 - HSU, P.H. Adsorption of phosphate by aluminium and iron in soils. Soil Sci.Amer.Proc., Madison, 28:474-478. 1964.
- 34 - INSTITUTO AGRONÔMICO. Seção de Climatologia Agrícola. Informação pessoal. Campinas-SP. 1973.
- 35 - INSTITUTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA. Método de determinação da capacidade hídrica, In: "Anais da Primeira Reunião Brasileira de Ciência do Solo". R.J. p.572. 1950.
- 36 - JACOMINI, P.K.T. Considerações gerais sobre alguns solos de cerrado. In: Recuperação do Cerrado. Rio de Janeiro, Serviço de Informação Agrícola, p.131-134. 1964.

- 45 - MARCOS, Z.Z. Determinação de textura pelo método da pipeteta. Disciplina de Física do Solo. Curso de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. E.S. A. "Luiz de Queiroz". Mimeog. 1972.
- 46 - McCLUNG, A.C.; DE FREITAS, L.M.M.; GALLO, J.R.; QUINN, L.R. & MOTT, G.O. Alguns estudos preliminares sobre possíveis problemas de fertilidade em solos de diferentes campos cerrados de São Paulo e Goiás. Campinas, *Bragantia*, 17(3):29-44. 1958.
- 47 - MEIRA SÁ JR., J.P.; GOMES, I.F. & VASCONCELLOS, A.L. Retenção de fósforo em solos da Zona da Mata de Pernambuco. Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuárias do Nordeste. EPE. M.A. Boletim nº 13. 1968.
- 48 - MELLO, H.A.; VEIGA, A.A.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRI-NHO, M.O.C.; HAAG, H.P. & MALAVOLTA, E. Composição de *Pinus Elliotii* Engelman. *Fertilité*, 9:11-14. 1960.
- 49 - MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. & ARZOLLA, S. Análises de solos. E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba. Mimeog. 1965. 47 p.
- 50 - MELLO, F.A.F. Capacidade de fixação de fosfato de alguns solos do município de Piracicaba. *Piracicaba Revista de Agricultura*, 43(1):23-28. 1968.

- 51 - MELLO, F.A.F. Um método para avaliar a capacidade de fixação de fosfato pelo solo empregando o $^{32}\text{P}_{15}$. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", 27:347-352. 1970.
- 52 - MENDES, C.T. Adubações fosfatadas. Piracicaba. Revista de Agricultura. 25(1-2):1-22. 1950.
- 53 - OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S.A. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. Soil Sci.Soc.Amer.Proc. 21: 144-149. 1957.
- 54 - PAVAGEAU, M. Estudo comparativo de alguns solos típicos do planalto central brasileiro. In: Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro. 14(2):127-176. abr.-jun. 1952.
- 55 - PIMENTEL GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. 2ª ed. E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba-SP. 1963. 384 p.
- 56 - PRATT, P.F. Química do solo. Convênio M.A/DPFS - USAID/BRASIL. Trad. NASCIMENTO & VETTORI. 1966. 88 p.
- 57 - RAMULU, U.S.S.; PRATT, P.F. & PAGE, A.L. Phosphorus fixation in relation to extractable iron oxides and mineralogical composition. Soil Sci.Soc.Amer.Proc. 31:193-199. 1967.

- 58 - RANZANI, G. Solos do cerrado. In: Simpósio sobre o cerrado. Ed. da Universidade de São Paulo. São Paulo. 51-92 p. 1963.
- 59 - RANZANI, G. Manual de levantamento de solos. 2ª ed. Ed. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1969. 167 p.
- 60 - REEVE, N.G. & SUMMER, M.E. Effects of aluminium toxicity and phosphorus fixation on crop growth an oxisols in Natal. Soil Sci.Soc.Amer.Proc. 34:263-267. 1970.
- 61 - RIZZO, J.A.; CENTENO, A.J.; LOUSA, J.S. & FILGUEIRAS, T.S. Levantamento de dados em areas de cerrado e da floresta caducifólia tropical do platto centro oeste. In: III. Simpósio sobre o cerrado.Ed. da Universsidade de São Paulo. São Paulo. p. 103-109. 1970.
- 62 - RIZZO, J.A. Preliminar sobre o plano de coleção da flora do Estado de Goiás. In: "Anais da Sociedade Botânica do Brasil". XXIII Congresso Nacional de Botânica. 237-246. 1972.
- 63 - SAUCHELLI, V. Phosphates in agriculture. Reinhold Publishing Corporation New York, 1965. 277 p.
- 64 - SHULA, S.S.; SYERS, J.K.; WILLIAMS, J.D.H.; ARMSTRONG, D.E. & HARRIS, R.F. Sorption of inorganic phosphate by lake sediments. Soil Sc.Madison. 35:244-249.1971.

- 65 - SYERS, J.K.; EVANS, T.D.; WILLIAMS, J.D.H. & MURDOCK, J. T. Phosphate sorption parameters of representative soils from Rio Grande do Sul, Brasil. Soil Sci. Baltimore, 112(4):267-275. oct. 1971.
- 66 - THORNTHWAITE, W.C. A classificação climática In: "Apostilas da disciplina de Ecologia e Introdução de Plantas Forrageiras. C.P.G. em Nutrição Animal e Pastagens. 8 p. 1972.
- 67 - TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizer. 2ª ed. The MacMillan Company. Hong Kong. 1970. 694 p.
- 68 - VASCONCELOS, C.A. Fósforo: fracionamento e adsorção. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG. 1972. 18 p.
- 69 - VASCONCELOS, C.A. Contribuição para o estudo de fósforo em dois latossolos do Estado de Mato Grosso. Universidade Rural Estadual de M.G. - UREMG - Viçosa. MG. Tese de M.S. 1973.
- 70 - VELOSO, H.P. Considerações gerais sobre a vegetação do Estado de Goiás. Boletim Geográfico, 7(73):51-61. 1949.
- 71 - VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Equipe de Análise de Solos. EPE - M.A. Boletim nº 7. Rio de Janeiro. GB. 1969. 24 p.

- 72 - WAUGH, D.L. & FITTS, J.W. Estudo para interpretação de análises de solos. Boletim Técnico nº 3. Brasil. 1966. 33 p.