

ESTUDOS SOBRE A FIXAÇÃO DE FOSFATO EM ALGUNS SOLOS DO PARAGUAY

Carlos Antonio Centurión Maciel
Engenheiro Agrônomo

Dr. Moacyr de Oliveira Camponês do Brasil Sobrinho
Orientador

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA
"LUIZ DE QUEIROZ" DA UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO, PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE MESTRE.

PIRACICABA
ESTADO DE SÃO PAULO - BRASIL
1974

D E D I G A T Ó R I A

A meus pais e irmãos,

o f e r e ç o

A minha esposa e filhos,

d e d i c o

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

Ao Dr. Moacyr de Oliveira Camponês do Brasil Sobrinho, pela orientação prestada na realização deste trabalho.

Ao "Programa de Desarrollo Científico y Tecnológico (O.E. A)", pela concessão de bolsa de estudo durante todo o curso.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela acolhida e facilidades concedidas.

Ao Departamento de Solos e Geologia da E.S.A. "Luiz de Queiroz", pela concessão do laboratório onde foi realizado este trabalho.

Aos Drs. Oscar López Gorostiaga, Sidival Lourenço e Braz Vitor Defelipo e aos Professores Dr. Ronaldo I. Silveira e Dr. Toshiaki Kinjo, pelas críticas e sugestões durante o desenvolvimento do presente trabalho.

Ao Dr. Zilmar Ziller Marcos, pela versão do resumo do trabalho para o inglês.

Aos Senhores funcionários da E.S.A. "Luiz de Queiroz" e Centro de Estudos de Solos, Vinicius Ferraz, Angelo Smaniotto e Antonio Neves da Silva.

A todos que, de uma forma ou outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

Í N D I C E

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. <u>Fixação de fósforo</u>	4
2.2. <u>Adsorção de fosfatos pelo solo</u>	8
2.3. <u>Avaliação do fósforo disponível</u>	10
2.3.1. Métodos químicos	10
2.3.2. Métodos radioquímicos	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. <u>Solos</u>	16
3.2. <u>Determinação da percentagem de fixação de fósforo</u>	18
3.3. <u>Determinação da capacidade máxima de adsorção de fósforo</u>	22
3.4. <u>Determinação do valor "E"</u>	24
3.5. <u>Ensaio em casa de vegetação</u>	24
3.5.1. Seleção do valor "X"	25
3.5.2. Ensaio em vasos	26
3.5.3. Produção relativa	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. <u>Capacidade de fixação de fósforo dos solos</u>	31
4.2. <u>Capacidade de adsorção máxima dos solos</u>	36
4.3. <u>Valor "E" dos solos</u>	42
4.4. <u>Valor "X" dos solos</u>	44
4.5. <u>Nível crítico</u>	51
4.6. <u>Produção vegetal e fósforo disponível</u>	58

5.	CONCLUSÕES	62
6.	RESUMO	64
7.	SUMMARY	67
8.	LITERATURA CITADA	70

1. INTRODUÇÃO

O problema do fósforo no solo, tanto o nativo como o proveniente dos adubos, vem sendo, na atualidade, intensamente estudado.

Nas regiões de clima tropical e subtropical, onde a dinâmica dos processos de evolução dos solos se dá com bastante rapidez, cresce a importância do fósforo para a agricultura, podendo-se afirmar, de maneira geral, que a deficiência deste elemento predomina em grande parte do globo terrestre.

O conteúdo de fósforo total no solo atinge em média 0,1% de P o que daria para uma camada arável de solo de 20cm de profundidade, num hectare, 3.000 quilos do elemento. Apesar das plantas exigirem em torno de 60 a 100 kg P_2O_5 /ha ou o correspondente a apenas de 26-43 kg de P, a maior parte dos solos tem dificuldade em liberar essas pequenas quantidades de fósforo. Isso porque o fósforo total do solo se encontra em formas não integralmente disponíveis às plantas. Mesmo admitindo-se condições as mais favoráveis, tais como, a

faixa de pH entre 6,0 a 7,0, apenas pequena fração é assimilada pelas plantas.

As raízes absorvem o ânion fosfato, principalmente, na forma de $H_2PO_4^-$, que é encontrado em torno de 0,1ppm de PO_4^{3-} , nível muito baixo para garantir um bom desenvolvimento vegetal.

É interessante notar que quando fosfatos são adicionados ao solo, a maior parte das plantas cultivadas irá absorver apenas uma fração do fósforo aplicado, pois este é rapidamente convertido a formas menos solúveis, fenômeno denominado de fixação ou retenção.

Este fenômeno, físico-químico, se reveste de grande importância, principalmente nos solos ácidos, onde a maior solubilização de ferro, alumínio, manganês ligada a condições de pH, tipo de argila e matéria orgânica, pode acarretar ao fósforo a formação de compostos de baixa solubilidade ou disponibilidade aos vegetais.

A determinação da quantidade de fósforo de disponibilidade efetiva às plantas, há muito vem preocupando os especialistas em fertilidade de solos.

Métodos químicos, químicos-biológicos, microbiológicos, foram desenvolvidos, e, ultimamente, o aparecimento de técnicas com o emprego do ^{32}P , propiciou o uso de

processos radioquímicos com a vantagem de nos oferecer maior sensibilidade e facilidade na detecção dos problemas do fósforo na planta e no solo.

Inúmeros trabalhos sobre esse importante problema têm aparecido em diversos países visando o melhor aproveitamento e a maior economicidade no uso dos adubos fosfatados.

Considerando o valor do assunto em foco e a relativa escassez de trabalhos sobre o mesmo no Paraguay, decidimos realizar em cinco amostras de solos dos mais utilizados em agropecuária naquele país, o presente plano cujos principais objetivos são:

1. estudar a capacidade de retenção de fosfato dos solos.
2. determinar o valor "E" ou fósforo isotopicamente trocável.
3. estudar a eficiência dos diversos extratores de fósforo disponível mais utilizados pelos laboratórios de análise de solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Fixação de fósforo

"Fixação é um termo genérico, empregado para traduzir a transformação de formas solúveis de fósforo em outras formas menos solúveis. Qualquer fenômeno que determine um decréscimo na concentração do íon ortofosfato de uma solução, em contato com o solo, é responsável pela fixação". (CATANI e PELLEGRINO, 1960).

Segundo HEMWALL (1957), o fenômeno da fixação foi observado, inicialmente, na Europa ao redor de 1850, mas os maiores progressos para o seu esclarecimento se deram a partir de 1930.

Extensas revisões bibliográficas foram apresentadas por DEAN (1949); KURTZ (1953); OLSEN (1953); HEMWALL (1957); LARSEN (1967) estabelecendo os conceitos, importância e interpretação físico-químicas da fixação de fósforo pelo solo, sejam estes ácidos, neutros ou alcalinos.

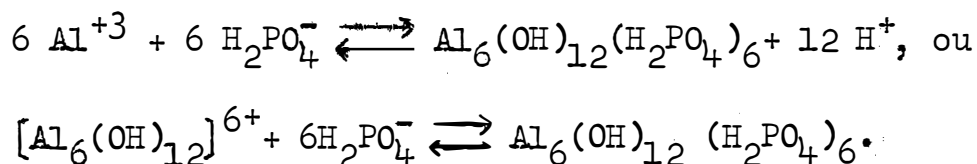
HSU (1965), afirma que a natureza da fixação é ainda confusa, sendo-lhe atribuída diversas causas ligadas ora a fenômenos químicos e ora a fenômenos físicos de adsorção. Estudando a fixação de fosfato em solos ácidos, informa que a adsorção do elemento pelo solo é um processo químico natural e que a adsorção física não poderá ser considerada como processo de fixação de certa importância. Acrescenta, que a adsorção e a precipitação resultam do mesmo tipo de força química, dependendo ambos das formas do alumínio e/ou do ferro presentes no momento da reação e, por sua vez, são dependentes do pH e da concentração da solução de fosfato.

HASSEMAN et al. (1950), mostraram que os mecanismos de fixação do fosfato pelos diversos minerais de argila são idênticos, sendo caracterizados por dois estágios, um de reação rápida e outro de reação mais lenta, concluindo que ambos os estágios são provenientes da mesma reação química. O primeiro resulta da reação do fosfato com o alumínio e o ferro prontamente disponíveis e o segundo da sua reação com o alumínio e o ferro liberados através da decomposição dos referidos minerais.

Em solos ácidos, MELLO (1968), julga que as principais causas da fixação sejam devidas à formação de compostos insolúveis com Fe, Al, Ti, Mn, etc.; a adsorção aos óxidos hidratados desses metais e aos minerais de argila.

Em solos fortemente ácidos (pH = 4,0) e com

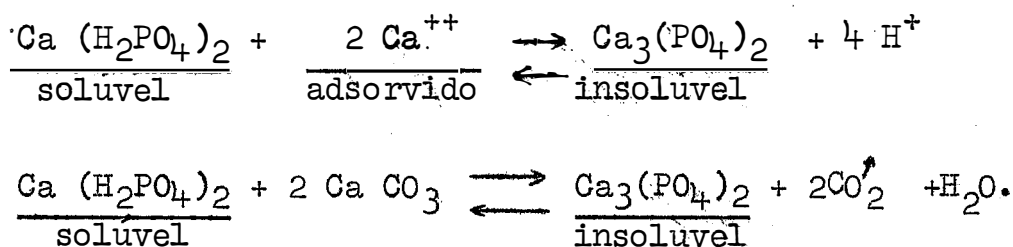
elevadas concentrações em fosfatos, a reação de precipitação, de acordo com HSU (1965), é dada pela seguinte forma:



Em solos normais ou ligeiramente ácidos (pH = 6,0 a 7,0), devido ao efeito do pH e à superfície de reação, os hidróxidos amorfos de alumínio e os óxidos de ferro presentes predominam no processo de fixação dos fosfatos, sobre os íons de alumínio e ferro da solução.

Em solos calcários e alcalinos a fixação de fosfatos é devida à formação de complexos insolúveis de fosfatos de cálcio, difíceis de serem caracterizados quimicamente (HEMWALL, 1967).

BUCKMAN & BRADY (1968), admitem a seguinte reação de um fosfato solúvel em um solo calcário:



Em solos orgânicos as formas predominantes de fósforo se acham como constituintes orgânicos, tais como, fitina, ácidos nucleicos e fosfolipídios, mas que não são dire-

tamente aproveitadas pelas plantas, a não ser após prévia mineralização pelos microorganismos do solo. Também certos produtos da decomposição orgânica, como os ácidos orgânicos e humus influenciam na formação dos complexos em associação com ferro e alumínio, o que reduz acentuadamente a fixação do fósforo inorgânico.

De acordo com TISDALE & NELSON (1965), os principais fatores de fixação de fósforo nos solos são: tipo de mineral de argila, tempo de reação, pH, temperatura, matéria orgânica, saturação de fósforo no solo e relação R_2O_3/P_2O_5 .

SREE RAMULU et al. (1967), estudando a fixação de fósforo, encontraram correlação significativa entre o fósforo fixado e a quantidade de óxido de ferro livre em 12 solos ácidos.

Pesquisando a fixação de P em solos de Ghana, AHENKORAH (1968), encontrou correlação positiva e altamente significativa entre a fixação de fósforo e os conteúdos de carbono orgânico e de ferro.

Trabalhando com 50 amostras de solos da América Central, FASSBENDER (1969.b) verificou, através de correlações lineares entre as características do solo (pH, % argila, % C, % Fe_2O_3 , Al^{+3} trocável) e a percentagem de fixação de fósforo que, os valores mais elevados de coeficiente de correlação foram obtidos quando se confrontaram as percentagens de fixação com as de argila, ferro, alumínio, carbono e índice

pH respectivamente. Estudando em 8 latossolos do Amazonas, o mesmo autor (1969.a), cita valores de retenção entre 26,8 e 51,6% correlacionando significativamente com os conteúdos de matéria orgânica e alumínio trocável.

CATANI e PELLEGRINO (1957), verificaram ao estudar três tipos de solos do Estado de São Paulo, que a fixação de fosfato era maior à medida que aumentavam os teores de hidróxidos de Fe e de Al. Salientaram os mesmos autores (1960), que as quantidades de fósforo fixadas pelo solo dependem da concentração do elemento na solução, pH da solução, tempo de reação, temperatura e relação peso: volume entre o solo e a solução.

Comparando os métodos colorimétrico e do ^{32}P , FASSBENDER e IGUE (1967), verificaram em 10 solos da Costa Rica que ambos foram eficientes na determinação da fixação de fósforo. Também YUAN et al. (1960), em trabalho semelhante, em solos ácidos e arenosos, obtiveram os mesmos resultados.

2.2. Adsorção de fosfatos pelo solo

De acordo com FASSBENDER (1966), a adsorção de íons fosfatos pelo solo corresponde a uma reação de superfície destes junto às partículas coloidais do solo, tais como, a matéria orgânica, argila, óxidos hidratados de Fe e Al, etc, resultando o fósforo instável ou fosfato superficial, sendo

que estas reações obedecem a leis específicas da química dos coloides. Admite ainda que, quando um fertilizante fosfatado é aplicado ao solo, ao dissolver-se, passa a fazer parte da sua fração solúvel ou solução do solo como em geral denominado, resultando na formação de íons $H_2PO_4^-$ que podem ser absorvidos pelas plantas. Por outro lado, tais íons são objeto de numerosas interações com as fases sólida e líquida do solo e, na presença de cargas eletropositivas do complexo coloidal, podem ser adsorvidos à superfície dos mesmos.

OLSEN & WATANABE (1957), verificaram que esta fração de fósforo adsorvida atinge imediatamente o equilíbrio quando é agitada com uma solução contendo ^{32}P ou fósforo de superfície e, esta relacionado com a concentração de fosfato em equilíbrio de acordo com a isoterma de Langmuir, que permite calcular concomitantemente a capacidade máxima de adsorção de fosfato pelo solo.

WOODRUF & KAMP RATH (1965), relacionaram satisfatoriamente o desenvolvimento do painço (Setaria italica Beauv) com o grau de saturação da adsorção máxima de fósforo no solo. Nestes estudos os autores verificaram que o valor da adsorção máxima do elemento foi reduzida com a neutralização do alumínio do solo.

SÁ JR. et al. (1968), determinaram a adsorção máxima de fósforo em 17 solos de Pernambuco, concluindo que os solos de textura argilosa apresentavam valores de adsorção máxima mais altas que aqueles de textura arenosa.

2.3. Avaliação do fósforo disponível

2.3.1. Métodos químicos

DAZA & MULLER (1965), afirmam que os métodos químicos de avaliação se baseiam na seguinte premissa: "Quando um solo é agitado com uma solução extratora por um determinado tempo, extrai-se certa quantidade de nutrientes minerais em forma análoga àquelas absorvidas pelas raízes de uma planta". Encontrar uma solução extratora ideal é difícil devido aos múltiplos fatores relacionados com as reações de fosfatos e à variabilidade das condições de campo que controlam a absorção do elemento mineral pelas raízes das plantas.

Diversas soluções extratoras têm sido testadas tais como soluções de ácidos, de bases e de sais, fortes e fracas, em várias concentrações, à frio ou à quente, capazes de retirar diferentes quantidades de fósforo.

As correlações estabelecidas entre os vários métodos têm demonstrado com segurança a conveniência do uso de certa solução extratora para cada caso determinado.

Os testes de solo, de acordo com PRATT (1966), são usualmente baseados em alguns conceitos sobre como deve operar o sistema solo-planta-água no suprimento de fósforo aos vegetais, mas, na análise final, todos os testes de solo são empíricos, isto é, devem ser correlacionados com a resposta da planta, comparando-se os rendimentos relativos contra os valores obtidos no teste de solo.

Alem disso deve-se padronizar a relação solo: solução extratora, pH do meio e tempo de agitação (CABALA RO-SAND, 1972).

BINGHAM (1962), recomenda para a determinação de fósforo disponível em solos alcalinos o método de Olsen e a utilização de extratores fracos como H_2O e CO_2-H_2O ; para solos ácidos os extratores compostos de ácidos fortes; já em solos orgânicos a extração com água foi a que deu melhores resultados.

CHANG & JUO (1963), explicam que quando o fósforo solúvel é determinado por um método químico, são incluídas todas as formas de fosfatos inorgânicos, principalmente fosfatos de cálcio, alumínio e ferro. As quantidades totais e relativas de fósforo dissolvidas das diferentes formas de fosfato do solo, dependem das quantidades relativas das mesmas e da solubilidade destes fosfatos na solução extratora; e ainda, se dois extratores similares em seletividade de dissolução forem aplicados a um grupo de solos com a mesma origem e distribuição de fosfatos, é bem provável que os valores de fósforo disponível por estes dois métodos sejam altamente correlacionados.

Para o estudo da avaliação da fração de fósforo no solo considerada como disponível às plantas, WAUGH & FITTS (1966), recomendam em primeiro lugar a determinação do valor "X" para cada amostra em estudo a fim de se conhecer a

quantidade máxima de fosfato fixada pelo solo, isto é, o ponto de saturação onde é eliminada a competição do solo com a planta pelo fosfato aplicado.

Uma solução extratora que vem sendo utilizada com êxito e merecendo atenção especial no Brasil e em outros países que integram o Projeto Internacional de Análise de Solo, liderado pela Universidade Estadual de Carolina do Norte (EE.UU), (1), é a mistura do H_2SO_4 0,025N e HCl 0,050N na relação solo:solução 1:10 com 5 minutos de agitação.

Os níveis de fósforo, obtidos por este método e classificados como baixo, médio e alto em diversos laboratórios do Estado de São Paulo e do Estado de Minas Gerais, são os seguintes; citados por MELLO (1970.b):

abaixo de 0,10 e.mg PO_4^{3-} /100g de terra (10 ppm de P) - teor baixo.

de 0,10 a 0,30 e.mg PO_4^{3-} /100g de terra (10 a 30 ppm de p) - teor médio

acima de 0,30 e.mg PO_4^{3-} /100g de terra (maior do que 30 ppm de P) - teor alto.

Mais recentemente, (ANDA, 1971), esses mesmos dados são representados em função de e.mg PO_4^{3-} /100 ml de terra ou como mg de P por 1000ml de terra (ppm de P).

(1) - International Soil Testing Project.

North Carolina State University (U.S.A.)

2.3.2. Métodos radioquímicos

São fundamentados nos processos da diluição isotópica, onde o ^{32}P é utilizado para avaliar a disponibilidade desse elemento através da obtenção do valor "E" ou fósforo isotopicamente trocável.

De acordo com OLSEN & DEAN (1965), esta determinação é baseada no seguinte princípio: "Numa solução, uma fração do fósforo da fase sólida do solo está em equilíbrio com o fósforo da fase líquida". As quantidades presentes nos solos em cada fase podem ser medidas por um método baseado na diluição isotópica do traçador radioativo com um isótopo estável da fase sólida e da solução. Esta lei afirma que em condições de equilíbrio isotópico, a atividade específica ou a percentagem do isótopo estável em abundância, é constante através do sistema. Uma reação de troca isotópica, é uma reação segundo a qual dois átomos com o mesmo número atômico, mas com número de massa diferente substituem-se mutuamente.

A determinação do "fósforo de superfície" foi proposto por MC AULIFFE et al. (1947); SCOTT RUSSEL et al. (1954), continuando estes estudos, denominaram o fósforo de superfície de fósforo isotopicamente trocável ou valor "E", isto é, o P contido no solo na forma trocável considerado como prontamente disponível às plantas.

Para a determinação do valor "E" diversas técnicas têm sido propostas por vários autores sobre as melhores

condições de análise para se obter resultados cada vez mais fidedignos, devido aos diversos problemas que se apresentam durante as reações físico-químicas do solo.

Assim uma das condições indispensáveis do método é que se deve verificar um equilíbrio entre o P adicionado e o P do solo.

As reações de troca do solo têm sido estendidas por vários dias com a finalidade de atingir o equilíbrio dinâmico (MC AULIFFE et al, 1947; SCOTT RUSSEL et al, 1954; TALIBUDEEN, 1957).

Para estudos de troca isotópica a Agência Internacional de Energia Atômica recomenda 24 ou 48 horas de agitação (IAEA, 1964).

Se o solo for submetido a uma agitação com uma solução contendo fosfato radioativo, haverá um equilíbrio entre o fósforo trocável do solo e da solução. Neste equilíbrio, a atividade específica do fósforo será uniforme através do sistema: ^{31}P fase sólida + ^{32}P da solução \rightleftharpoons ^{32}P fase sólida + ^{31}P da solução (1), isto é, no equilíbrio isotópico a relação dos dois isótopos da fase sólida é igual aos da fase da solução (MC AULIFFE et al., 1947; FRIED, 1964).

Portanto, o ^{31}P da fase sólida pode facilmente ser calculada pela equação (2):

^{31}P fase sólida = (^{32}P fase sólida/ ^{32}P da solução) x ^{31}P da solução (2)

O total de P no sistema que sofre diluição isotópica é chamado de fósforo lábil ou valor "E", que pode ser medido por outro método que determina a alteração da atividade específica de uma solução adicionada a um peso conhecido de solo.

A equação (3) é a utilizada:

$$E = B \left(\frac{S_i}{S_f} - 1 \right) \dots (3)$$

onde: S_i = atividade específica do fósforo na solução original,

S_f = atividade específica do fósforo na solução após um tempo, e

B = quantidade de ^{31}P na solução adicionada ao solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Solos

Foram utilizadas amostras de 5 tipos de solos do Paraguai, colhidos do horizonte superficial, seguindo as recomendações de CATANI et al. (1955).

Os solos foram coletados de uma profundidade de 15 - 20 cm, e depois de secos, passados por peneiras de 2 mm de malha.

A classificação dos solos segundo FAO (1964) e BERTONI et al. (1970), assim como a localização estão representadas na Tabela 1.

As localidades de onde foram retiradas as amostras podem ser observadas no mapa na Figura 1.

Os solos foram analisados no Laboratório de Análise do Solo do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". As características físicas e químicas das amostras se apresentam na Tabela 2.

TABELA 1 - Localização e classificação dos solos.

Solo	Localidade	Grande Grupo
1	Estação Experimental de Capitan Miranda	Solo Laterítico Brumo Avermelhado (Reddish Brown Lateritic Soil, similar à Terra Roxa Estruturada). Equivalente Eutrófico.
2	Arroyos y Esteros	Planossolo com concreções de CaCO_3 . Equivalente Eutrófico.
3	Instituto Agrônômico Nacional Caacupé	Podzólico Vermelho Amarelo proveniente de arenitos arkósicos. Equivalente Distrófico.
4	Puerto Presidente Stroessner	Solo Laterítico, similar ao Latossolo Roxo. Equivalente Eutrófico.
6	Coronel Oviedo	Podzólico Vermelho Amarelo, proveniente de arenitos e folhelhos Passa Dois, Tubarão e Misiones. Equivalente Distrófico.

TABELA 2 - Características físicas e químicas dos solos.

	Solos				
	1	2	3	4	5
Argila % (*)	34,4	42,0	7,3	49,9	7,1
Limo % (*)	43,6	51,3	12,2	42,3	30,3
Areia % (*)	22,0	6,7	80,5	7,8	62,6
pH água 1:1	6,8	4,7	5,9	5,9	6,2
pH KCl 1:1	6,1	3,6	4,9	5,0	5,5
C % (**)	1,33	2,01	0,58	1,03	0,61
Fe_2O_3 % (**)	14,76	1,25	1,25	11,51	1,25
P total (**)	168,26	114,10	58,00	148,92	67,70

TABELA 2 - Continuação

		Solos				
		1	2	3	4	5
Ca ⁺²	(***)	12,91	10,88	2,05	7,44	4,56
Mg ⁺²	(***)	1,34	2,14	0,35	1,87	-
Al ⁺³	(****)	0,06	2,43	0,12	0,24	1,39
H ⁺	(****)	1,57	8,91	2,14	3,65	0,31
K ⁺	(****)	0,71	0,46	0,17	0,29	0,24
PO ₄ ⁻³	(****)	0,17	0,21	0,09	0,03	0,05
Acidez total		1,63	11,34	2,26	3,89	1,70
CTC		16,59	24,82	4,83	13,49	6,50

- (*) - Na determinação das classes de separados do solo foi utilizado o método da pipeta (KILMER & ALEXANDER, 1949), empregando-se como dispersante uma solução de hexametáfosfato de sódio.
- (**) - As percentagens de Fe₂O₃ e C e o fosfato total (mg P₂O₅/100g solo) foram obtidos pelo método preconizado por JACKSON et al. (1965).
- (***) - Ca⁺² e Mg⁺² trocáveis (e.mg/100g terra) através das especificações de GLORIA, CATANI e MATUO (1965).
- (****) - Al⁺³, H⁺, K⁺ e PO₄⁻³ (e.mg/100g terra) seguindo as instruções publicadas por CATANI, GALLO e GARGANTINI (1955).

3.2. Determinação da percentagem de fixação de fósforo

Para se estudar a capacidade de fixação dos solos seguiu-se o método empregado por Waugh & Fitts (1966). Foram tomados porções de 10 ml de cada solo e postos em Erlenmeyer de 150 ml de capacidade. A seguir os solos foram uni -

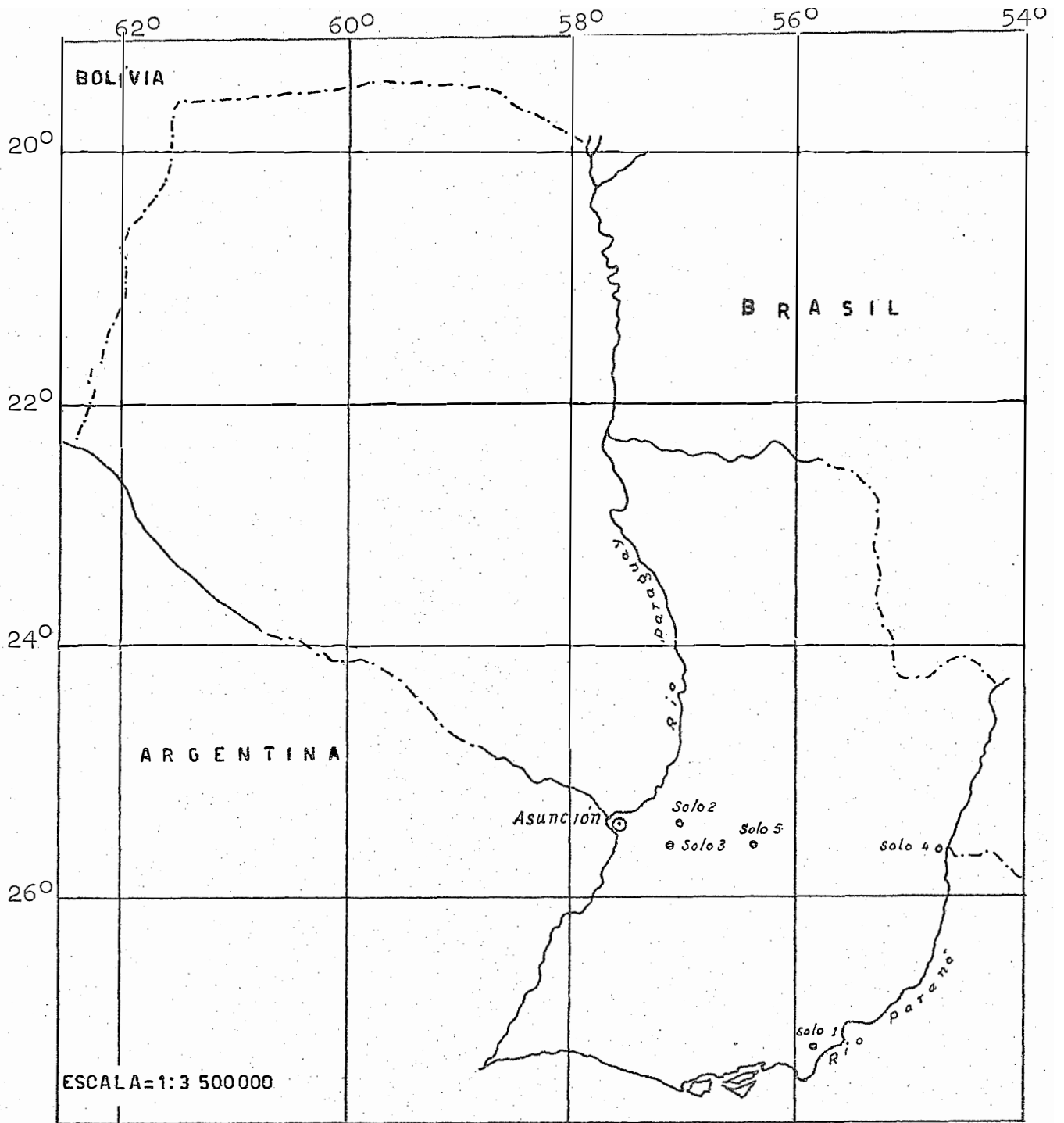


Figura 1 - Mapa do Paraguay mostrando a localização da retirada das amostras de solo.

formemente umidecidos com 4 ml de uma solução contendo 100ppm de P na forma de fosfato monocálcico e protegidos com papel parafinado para evitar evaporação.

Os solos permaneceram em incubação durante 4 dias à temperatura ambiente.

Após esse período os solos foram analisados no seu teor de P empregando-se as soluções extratoras contidas na Tabela 3.

TABELA 3 - Relação dos extratores (composição química, relação solo:solução, tempo de agitação) para obtenção do fosfato solúvel no solo.

Extrator	Composição química	Relação solo:solução	Tempo de agitação	Referências
North Carolina	HCl 0,050N + H ₂ SO ₄ 0,025N	1:10	5 min.	VETTORI (1969)
IAC (*)	H ₂ SO ₄ 0,050N	1:10	15 min.	CATANI et al. (1957)
IAC (*)	H ₂ SO ₄ 0,050N	1:20	15 min.	CATANI et al. (1957)
OLSEN	NaHCO ₃ 0,5M pH 8,5	1:10	30 min.	OLSEN & DEAN (1965); WATANABE & OLSEN (1965); JOHN (1970)
BRAY - 1	HCl 0,025N + NH ₄ F 0,03N	1:10	1 min.	OLSEN & DEAN (1965); JACKSON (1964)
BRAY - 2	HCl 0,10N + NH ₄ F 0,03N	1:10	40 seg.	OLSEN & DEAN (1965); JACKSON (1964)

(*) - Instituto Agronômico de Campinas (SP).
Seção de Fertilidade do Solo.

Para cada solo foi estabelecido uma testemunha a qual somente foi umidecida com água destilada.

A percentagem de fixação de P foi calculada através da seguinte equação:

$$\% \text{ P fixado} = 100 - \frac{(A-B)}{C} \times 100$$

onde: A = fósforo em ppm obtido após incubação

B = fósforo em ppm originário do solo (testemunha)

C = fósforo em ppm adicionado ao solo.

A capacidade de fixação dos solos também foi determinada utilizando o método do ^{32}P . (IAEA, 1964). Para isso foram pesadas 10 ml de terra e transferidas para Erlenmeyer de 150 ml ao qual foi adicionado 100 ml de uma solução de 2 ppm de P em 0,01 M de CaCl_2 , com uma atividade de 10 $\mu\text{Ci/ml}$, agitado sob condições de laboratório por 6 horas para logo ser centrifugado, do decantado foi determinada a radioatividade da solução do solo após a evaporação de 1 ml do filtrado em prancheta sob luz infra-vermelha, e medindo-se em tubo Contador Geiger Muller - Modelo CGM ligado a um registrador Brasele.

Paralelamente foi feita a contagem de uma prova em branco, secando-se 1 ml da solução de P radioativo sem ter tido contato com o solo; esta contagem foi considerada como igual a 100 para cálculo posterior da percentagem de fixa-

ção de ^{32}P através das seguintes expressões citadas por CATANI et al. (1963):

$$\text{Fixação \% de } ^{32}\text{P} = 100 - \frac{i/m \text{ da amostra}}{i/m \text{ da prova em branco}} \times 100$$

$$\text{Fixação \% de } ^{31}\text{P} = 100 - \frac{L_2}{L_1} \times 100$$

onde: i/m = impulsos por minutos

L_1 = ppm de P da prova em branco

L_2 = ppm de P da solução que foi agitada com o solo.

A determinação do ^{31}P para todos os casos foi feita colorimetricamente em alíquota do extrato, com a solução sulfobismuto-molíbica e ácido ascórbico como redutor. (VETTORI, 1969; JOHN, 1970; MARQUES, 1961).

Todas as determinações constaram de 3 repetições e uma testemunha com omissão de fosfato.

3.3. Determinação da capacidade máxima de adsorção de fósforo.

A capacidade máxima de adsorção de P dos solos foi estudada seguindo o método de Olsen & Watanabe (1957), que utiliza a equação de Langmuir, dada pela seguinte expressão:

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

onde: X/m = é a quantidade de P adsorvido por unidade de peso de solo ($\mu\text{g P/g solo}$)

c = concentração de P na solução em equilíbrio (ppm)

b = capacidade máxima de adsorção de P

K = constante de energia de retenção de P

$1/b$ = inclinação da reta ou isoterma (coeficiente angular).

Amostras de 10g de cada solo foram postas em contato com 100 ml de soluções de P sob a forma de KH_2PO_4 , cujas concentrações variaram de 20 a 100 ppm P. Os solos foram agitados durante 1 hora e logo deixadas em repouso durante a noite. Posteriormente, centrifugou-se por 30 minutos a 3 000 rpm e no sobrenadante determinou-se o P pelo método colorimétrico recomendado por VETTORI (1969).

As concentrações de P adicionados, foram de 0, 20, 40, 60, 80 e 100 ppm, e cada tratamento foi repetido 3 vezes.

O fosfato adsorvido nos 5 solos em estudo foi calculado tendo-se em conta a quantidade de P oferecido ao solo e a quantidade recuperada. Os dados obtidos foram aplicados na equação de Langmuir.

3.4. Determinação do valor "E"

O valor "E" dos solos foram determinados mediante a técnica proposta pela IAEA (1964) e AMER (1962). Para isto foram pesados 10g de cada solo e transferidas para frascos de Erlenmeyer de 150 ml aos quais adicionou-se 100 ml de uma solução contendo 2 ppm de P em 0,02M de CaCl_2 , com uma atividade do ^{32}P de 10 $\mu\text{Ci/ml}$; agitou-se sob condições de laboratório por 24 horas utilizando-se uma agitadora horizontal, centrifugou-se a 3 000 rpm e do decantado foi medida a fração de fósforo adicionada não retida no solo pelos métodos já descritos. O valor "E" foi calculado através da seguinte equação, citada no item 2.3.2.

$$E = B \left(\frac{S_i}{S_f} - 1 \right)$$

onde: S_i = atividade específica do fósforo na solução original

S_f = atividade específica do fósforo na solução após um tempo

B = quantidade de ^{31}P na solução adicionada ao solo.

Cada tratamento constou de 3 repetições e uma testemunha onde o fósforo foi omitido.

3.5. Ensaio em casa de vegetação

A correlação das análises de P dos solos por diferentes métodos com a produção vegetal, foi estudada com a metodologia sugerida por Waugh & Fitts (1966).

3.5.1. Seleção do valor "X"

Para a determinação do valor "X" porções de 10 ml de cada solo foram transferidas para frascos de Erlenmeyer de 150 ml e umidecidas uniformemente com 4 ml de uma solução de fosfato na forma monocálcica. A concentração das soluções adicionadas a cada amostra em estudo variaram de 0 (test.), 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500 e 600 ppm de P respectivamente.

A seguir, os frascos, foram incubados por 4 dias a temperatura ambiente e protegidos para que as amostras se conservassem úmidas.

Transcorrido o período de incubação, procedeu-se a extração com uma solução de HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N em agitador horizontal durante 5 minutos e deixando-se em repouso durante a noite.

Do sobrenadante, foi retirado uma alíquota e determinada pelo método colorimétrico do azul de molibdênio, utilizando-se o ácido ascórbico como redutor. Cada tratamento constou de três repetições. O solo da testemunha foi umidecido e incubado com 4 ml de água destilada, fornecendo o fósforo solúvel.

A quantidade de fosfato que reagiu com os componentes do solo foi determinada num gráfico, traçando-se uma

curva entre os dados obtidos pela análise do sobrenadante no eixo das coordenadas e a quantidade de fósforo aplicado no solo, no eixo das abcissas.

Paralelamente e para observar o seu comportamento, as extrações do fósforo adicionado e incubados nos 5 solos em estudo, foram determinados mediante a utilização dos outros extratores, utilizados no presente trabalho.

O valor "X" é de acordo com WAUGH & FITTS (1966), o ponto onde aumenta abruptamente o fósforo extraído. A determinação deste valor ou ponto de inflexão da curva, que demonstra uma saturação da capacidade fixadora do solo, é uma medida aproximada da quantidade de fósforo requerido para corrigir com sobras o efeito da fixação, havendo portanto, neste valor, um incremento do nutriente disponível às plantas.

3.5.2. Ensaio em vasos

O ensaio com plantas foi instalado em vasos de material plástico com as seguintes dimensões: altura 17 cm, diâmetro superior 16 cm, e diâmetro inferior 10 cm, contendo cada um 2 litros de terra; isto porque, considerando que as plantas crescem num volume dado de solo e que tanto os adubos como os corretivos também são aplicados por volume de terra, foi sugerido utilizar esta medida em estudos com vasos (Waugh & Fitts, 1966).

A necessidade de calcário foi baseada no método do alumínio trocável onde e.mg de Ca(OH)_2 requeridos por 100 ml de solo = e.mg de alumínio trocável x 2.

O corretivo na forma de Ca(OH)_2 , foi homogeneizado perfeitamente com o solo, colocado nos vasos e deixado em repouso por 15 dias, conservando-se durante esse período a umidade entre 40 a 50% da capacidade de campo.

A seguir, os solos foram secos e peneirados em telas de plástico.

Com a determinação do valor "X" para cada um dos 5 solos pelo método de North Carolina, que foi a curva utilizada neste ensaio, procedeu-se ao cálculo das quantidades de P a serem adicionadas sob a forma de $\text{Ca(H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (fosfato monocálcico, monohidratado p.a.).

Os níveis de P aplicados a cada solo foram de 0, 1/2, 1, 2, 3 e 4 vezes o valor "X" (Tabela 4) em um total de 6 tratamentos com 3 repetições em blocos ao acaso (PIMENTEL GOMES, 1963).

Após a adição do fósforo os solos transferiram-se para os vasos e mantidos com um teor de umidade correspondente a 60-70% da capacidade de campo, sendo, as irrigações posteriores feitas de modo a conservar o peso registrado nos vasos.

TABELA 4 - Níveis de P aplicados em cada tratamento de acordo com o valor "X" determinado para cada solo.

Tratamentos	Quantidade de X aplicado	mg de $(\text{CaH}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ /vaso (2 l solo)				
		solo 1	solo 2	solo 3	solo 4	solo 5
1	0	-	-	-	-	-
2	1/2	300	600	100	400	200
3	1	600	1.200	200	800	400
4	2	1.200	2.400	400	1.600	800
5	3	1.800	3.600	600	2.400	1.200
6	4	2.400	4.800	800	3.200	1.600

Cada recipiente recebeu 100 ml de solução nutritiva da qual foi omitida o P e deixada por uma semana em repouso.

A seguir, foram plantadas 30 sementes de painço (*Setaria italica* Beauw), procedendo-se 10 dias após a germinação a um desbaste deixando-se 15 plantas por vaso.

Além do controle diário do fornecimento de água, semanalmente, foi adicionado 100 ml da solução nutritiva citada nas concentrações aconselhadas por WAUGH & FITTS (1966), e parcialmente modificada por SARRUGE (1971) em relação ao K e Mg, conforme mostra a Tabela 5.

TABELA 5 -- Composição química da solução nutritiva.

Solução estoque	ml da solução estoque/l de sol. nutritiva
1,0 M KNO_3	50
1,0 M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	50
1,0 M $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	20
1,0 M KCl	10
Solução de Fe Na EDTA 0,5%	10
Solução de micronutrientes	10

Composição da solução de micronutrientes

<u>Componentes</u>	<u>g/l</u>
H_3BO_3	2,86
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,86
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,22
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,08
$\text{H}_2\text{MO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,02

A colheita da parte aérea das plantas foi feita seis semanas após o plantio. O material vegetal foi colocado em sacos de papel, seco a 70-80°C em estufa e posteriormente pesado.

3.5.3. Produção relativa

A produção relativa dos tratamentos que recebe

ram diferentes níveis de fósforo foram comparados entre si para determinar se o valor "X" escolhido foi ou não aquele que deu o melhor resultado.

A expressão utilizada foi:

$$P.R. = \frac{\text{Produção sem fósforo (testemunha)}}{\text{Produção com fósforo adequado}} \times 100$$

Os valores de produção com fósforo adequado foram aqueles tratamentos cuja produção média foi mais alta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Capacidade de fixação de fósforo dos solos

Na Tabela 6 encontram-se os valores da capacidade de fixação (%) de P dos solos, determinados pelos 7 métodos em estudo.

Observa-se que os solos 5 (Coronel Oviedo) e 3 (Gaacupé), apresentaram as menores capacidades de fixação de P por qualquer método empregado.

Os solos que mostraram maior capacidade de fixação foram o 4 (Puerto Presidente Stroessner) e 2 (Arroyos y Esteros) enquanto que o solo 1 (Capitan Miranda) apresenta uma fixação intermediária. Considerando estes solos a tendência não é bem definida quando foram usados os métodos de Bray-2 e ^{32}P como podemos observar na Tabela 7.

Nas amostras estudadas as divergências entre os dados capacidade de fixação podem ser explicados pelos diferentes teores de argila de cada uma delas. Assim, os solos

TABELA 6 - Capacidade de fixação (%) dos solos em P determinados por diferentes métodos.

Solos	N.C.	MÉTODOS UTILIZADOS							CV %
		IAC 1:10	IAC 1:20	OLSEN	BRAY-1	BRAY-2	32P	DMS Tukey 5%	
1	70,80	63,00	55,60	64,60	82,15	82,15	77,50	4,69	2,31
2	77,00	76,80	71,00	83,40	88,50	80,60	90,53	4,18	1,81
3	15,10	35,60	20,80	38,00	18,70	21,70	26,14	5,49	7,82
4	74,00	80,30	70,00	76,00	93,00	86,32	75,13	6,32	2,79
5	21,00	33,90	26,20	41,50	23,00	23,00	37,50	7,87	9,13
DMS (TUKEY 5%)	3,62	5,82	5,88	6,84	6,28	7,63	2,77		
CV %	2,50	3,56	4,23	3,98	3,61	4,59	1,60		

2 (42,0% argila) e 4 (49,9% argila) correspondendo a um Plaquossolo e Latossolo Roxo respectivamente, são de textura mais fina que os demais, mostrando maior fixação de fosfato.

TABELA 7 - Relação entre os solos em estudo e sua capacidade fixadora de P determinados por diferentes métodos.

Método	Solos
North Carolina	2 = 4 = 1 > 5 > 3
I.A.C. 1:10	2 = 4 > 1 > 3 = 5
I.A.C. 1:20	2 = 4 > 1 > 5 = 3
Olsen	2 > 4 > 1 > 5 = 3
Bray-1	2 = 4 = 1 > 5 = 3
Bray-2	4 = 1 = 2 > 5 = 3
^{32}P	2 > 1 = 4 > 5 > 3

O fato dos solos 2, 4 e 1 se haverem destacado dos outros dois, no seu poder de fixação, pode ser explicado considerando além do seus teores em argila, os seus conteúdos em Fe_2O_3 , Al^{+3} trocável e em C orgânico, fatores estes que a literatura mostra influir seriamente na fixação de P.

Observando a Tabela 2 vemos que nos solos 1 e 4, os teores de Fe_2O_3 são mais elevados enquanto que no solo 2 destaca-se o seu teor de Al^{+3} trocável. A maior fixação que estes solos mostram, pode ser devida também à presença destes compostos.

Esses dados concordam com ANASTÁCIO (1968), que estudando amostras de horizontes superficiais de 55 solos representativos da maioria das unidades típicas provenientes de varias partes do Brasil, verificou a influência do conteúdo de argila na fixação de fosfato; FASSBENDER (1969.b), correlacionou as percentagens de argila com as de fixação de P de 50 solos encontrando correlações altamente significativas; idênticos resultados obteve ao correlacionar a fixação com os teores de Fe_2O_3 , Al^{+3} trocável e C orgânico. AHENKORAH (1967), da mesma maneira, encontrou ao estudar 13 solos de Ghana, que a capacidade de retenção de fosfato estava associada aos conteúdos de carbono orgânico e ferro.

SÁ JR. et al. (1968), concluíram que a medida que aumentava o teor de argila do solo, aumentava a adsorção de fosfato pelo solo.

MELLO (1970.a), ao descrever um método para de terminar a fixação de P pelo solo utilizando plantas e fósforo radioativo, observou a influência do teor de argila sobre a quantidade de P fixado.

As correlações obtidas entre a capacidade de fixação e os teores de argila (%), Fe_2O_3 (%) e Al^{+3} (e.mg/100 g de solo) e as características físicas e químicas apresentadas pela Tabela 2 mostram para os diversos solos.

Solo 1 - fixação devida aos teores de argila e Fe_2O_3 .

Solo 2 - fixação devida aos teores de argila e Al^{+3} .

Solo 5 - fixação devida aos teores de argila e Fe_2O_3 .

A amostra nº 5 apesar do teor alto em Al^{+3} (1,39 e.mg/100g solo) apresenta baixas percentagens de argila e de Fe_2O_3 , resultando numa baixa capacidade de fixação.

Assim, na Tabela 8 podemos observar os resultados obtidos quando confrontadas as características edáficas das amostras em estudo e a percentagem de fixação de fosfato obtidas pelos diferentes extratores utilizados.

TABELA 8 - Coeficientes de correlação (r) entre fixação de P (%) e características edáficas do solo.

Fixação (%) com extrator de:	Características edáficas				
	pH	Fe_2O_3 (%)	Argila (%)	C%	Al^{+3}
North Carolina	- 0,26	0,60	0,96**	0,82	0,17
I.A.C. 1:20	- 0,39	0,49	0,98**	0,81	0,25
I.A.C. 1:10	- 0,39	0,51	0,99**	0,77	0,16
Olsen	- 0,50	0,39	0,96**	0,88*	0,35
Bray-1	- 0,25	0,63	0,98**	0,78	0,11
Bray-2	- 0,18	0,68	0,97**	0,76	0,05

Valores de significancia 1% $r = 0,96$
de r pelo teste t 5% $r = 0,88$

Os valores dos coeficientes de correlação linear entre os diferentes extratores químicos utilizados na de

terminação da capacidade de fixação estão representados na Tabela 9.

TABELA 9 - Coeficientes de correlação linear^(*) entre os resultados dos métodos químicos utilizados para a determinação da fixação de P e a adsorção máxima de fosfato.

	P adsorvido	³² P	Bray-2	Bray-1	Olsen	I.A.C. 1:10	I.A.C. 1:20
North Carolina	0,94	0,96	0,88	0,91	0,98	0,92	0,95
I.A.C. 1:20	0,95	0,96	0,96	0,98	0,99	0,99	
I.A.C. 1:10	0,92	0,93	0,96	0,98	0,98		
Olsen	0,98	0,97	0,94	0,96			
Bray-1	0,91	0,96	0,99				
Bray-2	0,89	0,96					
P ³²	0,97						

(*) - Valores de significância de r pelo teste t.

1% r = 0,96

5% r = 0,88

Pelos resultados obtidos podemos observar que existe uma relação entre os diferentes extratores utilizados para a determinação do fósforo fixado e também quando confrontados com os valores de adsorção máxima de fosfato, obtidas pelas isotermas de Langmuir.

4.2. Capacidade de adsorção máxima dos solos

As Tabelas 10, 11, 12 e 14 apresentam os da -

dos obtidos no ensaio de adsorção para os solos 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente.

TABELA 10 - Valores relativos à adsorção de P pelo solo 1.

P oferecido (ppm)	Conc. P em equilíbrio (ppm)	P adsorvido (ppm)	mg P adsorvido	Concentração P equilíbrio
			g solo	mg P adsorvido / g solo
20	6,39	13,61	0,13	49,65
40	19,88	20,12	0,20	99,75
60	35,15	24,85	0,25	140,88
80	49,93	30,07	0,30	166,67
100	64,62	35,38	0,35	184,83

TABELA 11 - Valores relativos à adsorção de P pelo solo 2.

P oferecido (ppm)	Conc. P em equilíbrio (ppm)	P adsorvido (ppm)	mg P adsorvido	Concentração P equilíbrio
			g solo	mg P adsorvido / g solo
20	3,06	16,94	0,17	18,00
40	12,06	27,94	0,28	43,07
60	21,80	38,20	0,38	57,37
80	32,11	47,89	0,48	66,90
100	47,71	58,29	0,58	71,91

TABELA 12 - Valores relativos à adsorção de P pelo solo 3.

P oferecido (ppm)	Conc. P em equilíbrio (ppm)	P adsorvido (ppm)	mg P adsorvido	Concentração P equilíbrio
			g solo	mg P adsorvido/ g solo
20	16,88	3,12	0,03	562,67
40	35,82	4,18	0,04	895,50
60	54,94	5,06	0,05	1.098,80
80	73,98	6,02	0,06	1.233,00
100	93,01	6,99	0,07	1.328,71

TABELA 13 - Valores relativos à adsorção de P pelo solo 4.

P oferecido (ppm)	Conc. P em equilíbrio (ppm)	P adsorvido (ppm)	mg P adsorvido	Concentração P equilíbrio
			g solo	mg P adsorvido/ g solo
20	6,56	13,44	0,13	50,46
40	19,70	20,30	0,20	98,50
60	34,30	25,70	0,26	131,92
80	48,20	31,80	0,32	150,63
100	62,37	37,63	0,38	164,13

TABELA 14 - Valores relativos à adsorção de P pelo solo 5.

P oferecido (ppm)	Conc. P em equilíbrio (ppm)	P adsorvido (ppm)	mg P adsorvido	Concentração P equilíbrio
			g solo	mg P adsorvido/ g solo
20	16,05	3,95	0,04	401,25
40	34,34	5,66	0,06	570,67
60	52,76	7,24	0,07	753,71
80	70,96	9,04	0,09	788,44
100	88,95	11,05	0,11	808,64

Na Figura 2 estão representados graficamente os resultados de adsorção dos solos em estudo em forma de isotermas de Langmuir.

Na Tabela 15 estão inseridos os dados da capacidade máxima de adsorção de fosfato pelo solo (b) expressa em mg de P adsorvido por grama de solo, e a constante de energia de retenção (K).

TABELA 15 - Capacidade máxima de adsorção de P (b) e constante de energia (K).

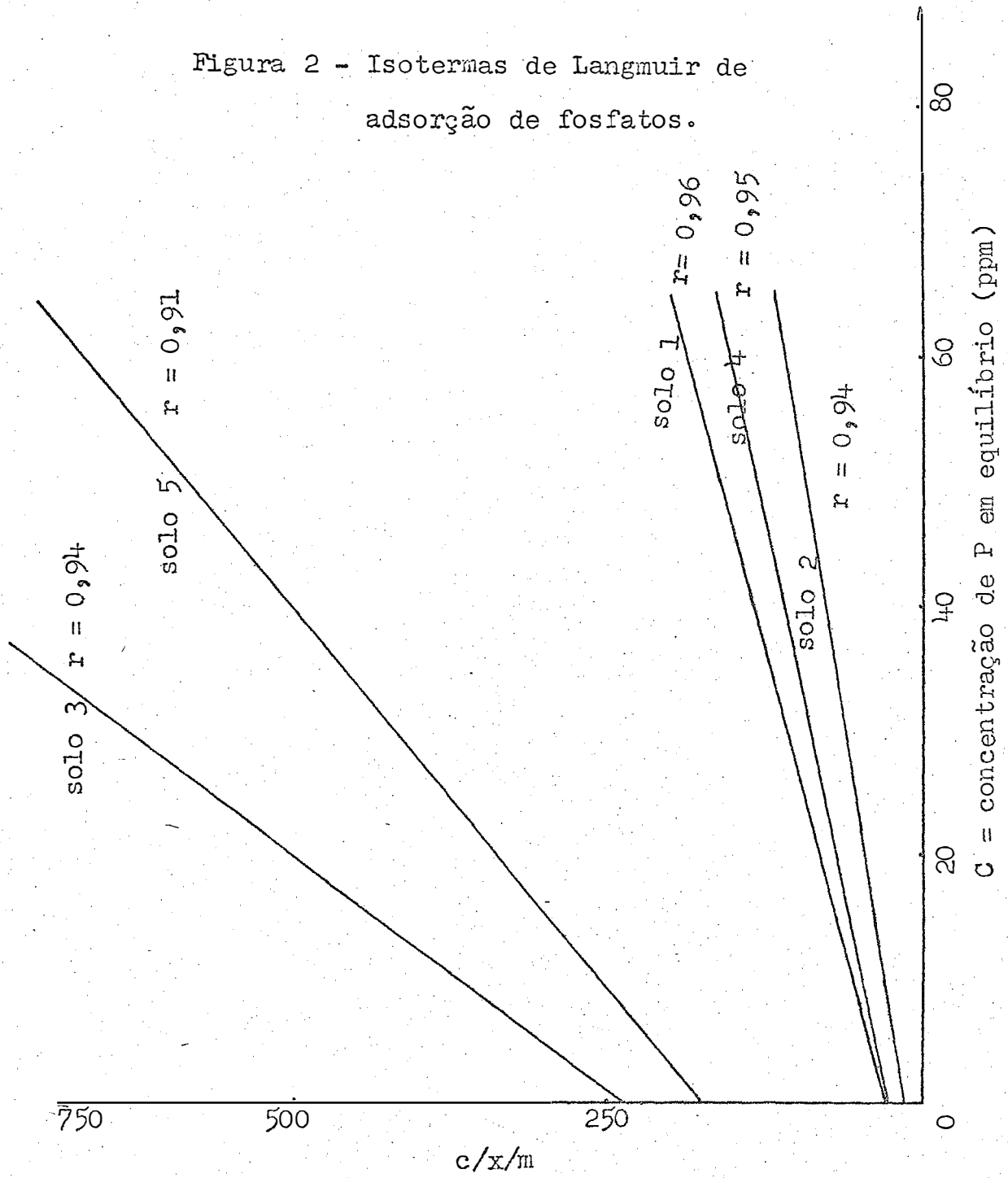
Solo	Equação da isoterma de adsorção de P	Coefficiente de correlação (r)	Capacidade máxima de adsorção (b). (mg P adsorvido/g solo)	Constante de energia de adsorção (K)
1	$y = 26,74 + 2,73x$	0,96**	0,36	0,10
2	$y = 12,61 + 1,64x$	0,94**	0,61	0,13
3	$y = 238,42 + 13,43x$	0,94**	0,07	0,05
4	$y = 28,54 + 2,48x$	0,95**	0,40	0,08
5	$y = 175,89 + 8,62x$	0,91**	0,11	0,05

** - significativo a 1% de probabilidade.

Pelos valores obtidos podemos observar que os solos 2, 4 e 1 possuem maior capacidade máxima de adsorção (b) e de energia de adsorção (K), sendo que também apresentam os maiores índices de fixação.

Para os solos 3 e 5, pequenas capacidades máximas de adsorção e energia de adsorção mais baixos do que os

Figura 2 - Isotermas de Langmuir de adsorção de fosfatos.



outros solos, correspondendo esses valores a baixa capacidade de fixação, conforme se verificou no item 4.1.

Da mesma forma com o que ocorreu com a capacidade de fixação de P, as características dos solos também influenciaram nas capacidades máximas de adsorção (b) e nas constantes de energia de adsorção (K). Assim aos solos 1, 2 e 4, com maiores teores de argila e de C orgânico, corresponderam maiores índices de b e K. Por outro lado, os solos 3 e 5, de textura arenosa, apresentaram-se com conteúdos mais baixos.

Os coeficientes de correlação linear (r) obtidos entre os valores da concentração de P (ppm) em equilíbrio ou fósforo sobrenadante (c) dividido pelo P adsorvido (x)/g solo (m), representado pela expressão $c/x/m$ e os valores da concentração de P (ppm) da solução em equilíbrio ou fósforo sobrenadante (c), ver Tabelas 10, 11, 12, 13 e 14; verificados pelo teste t (PIMENTEL GOMES, 1963), foram altamente significativos, indicando que os dados expostos na Tabela 10 ajustam-se muito bem a isoterma de Langmuir.

SÁ JR. et al. (1968), os quais estudando a retenção de fósforo em 17 solos da Zona da Mata de Pernambuco, constataram que nos solos com textura argilosa, a adsorção máxima de fósforo apresentou-se maior do que naqueles solos com textura arenosa.

FASSBENDER (1966), considerando os elementos do complexo coloidal do solo como responsáveis pela adsorção, encontrou que aumentando a quantidade de matéria orgânica, argila e óxidos hidratados, cresce a capacidade máxima de adsorção, ao estudar 3 solos de Costa Rica. Este autor também encontrou relação entre a constante de energia de adsorção (K) e o conteúdo de matéria orgânica do solo, fato este observado no solo 2 cujo conteúdo em matéria orgânica é superior ao dos solos 1 e 4.

Os dados de adsorção máxima de correlacionam também com o fósforo extraído por métodos químicos conforme podemos observar abaixo ou na Tabela 9.

Métodos	North Carolina	I.A.C. 1:20	I.A.C. 1:10	Olsen	Bray-1	Bray-2	^{32}P
Adsorção máxima	0,94*	0,95*	0,92*	0,98**	0,91*	0,89*	0,97**

* - significativo a 5% pelo teste t

** - significativo a 1% pelo teste t

4.3. Valor "E" dos solos

A Tabela 16 contém os valores "E" dos solos, medidos pela técnica do ^{32}P com carregador.

TABELA 16 - Valor "E" dos solos.

Solo	Valor "E" (ppm de P)	P ₂ O ₅ kg/ha	P kg/ha
1	8,57	41,21	18,00
2	7,82	37,60	16,42
3	3,79	18,22	7,96
4	9,85	47,37	20,68
5	3,97	18,07	8,33

Base de 2,100 ton/ha de solo.

Os solos 1 (Laterítico Brumo Avermelhado, similar à Terra Roxa Estruturada), 2 (Planossolo) e 4 (Latosolo Roxo), de maior poder de retenção de fosfato, apresentaram também os mais elevados valores "E" ou de fósforo lábil, considerada como prontamente disponível às plantas.

Os solos 3 e 5 (Podzólicos), com menor retenção de fosfato, acusaram menores valores de fósforo disponível ou "E".

AMER et al. (1969), recomendam esta metodologia como apropriada para solos cujo teor em Ca seja elevado e baixo em fosfato, e para solos ácidos e com baixa capacidade de fixação, pois são menos passíveis de erros podendo fornecer valores satisfatórios de fósforo lábil para aqueles tipos de solos.

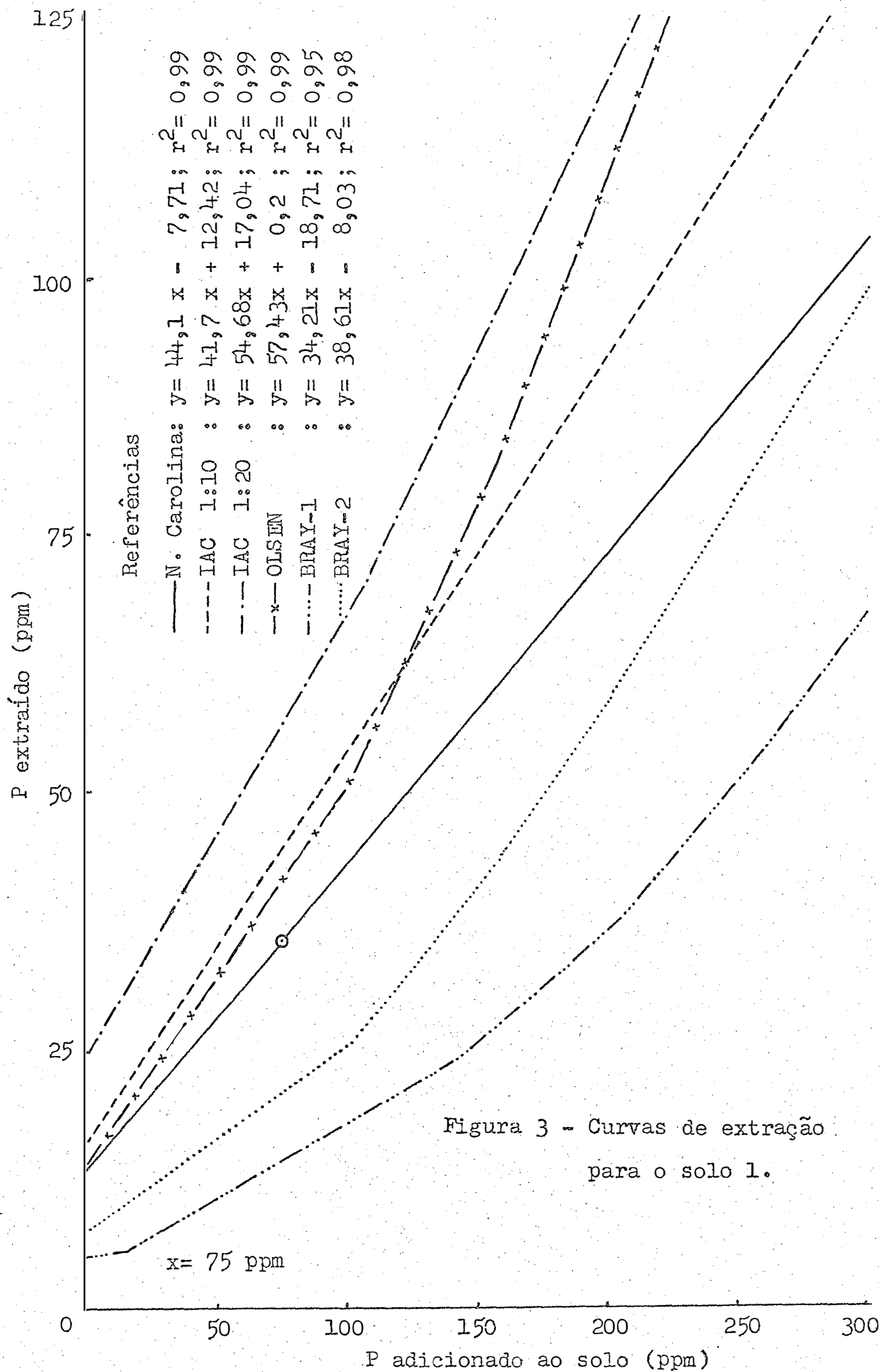
Porém, acrescentam os mesmos autores, que a dificuldade em se obter valores satisfatórios de fosfato disponível em solos com elevada capacidade de fixação, continua sendo um problema a ser resolvido.

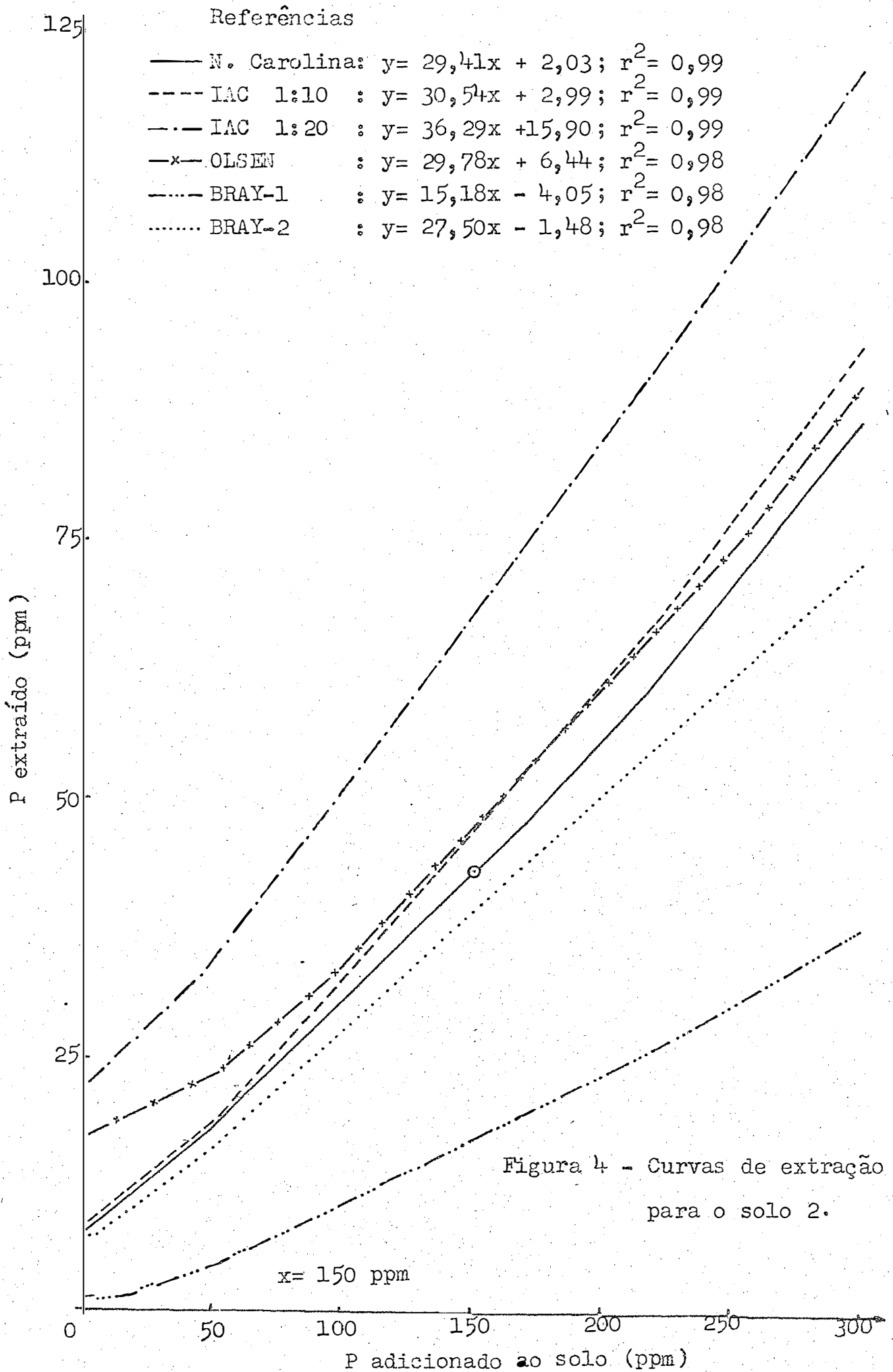
Os resultados obtidos concordam de uma maneira geral com as citações de THOMPSON (1966), nas quais as quantidades de fosfato disponível às plantas expressas como fósforo elementar, variam entre 5,5 e 22 kg/ha, sendo 11 kg P/ha um valor médio muito frequente.

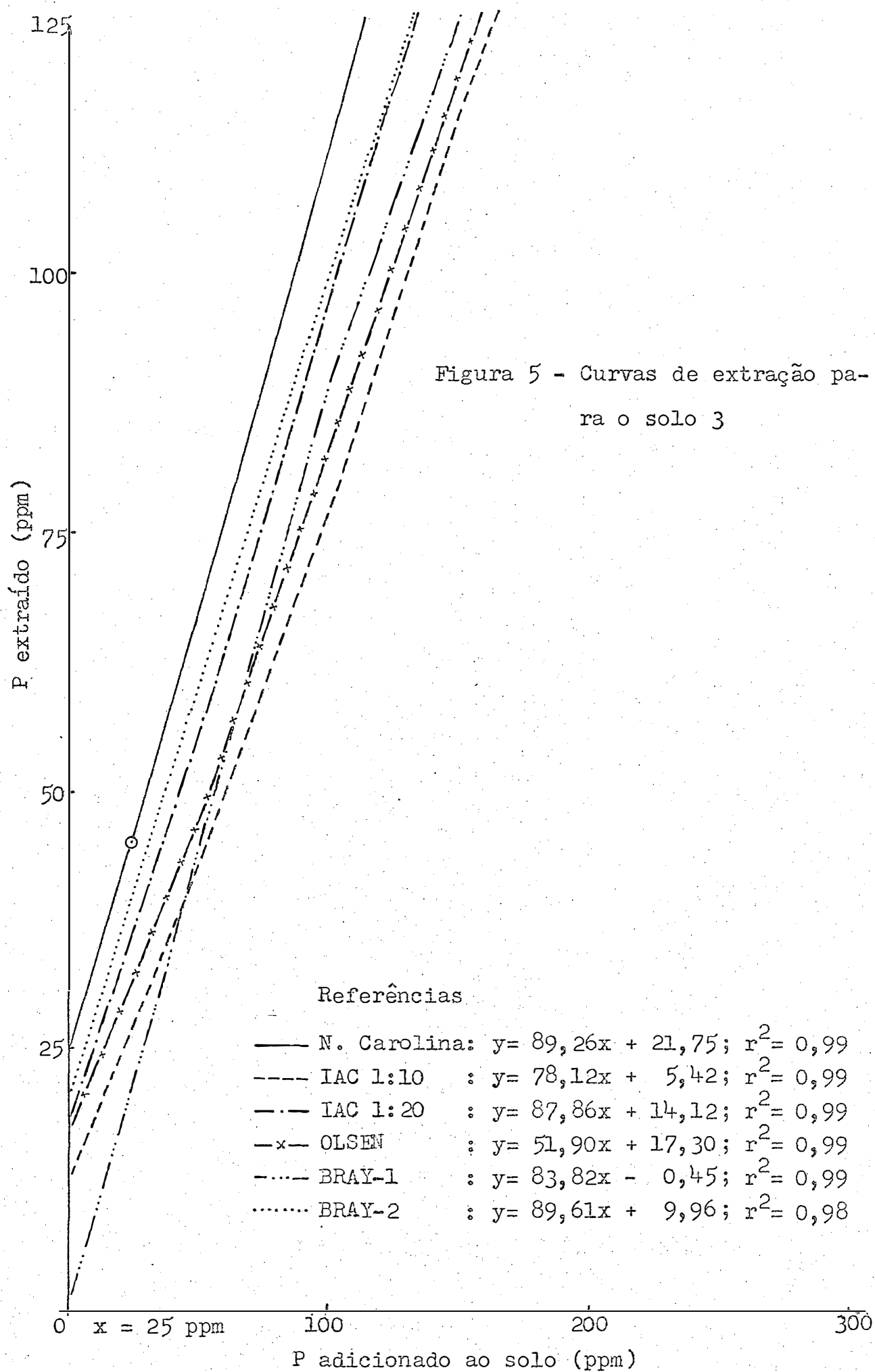
4.4. Valor "X" dos solos

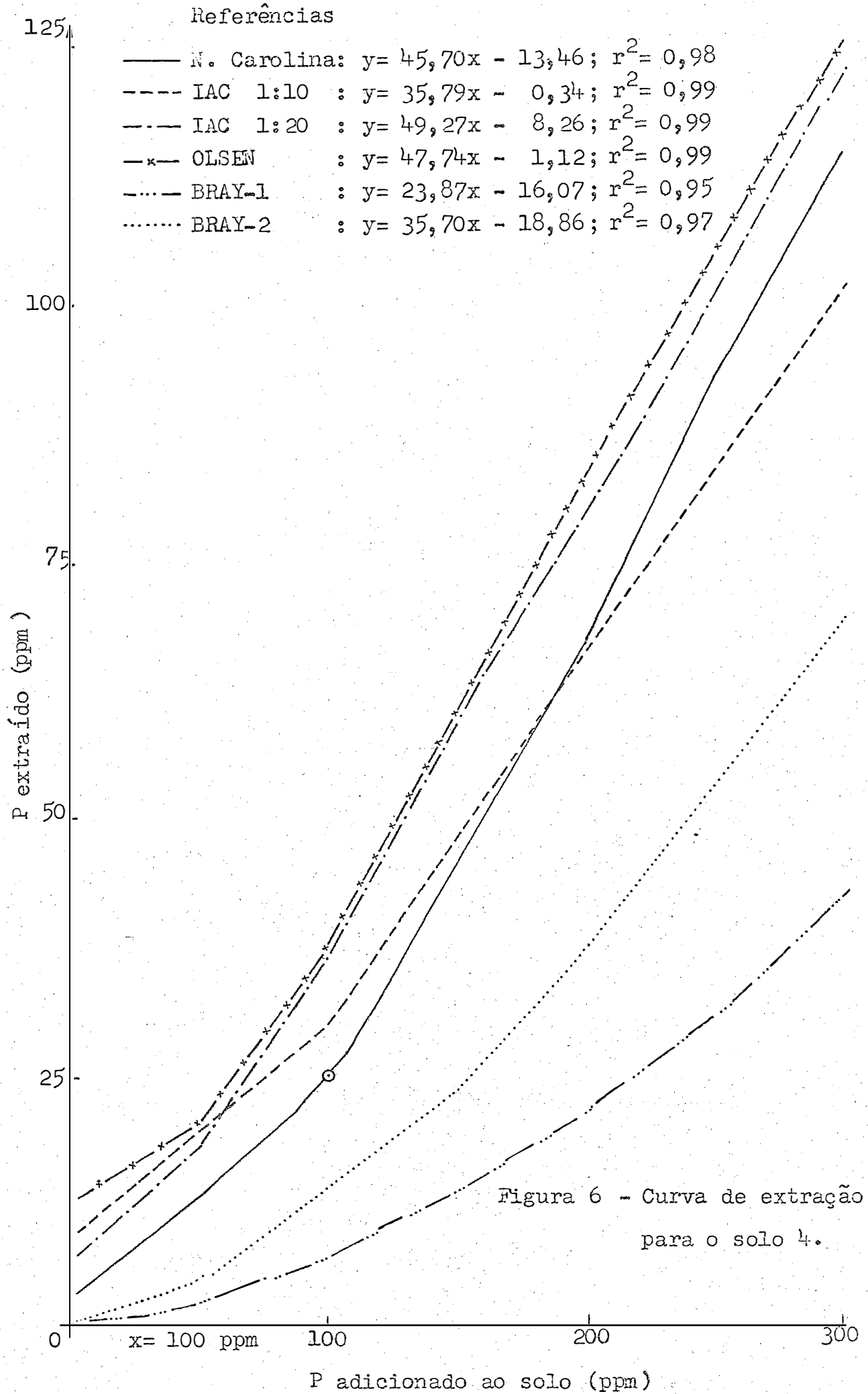
Os extratores utilizados no ensaio de incubação com doses crescentes de P apresentaram comportamentos diferentes quando utilizados em solos argilosos (solos 1, 2 e 4) ou com elevado poder de fixação, enquanto que, para os arenosos (solos 3 e 5) e com baixo poder de retenção de fosfato, o comportamento dos extratores foi pouco variável, conforme podemos observar nas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7. Devendo-se, portanto, indicar para cada extrator um critério de escolha do seu valor "X" apropriado a cada tipo de solo, principalmente, naqueles onde a fixação do elemento em estudo é alta.

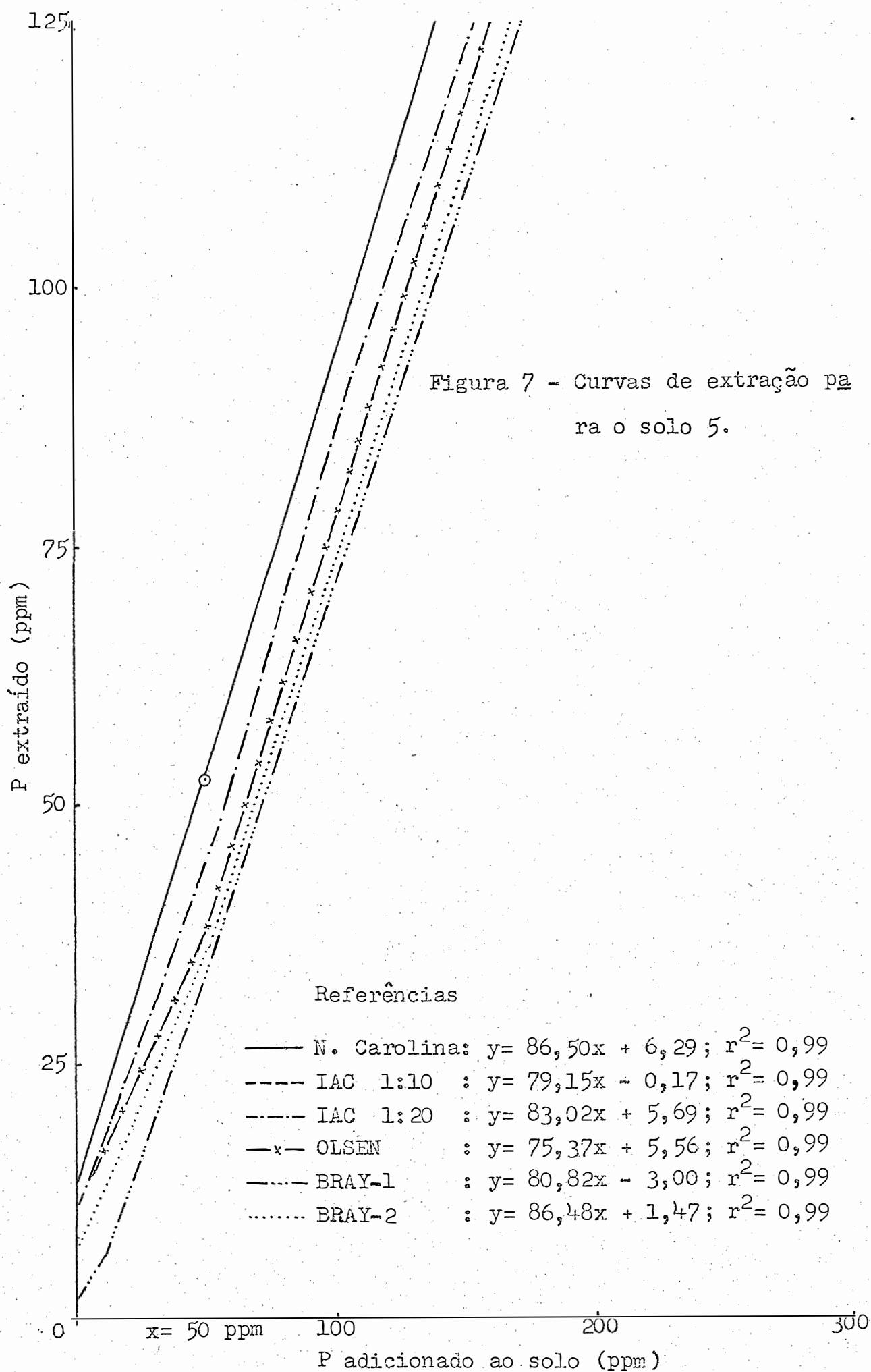
Os resultados de extração de fósforo pelo método de North Carolina após os solos serem postos em contato e incubados com as doses crescentes desse elemento, estão representados na Figura 8.











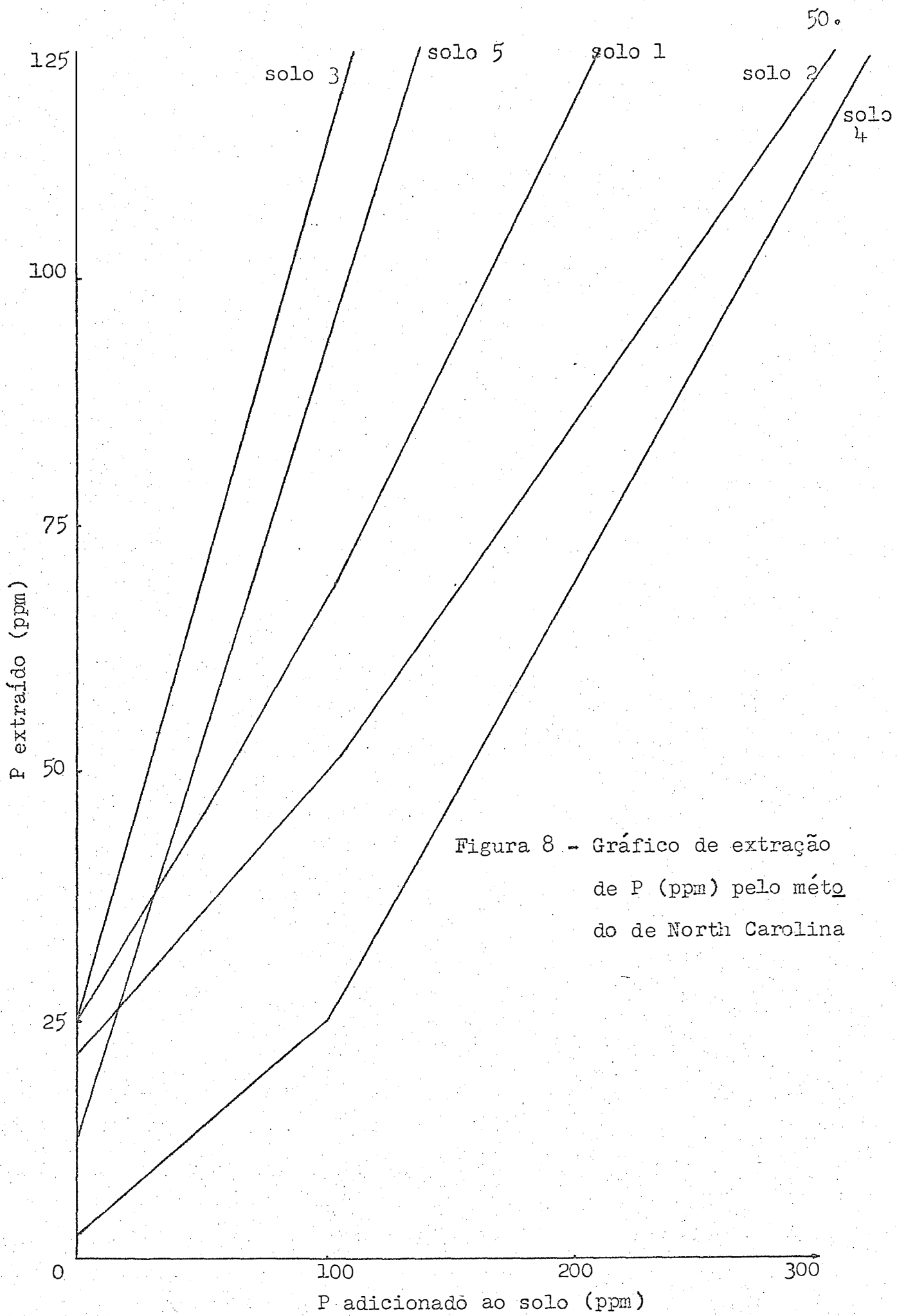


Figura 8 - Gráfico de extração de P (ppm) pelo método de North Carolina

Os valores "X" selecionados para a realização do ensaio em vasos e representado na Tabela 17 são os seguintes.

TABELA 17 - Valores "X" para os diferentes solos.

Solo	Valor "X" (ppm P)
1	75
2	150
3	25
4	100
5	50

Como as curvas mostraram-se crescentes apesar das altas doses de P adicionados, os valores de "X" foram selecionados próximos ao ponto inicial da curva, para os solos 1, 2, 3 e 5. Para o solo 4, que mostrou desvio de direção na dose 100 ppm de P foi escolhido esse ponto como valor correspondente a "X".

4.5. Nível crítico

O comportamento da planta em relação às quantidades de P correspondentes ao valor "X", adicionados aos solos pode ser observado na Tabela 18. Verificando os valores do quadro nota-se que a produção de matéria seca das plantas foi muito pequena no tratamento em que o fósforo foi omitido.

TABELA 18 - Produção da planta (g de matéria seca/vaso) em função da quantidade de P aplicado, em base ao valor "X".

Solo	Valor X ppm P	P aplicado em doses do valor "X"					
		0	1/2	1	2	3	4
1	75	5,86	23,50	30,16	32,43	36,00	37,10
2	150	11,86	40,00	40,20	38,56	39,43	43,00
3	25	12,16	20,00	28,10	32,20	34,43	36,73
4	100	1,00	23,50	35,26	36,00	36,70	38,33
5	50	4,66	26,00	33,60	39,16	40,10	41,66

Na Figura 4, onde foi determinada a produção relativa para cada valor de "X" adicionado, podemos ver que, no solo 2 com a aplicação de fosfato na quantidade equivalente a 1/2 "X", já se observa que a produção alcança um valor máximo, indicando que o valor "X" selecionado foi superestimado.

Entretanto, nos outros solos a tendência de um crescimento contínuo e acentuado, observa-se até a dose de 1 "X", aumentando ainda com as doses adicionais, porém, de uma maneira muito pequena, indicando que a escolha desse valor foi mais acertada.

Para os solos 1 e 5 o valor "X" selecionado foi apropriado. Já para os solos 2 e 4, possivelmente, estes valores deverão estar entre 1/2 e 1. Para o solo 3 a quanti-

dade ideal estaria em torno de 2 "X" ou seja de 50 ppm.

Os valores de "X" determinados para os solos 1, 3, 4 e 5 mostram-se adequados pois a produção relativa obtida com os mesmos foi próxima ou superior a 80% do melhor tratamento.

A aplicação da produção relativa para cada nível de "X" adicionado, mostra o mesmo comportamento do observado com a produção de matéria seca.

Talvez este sistema, tomando as divisões do valor "X" de uma melhor indicação deste valor que quando se toma a produção de matéria seca.

Na Figura 9 estão inseridos os valores de produção relativa (%), obtidos nas diferentes quantidades de P aplicado, baseados no valor "X" de cada solo.

Com os dados disponíveis foram calculados a produção relativa, de acordo com a técnica recomendada por Cate & Nelson (1965).

$$P.R.\% = \frac{\text{Produção sem P (testemunha)}}{\text{Produção com P adequado}} \times 100.$$

Os valores de produção relativa obtidos para os diversos solos em estudo, estão contidos na Tabela 19.

Figura 9 - Produção relativa dos diferentes solos em relação aos valores "X" aplicados ao solo.

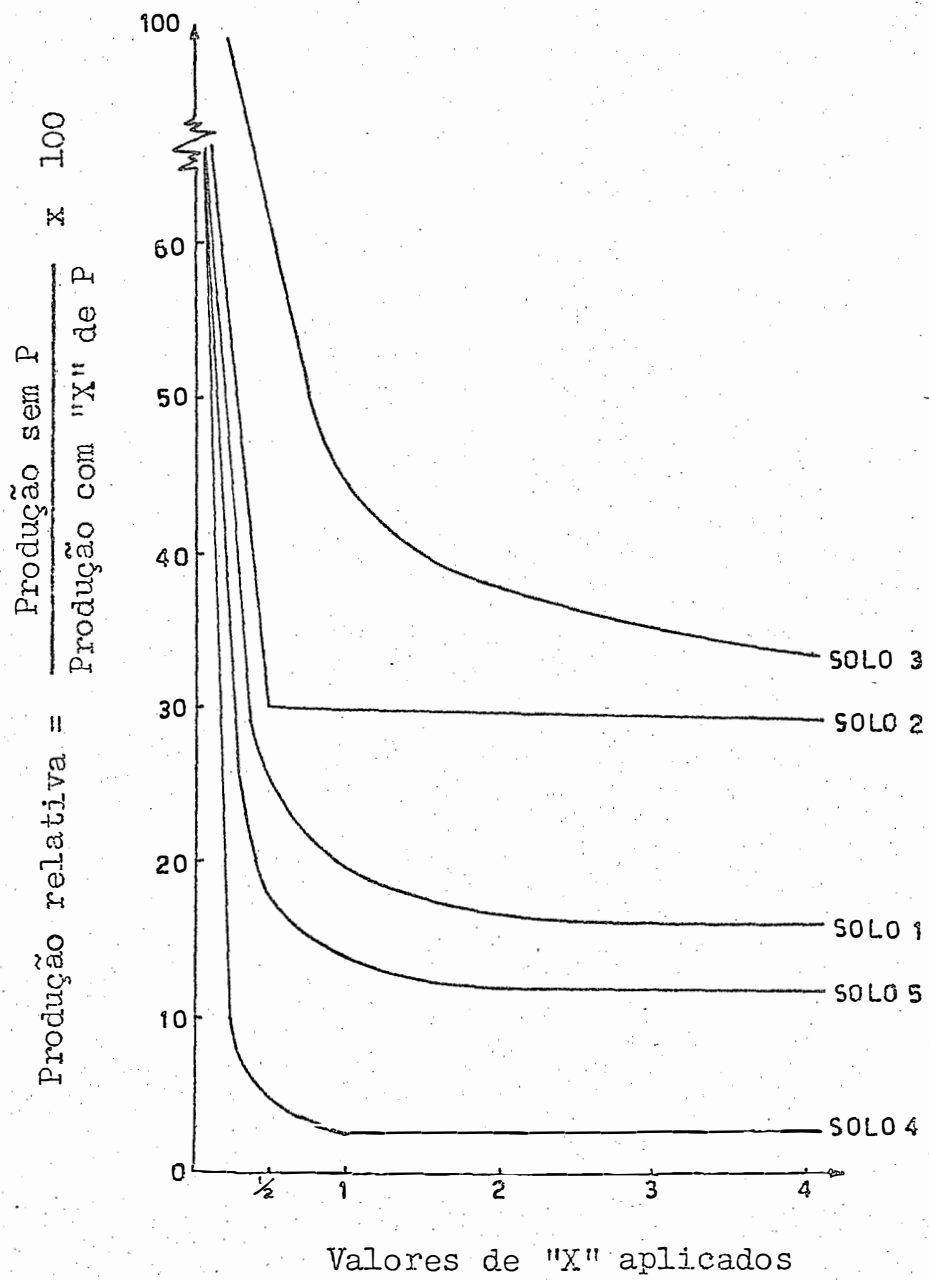


TABELA 19 - Produção relativa (%) dos solos estudados.

Solo	Produção sem P (g)	Produção adequada (g)	Produção relativa (%)
1	5,86	37,10	15,80
2	11,86	43,00	27,58
3	12,16	36,73	33,10
4	1,00	38,33	2,61
5	4,66	41,66	11,18

A determinação do nível crítico usando a produção relativa e os resultados de análise dos solos é o objetivo principal da metodologia utilizada pelos autores citados.

A Tabela 20 apresenta os dados de produção relativa e os resultados de análise dos solos em P, pelos diferentes métodos.

TABELA 20 - Produção relativa (%) e P (ppm) obtido com os diferentes métodos de extração (média de 3 repetições).

Solo	P.R. %	P disponível (ppm)					
		N.C.	I.A.C. 1:10	I.A.C. 1:20	Olsen	Bray-1	Bray-2
1	15,80	13,68	16,32	25,16	14,58	4,60	8,00
2	27,58	8,55	8,38	22,68	17,54	1,91	7,11
3	33,10	25,51	13,05	18,45	20,02	3,54	20,70
4	2,61	3,83	10,65	7,48	13,44	1,05	0,85
5	11,18	13,95	7,20	2,60	13,95	4,43	9,27

Com os dados disponíveis foi confeccionada a Figura 10 para determinação do nível "crítico" de análise de solo, usando a produção relativa no eixo das ordenadas e o teor de P no solo no eixo das abcissas.

Os extratores de fósforo disponível de acordo aos valores dos níveis críticos de fósforo calculados para os 5 solos são representados na Tabela 21.

TABELA 21 - Valores dos níveis críticos de análise de solo para os extratores químicos testados.

Método	Nível crítico ppm P
North Carolina	16
IAC 1:10	18
IAC 1:20	16
Olsen	16
Bray-1	6
Bray-2	10

Para os métodos de Bray-1; Bray-2, North Carolina e Olsen, diversos autores também encontraram resultados de níveis críticos semelhantes (CATE e NELSON, 1965; FONSECA et al., 1968).

Para o método do IAC VERDADE et al. (1966), delimitaram para o método de extração com H_2SO_4 0,05 os níveis de 6,4-7,2 ppm em solos arenosos e 17,5 ppm para solos argilosos.

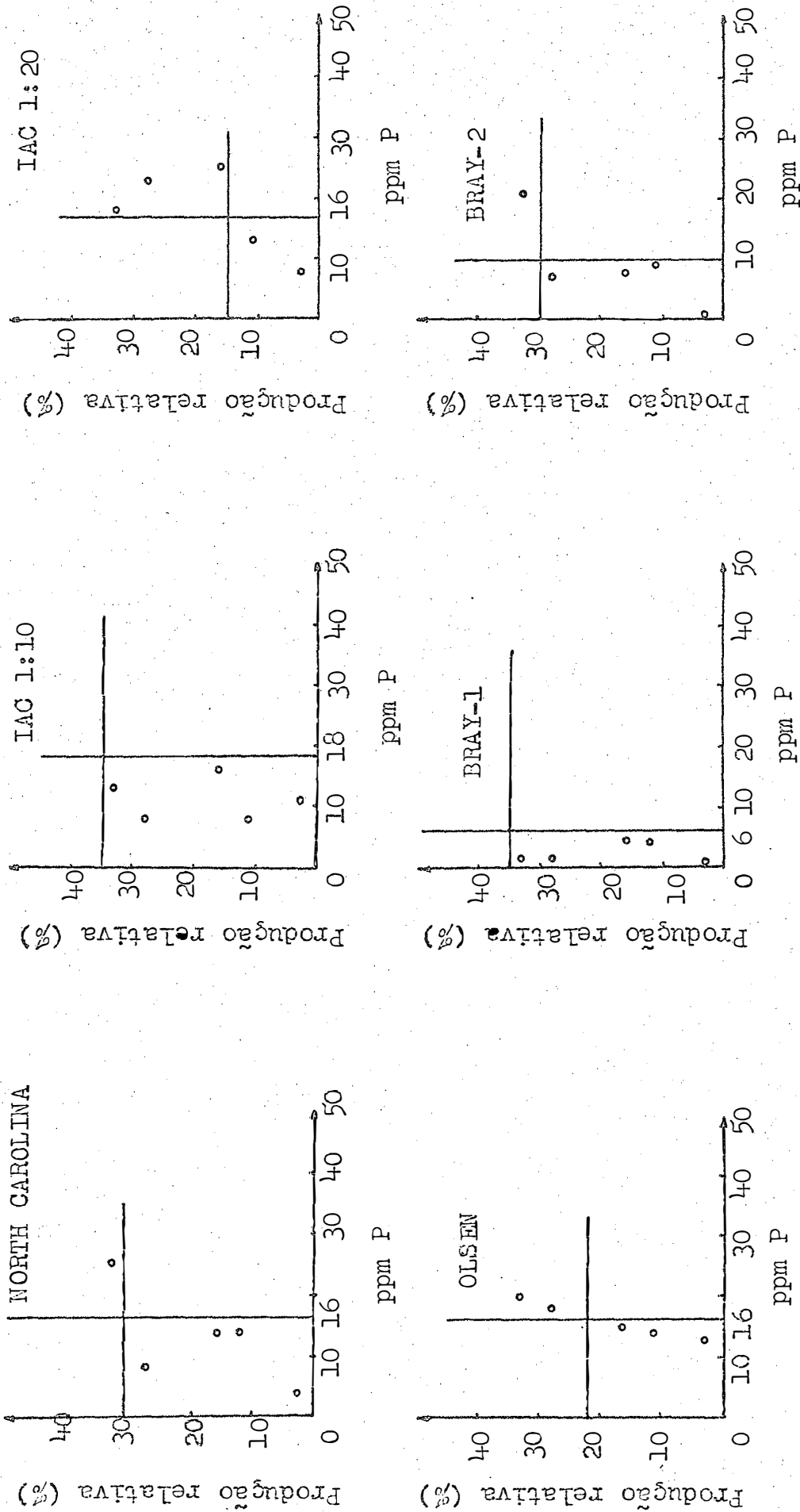


Figura 10 - Nível crítico de P dos solos, em função dos diferentes métodos.

Pelos resultados observados na Tabela 21 e Figura 10 respectivamente, onde o nível crítico de análise de solo para cada extrator é definido de tal forma que nos fornece uma boa fonte de informação para efeitos de precisão, mesmo que as figuras não indiquem quantitativamente recomendações de adubação mas sim uma interpretação agrônômica e biológica, eles permitem a seguinte afirmativa: "em solos com valores de fósforo abaixo do nível crítico a probabilidade de se obter resultados econômicos com a adubação é elevada, enquanto que para solos que tenham um valor acima do nível "crítico", existe apenas uma pequena possibilidade de se obter um resultado compensador de produção pela adição do elemento". (HUNTER & FITTS, 1969).

4.6. Produção vegetal e fósforo disponível

Os coeficientes de correlação entre a produção de material vegetal do tratamento 0 (zero) de P, e as quantidades desse elemento, obtido pelos diferentes extratores químicos em estudo, estão na Tabela 22.

O método de Olsen foi o melhor no teste biológico quando comparados pelos outros métodos, estando de acordo com as inúmeras observações feitas neste sentido.

Assim, BINGHAM (1962), cita que a solução de NaHCO_3 0,5M ajustada a pH 8,5 deu a melhor correlação com a

produção vegetal utilizando 17 tipos de solos; BOYD (1965), encontrou que o método de Olsen resultou ser melhor quando comparado aos outros métodos também utilizados; OLSEN & DEAN (1965), afirmou que o melhor comportamento desta solução é para solos contendo fosfato de cálcio já que este extrator ao precipitar o Ca sob a forma de CaCO_3 diminui a concentração de Ca na solução; porém, também resultou ser melhor para outros tipos de solos, tais como, solos ácidos contendo fósforo sob as formas de fosfatos de ferro e alumínio, pois as precipitações secundárias são reduzidas ao mínimo, permanecendo a concentração de Al e Fe num baixo nível neste extrator.

TABELA 22 - Coeficientes de correlação (*) entre a produção vegetal do tratamento testemunha (O-P), fósforo disponível obtido pelos métodos em estudo e entre estes.

	Bray-2	Bray-1	Olsen	I.A.C 1:20	I.A.C. 1:10	North Carolina
Matéria seca						
Tratamento O-P	0,57	0,73	0,93	0,66	0,04	0,61
North Carolina	0,98	0,97	0,97	0,35	0,34	
IAC 1:10	0,24	0,37	0,13	0,48		
IAC 1:20	0,35	0,22	0,45			
Olsen	0,92	0,95				
Bray-1	0,96					

(*) - significativo a 1% : 0,96

" " 5% : 0,88

COOKE (1967), cita a comparação de vários métodos de determinações de fósforo solúvel com resposta a produção vegetal e super fosfato com experimentos de campo, afirmando ser o método de Olsen o mais eficiente.

BALERDI et al. (1968) recomendaram o método de Olsen nos trabalhos de calibração de métodos nos países centroamericanos, após terem estudado 5 diferentes métodos em 104 solos confrontando-os com produção vegetal.

Ainda pelos resultados das correlações da Tabela 22 podemos observar que existe significância entre os métodos de North Carolina e Bray-2 (0,98), North Carolina e Bray-1 (0,97), North Carolina e Olsen (0,97), Bray-1 e Bray-2 (0,96); Olsen e Bray-1 (0,95); Olsen e Bray-2 (0,92).

Estes dados estão de acordo com os trabalhos de CHANG e JUO (1963), que também encontraram ao determinar o P solúvel em 26 solos, correlações significativas ao nível de 1 e 5% entre os métodos de North Carolina e Bray-2, Bray-1 e Bray-2, Olsen e Bray-1 e Olsen e Bray-2.

DAZA e MULLER (1965) encontraram ser altamente significativo o valor de (r) entre os métodos de Olsen e Bray-1.

BALERDI et al. (1968), comparando 5 métodos químicos de análise de fósforo em 104 solos da América Cen -

tral também encontraram correlações altamente significativas entre os métodos de Bray-1 e North Carolina, Bray-1 e Olsen , e North Carolina e Olsen.

5. CONCLUSÕES

No estudo sobre o fósforo em amostras superficiais de cinco diferentes solos de Paraguay, as principais conclusões foram:

1. Os solos de Arroyos y Esteros (Planossolo), Capitan Miranda (Solo Laterítico Brumo Avermelhado; similar à Terra Roxa Estruturada) e de Puerto Presidente Stroessner (Latossolo Roxo), apresentaram uma maior capacidade de fixação de fósforo do que os solos Podzólicos Vermelho Amarelo, provenientes de Caacupé e Coronel Oviedo.
2. A maior capacidade de fixação dos solos esteve relacionada com o conteúdo de argila.
3. As capacidades máximas de adsorção dos solos foram na ordem decrescente dos seus valores: Planossolo > Latossolo Roxo > Podzólico Vermelho Amarelo, sendo que, os dados se correlacionaram bem com as percentagens de fixação de P.
4. Os solos: Latossolo Roxo, o Laterítico Brumo Avermelhado (similar à Terra Roxa Estruturada) e Planossolo apresentaram os maiores valores "E".

5. Os níveis críticos de P para todos os solos estudados de acordo com os diferentes extratores de P solúvel, foram os seguintes:

Métodos	ppm P
North Carolina	16
IAC 1:10	18
IAC 1:20	16
OLSEN	16
BRAY-1	6
BRAY-2	10

6. No teste biológico o método de Olsen teve a melhor correlação com a produção vegetal.
7. Houve boas correlações na avaliação do fósforo nativo do solo entre os extratores de North Carolina e os de Bray-1, Bray-2 e Olsen; este último por sua vez, com os de Bray-1 e Bray-2.

6. RESUMO

Amostras superficiais de cinco solos provenientes do Paraguay, classificados ao nível de grande grupo, coletadas de diferentes regiões, foram estudadas tendo em vista a determinação da sua capacidade de fixação (Waugh & Fitts), capacidade de adsorção máxima (Olsen & Watanabe), avaliação do seu valor "E" ou fósforo isotopicamente trocável (Fried & Dean), e do "nível crítico" de fósforo pelo processo de Cate & Nelson. Realizou-se ensaios de incubação dos solos com quantidades crescentes de fósforo, de laboratório e de casas de vegetação, para a determinação do valor "X" e para determinar os níveis críticos de fósforo nos solos; foi utilizado o painço (Setaria italica, Beauv) como planta indicadora.

Foram utilizadas as seguintes soluções extratoras, de uso corrente nos laboratórios de análise de solo.

1. North Carolina
2. IAC 1:10
3. IAC 1:20
4. Olsen
5. Bray-1
6. Bray-2

No ensaio de fixação também foi utilizado o método do ^{32}P . As seguintes conclusões foram obtidas:

1. Os solos de Arroyos y Esteros (Planossolo), Capitan Miranda (Solo Laterítico Brumo Avermelhado; similar à Terra Roxa Estruturada) e de Puerto Presidente Stroessner (Latossolo Roxo), apresentaram uma maior capacidade de fixação de fosfato do que os solos Podzólicos Vermelho Amarelo, provenientes de Caacupé e Coronel Oviedo.
2. A maior capacidade de fixação dos solos esteve relacionada com o conteúdo de argila.
3. As capacidades máximas de adsorção dos solos foram na ordem decrescente dos seus valores: Planossolo > Latossolo Roxo > Podzólico Vermelho Amarelo, sendo que, os dados se correlacionaram bem com as percentagens de fixação de P.
4. Os solos: Latossolo Roxo, o Laterítico Brumo Avermelhado (similar à Terra Roxa Estruturada) e Planossolo apresentaram os maiores valores "E".
5. Os níveis críticos de P para todos os solos estudados de acordo com os diferentes extratores de P solúvel, foram os seguintes:

Métodos	ppm P
North Carolina	16
IAC 1:10	18
IAC 1:20	16
OLSEN	16
BRAY-1	6
BRAY-2	10

6. No teste biológico o método de Olsen teve a melhor correlação com a produção vegetal.
7. Houve boas correlações na avaliação do fósforo nativo do solo entre os extratores de North Carolina e os de Bray-1, Bray-2 e Olsen; este último por sua vez, com os de Bray-1 e Bray-2.

7. SUMMARY

Surface samples from five Paraguayan soil Great Groups collected from different regions, were studied to determine their fixation capacity (Waugh and Fitts), maximum adsorption capacity (Olsen and Watanabe), "E" value or isotopically exchangeable phosphorus (Fried and Dean) and the phosphorus critical level (Cate and Nelson). The soil samples were incubated with varying doses of phosphorus for the laboratory testes. A green-house experiment was conducted using Setaria italica, Beauw as the test plant to determine the "X" value and the critical levels of phosphorus in the soil.

The following solutions were used as extractors:

1. North Carolina
2. IAC 1:10
3. IAC 1:20
4. Olsen
5. Bray-1
6. Bray-2

In the fixation experiment the ^{32}P method was also employed.

The following conclusions were obtained:

1. Arroyos and Esteros (Planosol), Capitan Miranda (Reddish Brown Lateritic, similar to "Terra Roxa Estruturada") and Puerto Presidente Stroessner ("Roxo Latosol") were the soils showing higher fixation capacity than the Red-Yellow Podzolic sampled at Caacupé and Coronel Oviedo.
2. Soil fixation capacity was related to clay content.
3. The adsorption capacity of the soils studied were as follows: Planosol > "Roxo" Latosol > Red-Yellow Podzolic. A good correlations was obtained between that and the percentage of phosphorus fixed.
4. The highest "E" values were obtained for Latosol Roxo, Reddish-Brown Lateritic and the Planosol.
5. The critical levels of P of the soils studied for the various extractors used were as follows:

Method	P (ppm)
North Carolina	16
IAC 1:10	18
IAC 1:20	16
Olsen	16
Bray-1	6
Bray-2	10

6. The best correlation between the biological test and yield was obtained with the Olsen method.

7. Good correlations were obtained in the determination of soil phosphorus between the North Carolina and the Bray-1, Bray-2 and Olsen extracting solutions; the latter with Bray-1 and Bray-2.

8. LITERATURA CITADA

1. AHENKORAH, Y. 1968. Phosphorus-retention capacities of some cocoa growing soils in Ghana and their relationships with soil properties. Soil Science 105 (1): 24-30.
2. AMER, F. 1962. Determination of P^{32} exchangeable phosphorus in soils. In: Radioisotopes in Soil-Plant Nutrition Studies. Proc. symposium on the use of radioisotopes in soil-plant nutrition studies. IAEA-FAO, Bombay p. 43-58.
3. AMER, F., MAHDI, S., ALRADI, A. 1969. Limitations in isotopic measurements of labile phosphate in soils. The Journal of Soil Science 20(1): 91-100.
4. ANASTÁCIO, M.L.A. 1968. Fixação de fósforo nos solos Brasileiros. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Boletim Técnico nº 4. Rio de Janeiro. 14 p.
5. ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos) 1971. Manual de Adubação. Ed. Ave Maria. São Paulo. 264 p.

6. BALERDI, F., MULLER, L., FASSBENDER, H.W. 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central. III. Comparación de cinco métodos químicos de análisis de fósforo desponible. Turrialba 18(4): 348-361.
7. BERTONI, H., ARTECONA, R.C., MARICEVICH, J., PANIAGUA, S., ORTEGA, S. 1970. Tres años de ensayos con variedades de trigo en el Paraguay. Bol. nº 1. Ministerio de Agricultura y Ganaderia. Asunción. 24p.
8. BINGHAM, F.T. 1962. Chemical soil tests for available phosphorus. Soil Science 94(2): 87-95.
9. BOYD, D.A. 1965. The relationship between crop response and the determination of soil phosphorus by chemical methods. II. Tec. Bull. Minist. Agric. Fish, nº 13, Soil Phosphorus. p. 94-102. London H.M.S.O.
10. BUCKMAN, H.O., BRADY, N.C. 1968. Natureza e propriedades dos solos. Trad. Antonio B. Neiva Figueiredo Filho. 2ª Edição. Rio de Janeiro. Livr. Freitas Bastos. 594 p.
11. CABALA-ROSAND, P. 1972. A disponibilidade de fósforo e o uso de extratores químicos no Brasil. VII. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo. Centro de Pesquisas de Cacau.

12. CATANI, R.A.; GALLO, J.R.; GARGANTINI, H. 1955. Amostragem de solo, métodos de análise, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Boletim do Instituto Agrônomo de Campinas (69): 1-29. São Paulo.
13. CATANI, R.A.; PELLEGRINO, D. 1957. A fixação do fósforo em alguns solos do Estado de São Paulo, estudada com o auxílio do fósforo radioativo P^{32} . Revista de Agricultura, Piracicaba 32: 237-252.
14. CATANI, R.A. e PELLEGRINO, D. 1960. Avaliação da capacidade de fixação de fósforo pelo solo. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba 17: 19-28.
15. CATANI, R.A., PEREZ, J.T., GLORIA, N.A. e BERGAMIN FILHO, H. 1963. O uso de radioisótopos no estudo de química e de fertilidade do solo. Curso Latino-americano de Energia Nuclear Aplicada a Agricultura ESALQ, Piracicaba.
16. GATE, R.B. e NELSON, L.A. 1965. Um método rápido para correlação de análise de solo com ensaios de adubação. International Soil Testing. Boletim Técnico nº 1. 24 p.
17. CHANG, S.C. and JUO, S.R. 1963. Available phosphorus in relation to forms of phosphates in soils. Soil Science 95(2): 91-96.

18. COOKE, G.W. 1967. The control of soil fertility. Grosby Lockwood & Son Ltd. London. 526 p.
19. DAZA, B.J., MULLER, L.E. 1965. Comparación de cinco métodos químicos para la determinación de fósforo aprovechable en algunos suelos tropicales. Turrialba 15(3): 249-251.
20. DEAN, L.A. 1949. Fixation of soil phosphorus. In Advances in Agronomy, New York, Editado por A.G. Norman Academic Press 1: 391-409.
21. FAO. 1964. Report on the soils of Paraguay. 2ª ed. Roma. 50 p.
22. FASSBENDER, H.W. 1966. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. Fitotecnia Latinoamericana 3(1-2): 203-216.
23. FASSBENDER, H.W. e IGUE, K. 1967. Comparación de métodos radiométricos y colorimétricos en estudios sobre retención y transformación de fosfatos en suelo. Turrialba 17(3): 284-287.
24. FASSBENDER, H.W. 1969.a Retención y transformación de fosfatos en ocho latosoles de la Amazonia del Brasil. Fitotecnia Latinoamericana 6(1): 1-10.
25. FASSBENDER, H.W. 1969.b Estudio del fósforo en suelos de América Central. IV Capacidade de fijación de fósforo y su relación con características edáficas. Turrialba 19(4): 497-505.

26. FRIED, M. 1964. "E", "L" and "L" values. 8th Intern. Congress of Soil Science, Bucharest, Romania 29-39.
27. FONSECA, R., DIAS, A.C., PINHO, A., PIRES, E., MIRANDA, L., CABALA, P. e SANTANA, C. 1968. Correlações dos teores de fósforo nos solos com respostas de mi-cro-parcelas de milho, na zona cacauera da Bahia. Pesquisa Agropecuária Brasileira 3: 235-242.
28. GLORIA, N. DA, CATANI, R.A., MATUO, T. 1965. Método do EDTA na determinação do cálcio e magnésio "trocá-vel" no solo. Rev. Agric. Piracicaba, 40: 67-74.
29. GOMES PIMENTEL, F. 1963. Curso de Estatística Expe-riental. 2ª edição E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP Piracicaba (SP). 384 p.
30. HASEMAN, J.F., BROWN, E.H. and WHITT, C.D. 1950. Some reactions of phosphate with clays and hydrous oxides of iron and aluminum. Soil Sci. 70: 257-271.
31. HEMWALL, J.B. 1957. The fixation of phosphorus by soils. In: Advances in Agronomy. New York. Edita-do por A.G. Norman. Academic Press 9: 95-112.
32. HSU, P.H. 1965. Fixation of phosphate by aluminum and iron in acid soils. Soil Science 99(6): 398-402.
33. HUNTER, A.H. e FITTS, J.W. 1969. Estudos de inter-pretação de teste de solo: ensaios de campo. Inter-national Soil Fertility Evaluation & Improvement Program. Boletim Técnico nº 5. 42 p.

34. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). 1964. Laboratory Training Manual on the use of Isotopes and Radiation in Soil Plant Relation Research. Technical Reports Series nº 29. Vienna.
35. JACKSON, M.L. 1964. Análisis químico de suelos. Trad. José Beltran Martinez. 1ª ed. Barcelona E. Omega. 662 p.
36. JACKSON, M.L., TYLER, B.A., NILLES, A.L., BOURBEAU, G.A. e PENNINGTON, R.P. 1965. Soil Chemical analysis Advanced Course. Univ. of Wisconsin. Madison, Wisc. USA. 991 p. (mimeogr.).
37. JOHN, M.K. 1970. Colorimetric determination of phosphorus in soil and plant materials with ascorbic acid. Soil Science 109(4): 214-220.
38. KILMER, V.J., ALEXANDER, L.T. 1949. Method of making mechanical analysis of soils. Soil Science 68: 15-26.
39. KURTZ, L.T. 1953. Inorganic phosphorus in acid and neutral soils. In: Soil and Fertilizer Phosphorus in Crops Nutrition. Ed. Pierce, N.H. Norman, A.G. New York, Academic Press Inc. 59-88.
40. LARSEN, S. 1967. Soil phosphorus. In Advances in Agronomy. New York. Editado por A.G. Norman. Academic Press. 19: 151-210.

41. MARQUES, R.B.H. 1961. Determinação colorimétrica do fósforo total em solos pelo método de redução com o ácido ascórbico a frio. Bol. nº 61. Instituto de Química Agrícola, Rio de Janeiro. 31 p.
42. MC AULIFFE, C.D., HALL, N.S., DEAN, L.A., HENDRICKS, S. B. 1947. Exchange reactions between phosphates and soils: Hydroxylic surfaces of soil minerals. Soil Sci. Am. Proc. 12: 119-123.
43. MELLO, F.A.F. 1968. Capacidade de fixação de fosfato de alguns solos do Município de Piracicaba (Nota Prévia). Rev. Agric. 63: 23-28.
44. MELLO, F.A.F. 1970.a Um método para avaliar a capacidade de fixação de fosfato pelo solo empregando o $^{15}\text{P}^{32}$. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba 27: 347-352.
45. MELLO, F.A.F. 1970.b Determinação do nível crítico de fósforo do solo com auxílio do $^{15}\text{P}^{32}$ (Nota Prévia). Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba 27: 353-357.
46. OLSEN, S.R. 1953. Inorganic phosphorus in alkaline and calcareous soils. In: Soil and Fertilizer Phosphorus in Crop Nutrition. Ed. W.H. Pierce and A.G. Norman, New York, Academic Press Inc. 89-122.

47. OLSEN, S.R., WATANABE, F.S. 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21: 144-149.
48. OLSEN, S.R., DEAN, L.A. 1965. Phosphorus. In: Black, C.A. Editor. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin, U.S.A. p. 1035-1049.
49. PRATT, P.F. 1966. Curso Intensivo de Química do Solo. Trad. A. Nascimento e L. Vettori. Convênio MA/DPFS - USAID/BRASIL. 88 p.
50. SÁ JR., J.P.M., GOMES, I.F., VASCONCELLOS, A.L. DE. 1968. Retenção de fósforo em solos da Zona da Mata de Pernambuco. Pesquisa Agropecuária Brasileira 3: 183-188.
51. SARRUGE, J.R. 1971. Apontamentos de "Nutrição Mineral de Plantas". Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Piracicaba-ESALQ. 21 p.
52. SREE-RAMULU, V.S., PRATT, P.F. and PAGE, A.L. 1967. Phosphorus fixation by soils in relation to extractable iron oxides and mineralogical composition. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 3: 193-196.
53. SCOTT RUSSELL, RICKSON, J.B. e ADAMS, S.N. 1954. Isotopic equilibrium between phosphates in soil and their significance in the assessment of fertility by tracer methods. Journal of Soil Science 5: 85-105.

54. TALIBUDEEN, O. 1957. Isotopically exchangeable phosphorus in soils. Part II. Factors influencing the estimation of "labile" phosphorus. The Journal of Soil Science 8(1): 86-96.
55. THOMPSON, L.M. 1966. El suelo y su Fertilidad. Trad. Ricardo Clone Camprube. 3ª Edición Barcelona. Editorial Reverté S.A. 401 p.
56. TISDALE, S.L., NELSON, W.L. 1965. Soil Fertility and fertilizer. 2ª edição. The Mc Millan Co., New York. 430 p.
57. VERDADE, F.C. 1966. Níveis de fertilidade do solo para a cultura algodoeira. II. Correlação entre a produção e o teor de fósforo no solo. Bragantia 25(4): 41-55.
58. VETTORI, L. 1969. Métodos de análise de solo. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Rio de Janeiro. Ministério da Agricultura. Boletim Técnico nº 7. 24 p.
59. WATANABE, F.S. and OLSEN, S.R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO_3 extracts from soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29: 677-678.
60. WAUGH, D.L., FITTS, J.W. 1966. Estudios de interpretación de análisis de suelo. Laboratorio y macetas. North Carolina State University and International Soil Testing. Boletim Técnico nº 3. 33 p.

61. WOODRUFF, J.R. e KAMPRATH, E. 1965. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29: 148-150.
62. YUAN, T.L., ROBERTSON, W.K. and NELLER, J.R. 1960. Forms of newly fixed phosphorus in three acid sandy soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24: 447-450.