

MÉTODOS DE LABORATÓRIO NA AVALIAÇÃO DO FÓSFORO DISPONÍVEL
EM SOLOS DO ESTADO DO CEARÁ

POR

GEORGE RODRIGUES DA SILVA

Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia Agrícola e Edafologia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

FORTALEZA - CEARÁ

1978

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

A presente dissertação, elaborada pelo Engenheiro Agrônomo GEORGE RODRIGUES DA SILVA, sob o título "Métodos de Laboratório na Avaliação do Fósforo Disponível em Solos do Estado do Ceará" foi aprovada na forma dos artigos 98 e 99 das Normas para os Cursos de Pós-Graduação, Especialização e Aperfeiçoamento da Universidade Federal do Ceará.

Fortaleza, 14 de dezembro de 1978

Prof. Lindbergue Araújo Crisóstomo
-orientador-

Prof. Mardônio Aguiar Coêlho

Prof. José Ferreira Alves

Prof. Luiz Gonzaga Ferreira Rebouças

À minha mãe . BEATRIZ
Ao meu padrasto RAIMUNDO
À minha esposa FÁTIMA
À minha filha ADRIANA
Aos meus irmãos

D E D I C O

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrárias do Pará (FCAP) e ao Programa de Educação Agrícola Superior (PEAS), respectivamente, pela oportunidade e bolsa de estudo concedida para a realização de nosso Mestrado.

Ao Banco do Nordeste do Brasil, pelo auxílio financeiro.

Ao Profº Lindbergue Araújo Crisóstomo, pelo devido apoio, amizade e orientação que possibilitou a execução deste trabalho.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC), na pessoa do Profº Mardônio Aguiar Coelho, pelas facilidades facultadas à execução desta pesquisa, pela confiança, pelo apoio e atenção.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Agrícola e Edafologia da UFC, pelo incentivo e sugestões apresentadas.

Ao Profº José Higino Ribeiro dos Santos, pelos esclarecimentos prestados no planejamento da redação deste trabalho, bem como aos Professores José Ferreira Alves e Luiz Gonzaga Rebouças Ferreira, pelas sugestões apresentadas.

À Profa. Natalina Tuma da Ponte, pelo incentivo e amizade.

Aos colegas Professores do Departamento de Química da FCAP, pelo incentivo e sugestões apresentadas.

À SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO CEARÁ (SUDEC), pela concessão dos dados de classificação dos solos estudados.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

C O N T E Ú D O

	<u>Página</u>
1. RESUMO	01
2. INTRODUÇÃO	02
3. REVISÃO DA LITERATURA	04
Método de Bray P-1	07
Método do NaHCO_3 de OLSEN	10
Método de Mehlich	11
4. MATERIAL E MÉTODO	12
Solo	12
Estudos em casa de vegetação	12
Estudos em laboratório	15
Estudos de correlação	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
Estudos em casa de vegetação	17
Estudos em laboratório	20
Estudos de correlação	22
6. CONCLUSÕES	32
7. SUMMARY	34
8. LITERATURA CITADA	36

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela</u>		<u>Página</u>
1	Localização e classificação dos solos estudados	13
2	Caracterização física e química dos solos estudados	14
3	Produção de matéria seca, concentração e absorção de planta de tomate do estudo de casa de vegetação, com e sem adição de fosfato, Fortaleza, Ceará, Brasil, 1978	18
4	Procedimentos analíticos para extração do fósforo disponível dos solos utilizados em estudos de casa de vegetação, Fortaleza, Ceará, Brasil, 1978	21
5	Coefficientes de correlação linear das variáveis estudadas	23

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Relação entre a porcentagem de suficiência de produção de tomates e o teor de fósforo do solo extraído pelo reagente de OLSEN ..	25
2	Relação entre a porcentagem de suficiência de produção de tomates e o teor de fósforo do solo extraído pelo reagente de MEHLICH	26
3	Relação entre a porcentagem de suficiência de produção de tomates e o teor de fósforo do solo extraído pelo reagente de BRAY P-1	27
4	Relação entre a absorção total de fósforo pelas plantas de tomate e o teor de fósforo do solo extraído pelo reagente de OLSEN	28
5	Relação entre a absorção total de fósforo pelas plantas de tomate e o teor de fósforo do solo extraído pelo reagente de MEHLICH	29
6	Relação entre a absorção total de fósforo pelas plantas de tomate e o teor de fósforo do solo extraído pelo reagente de BRAY P-1	30

1 - RESUMO

Uma série de estudos de laboratório e casa de vegetação foi conduzida, na tentativa de fornecer as informações válidas sobre a eficiência de métodos químicos para a avaliação da disponibilidade do fósforo em solos do Estado do Ceará. Amostras da camada arável de seis unidades de solos representativas de áreas agricultáveis da Serra da Ibiapaba, Estado do Ceará, foram utilizadas nesta pesquisa.

Plantas de tomate foram desenvolvidas durante sete semanas em casa de vegetação, sob tratamentos com e sem fertilização fosfatada. As plantas foram subsequentemente analisadas para produção, concentração e absorção total de fósforo.

Três métodos para avaliação do fósforo disponível do solo foram comparados: Mehlich, Bray P-1 e Olsen. Os procedimentos de Mehlich e de Bray P-1 correlacionaram significativamente com a porcentagem de suficiência de produção, produção de matéria seca com fósforo nativo e em alto grau com absorção total de fósforo. Nenhum dos extratores químicos apresentou correlação significativa com a concentração de fósforo nos tecidos das plantas. O fósforo do solo extraído pela solução de Olsen não correlacionou significativamente com nenhum dos parâmetros estudados.

Todos os solos mostraram aumento de produção com adição de fertilizante fosfatado.

2 - INTRODUÇÃO

A análise química para avaliação dos nutrientes do solo tem sido objeto de investigação há muito tempo.

A essencialidade dos elementos químicos para o desenvolvimento das plantas, suas formas disponíveis no solo e a relação entre as quantidades destas formas disponíveis e as necessidades das plantas, tem despertado o interesse de muitos pesquisadores. A literatura relacionada com a determinação de fósforo no solo e sua relação como nutriente absorvido pela planta e fertilidade do solo é muito vasta (BURD & MURPHY, 1939; LAWTON et alii, 1947; BRIND, 1950; ARNOLD & SCHMIDT, 1951; NELSON et alii, 1953; OLSEN & DEAN, 1965 ; HALSTEAD, 1967; ENWEZOR, 1977a, 1977b; entre outros). Entretanto, muitas questões concernentes a sua função e eficiência permanecem sem resposta.

O conhecimento do mecanismo de absorção dos fosfatos pelas plantas e os fatores do solo que influenciam a disponibilidade do fósforo, têm exercido grande influência no desenvolvimento dos métodos analíticos.

O principal objetivo de todo método químico para determinação do fósforo disponível do solo é avaliar as formas químicas deste nutriente que serão utilizadas pelas plantas. O desenvolvimento do teste é baseado na extração total ou quantidade de fósforo disponível, que pode ser correlacionada com resposta de produção da planta ao fósforo adicio-

nado. Caso o método não proporcione correlação, não há segurança de que o fósforo extraído seja representativo do fósforo suprido pelo solo analisado.

Uma vez que altas produções dependem da disponibilidade de adequados suprimentos dos elementos nutritivos e sabendo-se que os solos do Ceará geralmente apresentam baixos teores de fósforo disponível e baixa recuperação dos fertilizantes fosfatados aplicados, além do elevado custo destes, torna-se importante um estudo do comportamento químico do fósforo do solo, nesta região.

O presente trabalho tem como objetivo principal testar a hipótese de que os teores de fósforo do solo determinados com o emprego de extratores químicos (BRAY P-1, OLSEN e MEHLICH), correlacionam-se significativamente com os níveis absorvidos pelas plantas e servem como bons indicadores das quantidades deste nutriente a serem adicionadas pelas adubações.

Produção de matéria seca, fósforo absorvido, resposta de produção da planta ao fósforo adicionado, porcentagem de produção e teor de fósforo na planta, serão usados como parâmetros para a correlação e regressão linear com o fósforo do solo extraído por cada procedimento analítico.

3 - REVISÃO DA LITERATURA

Técnicas para avaliação do "status" do fósforo do solo têm sido objeto de pesquisas há bastante tempo. Os vários testes de solo correntemente usados têm demonstrado bons resultados quando aplicados em áreas limitadas, usualmente com propriedades físicas e químicas semelhantes. Os resultados contraditórios obtidos por investigadores estudando diferentes solos, evidenciam a inconsistência dos procedimentos para avaliação do fósforo do solo. Estes contrastes de resultados podem ser devidos às variações nas quantidades das várias formas de fósforo presentes no solo.

CHANG (1968) sugere que um teste que remova fosfatos de Fe, Ca e Al em proporções semelhantes àquelas absorvidas pelas plantas, fornece uma boa avaliação do fósforo disponível no solo.

Estudos sobre as relações entre as quantidades das várias formas de fósforo do solo e suas disponibilidades para as plantas, foram conduzidos por CHO E CALDWELL (1959), CHANG & JUO (1962), SUSUKI et alii (1963), DAHNKE et alii (1964), AL-ABBAS & BARBER (1964b) e WESTIN & BUNTLEY (1966a), (1966b) e (1967), utilizando a técnica de fracionamento proposta por CHANG & JACKSON (1957) e sua modificação proposta por PETERSON & COREY (1966). A teoria empregada no desenvolvimento do método de CHANG & JACKSON (1957) para fracionamento

do fósforo inorgânico, revela que uma solução ácida diluída extrai principalmente fosfatos de cálcio, uma solução básica diluída extrai principalmente fosfatos de ferro e de alumínio e uma solução neutra de fluoreto extrai fosfatos de alumínio e em menor quantidade fosfatos de ferro. Trabalhos com diferentes solos confirmaram estas relações entre a fração de fósforo inorgânico e extratores utilizados para testes do fósforo disponível.

HALSTEAD (1967) reporta que o fósforo nativo e residual na forma de fosfato de alumínio é geralmente mais disponível às plantas em solos fracamente ácidos e próximos à neutralidade, do que o fósforo na forma de fosfato de ferro e de cálcio. De acordo com AL-ABBAS & BARBER (1964) e SING et alii (1966) o fósforo residual nas formas de fosfato de ferro e de cálcio é geralmente disponível às plantas, sendo dependente do modo de extração e das características do solo como pH, drenagem e matéria orgânica. Solos ricos em fosfato de ferro e com pH próximo à neutralidade são capazes de fornecer suprimentos adequados de fósforo às plantas que neles se desenvolvem. Segundo CHU et alii (1962), os solos que melhor respondem à aplicação de rochas fosfatadas são aqueles com baixo pH e relativamente baixo teor de ferro livre. Nestes, a fração fosfato de cálcio tem alto poder supridor de fósforo.

As plantas utilizam diferentemente as diversas frações de fósforo do solo e esta variação depende: das características do sistema radicular associadas ao seu grau de disseminação através do solo, da relação de crescimento, do total de fósforo requerido, do CO_2 elaborado metabolicamente e do teor de hidrogênio liberado pelas raízes das plantas. Estas características variam de espécie para espécie.

Para BRAY (1948), um extrator eficiente para avaliação do fósforo disponível deve extrair toda ou uma parte proporcional daquela forma (ou formas) do fósforo do solo, da qual (ou quais) a planta retira seu sustento. A quantidade extraída deve ser correlacionada positivamente com o cresci -

mento e a resposta da planta ao nutriente sob várias condições. Finalmente, a subsequente determinação do fósforo extraído deve ser rápida e acurada.

CHO & CALDWELL (1959), AL-ABBAS & BARBER (1964b), PRATT & GARBER (1964) e HALSTEAD (1967), concordam que o fósforo do solo extraído por ácidos diluídos ou mistura de um ácido ou base e um composto complexante, pode ser usado como uma estimativa do fósforo residual e nativo disponível às plantas. Desde que não existe uma técnica universal para extração do fósforo disponível no solo, deve-se escolher o procedimento mais adequado para uma área particular.

Os métodos colorimétricos empregando o azul de molibdênio são os mais sensíveis, sendo amplamente usados para extratos de solo contendo pequenas quantidades de fósforo, bem como, para o fósforo total. Estes métodos são baseados no princípio de que em uma solução ácida de molibdato, contendo íons ortofosfato, se forma um complexo fosfomolibdato, que pode ser reduzido pelo cloreto estanoso e outros agentes redutores, desenvolvendo uma cor azul (OLSEN & DEAN, 1965). Em solos com alto conteúdo de ferro livre há um processo de oxidação que destrói a coloração, conforme resultados obtidos por VIEIRA (1966). Um fator importante na escolha do teste para fósforo é a grande interferência de substâncias estranhas à análise. WATANABE & OLSEN (1962a) demonstraram que a matéria orgânica rebaixa os resultados analíticos na determinação do fósforo em extratores aquosos e que o maior efeito ocorria em concentrações menores que 0,3 ppm. Por outro lado, o cloreto estanoso não tem sido inteiramente satisfatório para reduzir o complexo molibdofosfato, devido a matéria orgânica no extrato do solo causar instabilidade da cor azul desenvolvida.

WATANABE & OLSEN (1965b) encontraram que o complexo amônio molibdofosfato reduzido pelo ácido ascórbico, na presença de antimônio, era menos sujeito à interferência de certos íons e da matéria orgânica, do que aquele utilizam

do cloreto estanoso como agente redutor. Com a modificação in troduzida a cor ficava estável por 24 horas.

A alta correlação entre o fósforo absorvido pe la planta e o fósforo do solo extraído por quatro diferentes métodos químicos, obtida por HOLANDA (1972), sugere que a ab sorção pode ser um parâmetro para melhor avaliar a disponibi lidade deste elemento no solo do que a concentração de fósfo ro na planta ou a produção. LAWTON et alii (1947) não encon traram correlação entre os três métodos de extração de fósfo ro do solo e a resposta de produção da planta em solos de di ferentes classes texturais e de drenagem, quando submetidos à adubação fosfatada.

Método de BRAY P-1

Ácidos orgânicos têm sido usados como soluções extratoras, baseados na suposição de que as raízes das plan tas excretam tais ácidos e que eles têm um poder solvente se melhante à água saturada com CO_2 . Estes, por sua vêz, têm se mostrado eficientes na remoção do fósforo disponível às plan tas.

A escolha de um ácido mineral específico está baseada na sensibilidade requerida, na ausência de substâncias interferentes, especialmente em determinação colorimétrica, e na natureza do fosfato a ser extraído.

O extrator que utiliza ácido clorídrico 0,025N e fluoreto de amônio 0,03N foi desenvolvido para ser usado em solos neutros e ácidos de Illinois (EUA). BRAY & KURTZ (1945) combinaram estes dois reagentes resultando uma solução que ex trai partes proporcionais das formas de fósforo do solo solú veis em ácido. Estes pesquisadores estabeleceram que este mé todo dava excelente correlação com a resposta de produção da planta.

A solução extratora de Bray remove formas de

fósforo facilmente solúveis em ácido, principalmente fosfatos de cálcio e uma fração dos fosfatos de ferro e alumínio. O fluoreto de amônio forma um íon complexo com fosfatos de ferro e de alumínio, promovendo a dissolução desses metais. DICKMAN & BRAY (1941) relataram que o fluoreto era eficaz na extração do fósforo adsorvido aos minerais de argila. Este método foi estudado por PACK & GOMEZ (1956), mostrando correlação significativa com a absorção do fósforo pela planta, porém, outros métodos apresentaram maiores valores de coeficientes de correlação.

OLSEN et alii (1954a), trabalhando com solos calcários, relataram uma boa correlação entre o fósforo extraído pelo procedimento de Bray e o fósforo disponível às plantas. PRATT & GARBER (1964) encontraram que o fósforo extraído de solos ácidos da Califórnia, (EUA), pelo procedimento de Bray P-1, estava correlacionado positivamente com o fósforo solúvel em NH_4Cl e NH_4F , e negativamente com o teor de argila. O efeito do teor de argila na diminuição da eficiência do método foi relacionado à exaustão do reagente. SMITH & COOK (1953) obtiveram uma correlação satisfatória entre a resposta de produção de trigo e o fósforo extraído de solos de Michigan, (EUA), pela solução de Bray P-1.

Trabalhando com solos calcários e solos nos quais rocha fosfatada havia sido adicionada, SMITH et alii (1957) encontraram que o método do ácido clorídrico-fluoreto de amônio de Bray & Kurtz, apresentava melhor correlação que outros métodos estudados, entre fósforo extraído do solo e a resposta de produção, quando a relação solo/extrator era 1:50. A relação 1:100 também apresentou bons resultados, porém, não ofereceu nenhuma vantagem sobre a primeira relação. Os mesmos autores postularam que o fluoreto reprimia a solubilidade de algum fosfato de cálcio tribásico não disponível às plantas, em solos calcários, resultando em menor quantidade de fósforo, do que somente com ácido. Em solos ácidos, o íon fluoreto aumentou a quantidade de fósforo extraído pela remo

ção de fosfato adsorvidos, proporcionando maior extração do que usando somente o ácido.

Nos estudos de JONES (1959), a relação solo/extrator teve grande efeito sobre a quantidade de fósforo extraído pela solução de Bray P-1. Mais fósforo foi extraído quando a relação era mais ampla, do que quando era estreita. O maior volume de solução proporcionou maior atividade do extrator, o que resultou em maior liberação de fósforo. No que concerne ao tempo de agitação, este teve menor efeito sobre a quantidade de fósforo extraído do que a relação solo/extrator. Variações devidas ao tempo de agitação ocorreram com alguns solos e, segundo JONES (1959), essas diferenças foram causadas por uma alteração no equilíbrio entre a liberação e a fixação do fósforo durante o processo de extração. Correlação significativa entre porcentagem de produção e fósforo extraído foi obtida com o procedimento de Bray P-1.

GONZALEZ et alii (1977), trabalhando com solos do Oeste da Venezuela, de pH variando entre 5.2 e 7.3, encontraram correlações estatisticamente significativas entre porcentagem de produção e o fósforo do solo extraído pelos métodos de Mehlich, Bray P-1 e de Olsen. O coeficiente para o procedimento de Bray P-1 tendeu a ser o mais alto, seguido pelos de Mehlich e de Olsen. Por sua vez, ENWEZOR (1977a) encontrou que as soluções extratoras de Bray P-1 e de Olsen foram igualmente precisas em predizer porcentagem de produção em solos ácidos do Sudeste da Nigéria. Entretanto, outro método estudado apresentou melhor coeficiente de correlação. Corroborando as afirmativas acima, HOLANDA (1972) pesquisando alguns solos do Arizona, (EUA), encontrou que o fósforo extraído pelos métodos de Bray P-1 e de Olsen, mostrava correlação positiva com porcentagem de produção da planta.

OZUS & HANWAY (1966) encontraram alta correlação entre o fósforo do solo extraído pela solução de Bray P-1 e os parâmetros concentração de fósforo na planta e ab

sorção. CHO & CALDWELL (1959) encontraram que a distribuição do fósforo disponível em alguns solos dos EUA, determinada pelo procedimento de Bray P-1, foi maior que a determinada pelo método do NaHCO_3 de Olsen. O extrator de Bray, segundo os mesmos autores, tende a extrair mais fósforo de solos ácidos do que de solos calcários. Nos solos com maiores teores de matéria orgânica, o método de Olsen foi mais eficiente que o de Bray P-1.

Método do NaHCO_3 de Olsen

Resultados de estudos com solos calcários conduzidos por GARDNER & KELLEY (1940), PRATT & THORNE (1948) e FULLER & MCGEORGE (1951), demonstraram que a solubilidade do fosfato é função do pH e da atividade do íon cálcio. Próximo à neutralidade, a solubilidade do fosfato do solo é muito baixa. Um aumento na atividade do íon cálcio ou na do íon hidrogênio proporciona, respectivamente, diminuição ou aumento na solubilidade.

OLSEN et alii (1954a) propuseram um procedimento no qual o fósforo do solo é extraído com NaHCO_3 0,5M ajustado para pH 8,5 com NaOH. O principal efeito do NaHCO_3 em solos calcários é diminuir a atividade do íon cálcio, o qual em troca, aumenta a solubilidade dos fosfatos. Os mesmos autores encontraram estreita correlação entre o fósforo extraído por NaHCO_3 e a resposta da planta, quando a aveia foi usada como planta indicadora (OLSEN et alii, 1954b). PACK & GOMEZ (1956), trabalhando em solos do Novo México, encontraram alta correlação entre o fósforo extraído pelo método de Olsen e absorção de fósforo pela planta.

Sobre solos ácidos da Califórnia, (EUA), PRATT & GARBER (1964) reportam que o aumento do teor de argila diminuiu a eficiência do NaHCO_3 na extração do fósforo disponível. Isso foi relacionado à exaustão do reagente e precipitações se

cundárias. Por outro lado, JONES (1959) não encontrou correlação significativa entre o procedimento de Olsen e a produção de planta ou a absorção de fósforo.

Em seus estudos, ZUBRISKI (1971) concluiu que o método de Olsen forneceu satisfatórios índices da disponibilidade do fósforo do solo.

Método de MEHLICH

Este procedimento extrai o fósforo solúvel em solução diluída de ácido clorídrico 0,05N e ácido sulfúrico 0,025N (OLSEN & DEAN, 1965).

NELSON et alii (1953) desenvolveram este método para extrair fósforo dos solos de Piedmont e Mountains, regiões da Carolina do Norte, (EUA), os quais fixam fósforo fortemente. Anteriormente, o extrator largamente usado nas citadas regiões consistia de uma mistura de ácido acético e acetato de sódio, ajustado para pH 4,8. Embora esta solução fosse relativamente eficiente em remover os cátions metálicos trocáveis, não fornecia índice satisfatório da disponibilidade do fósforo em solos com alta fixação deste nutriente. A mistura de ácidos de Mehlich resultou em melhores correlações entre o fósforo extraído e a resposta da planta.

MARTENS et alii (1969), trabalhando com solos da Virginia, (EUA), reportam que a solução de ácido diluída de Mehlich só mostrava boa correlação com a absorção de fósforo, quando os solos não recebiam fertilização fosfatada. Segundo os autores, o procedimento de Mehlich extrai o fósforo da fração P-Ca, a qual não é disponível às plantas e, por essa razão, o fósforo extraído não é estreitamente relacionado à absorção em solos contendo altas quantidades daquela fração.

Resultados de estudos conduzidos por PERKINS (1965) demonstraram correlação altamente significativa entre o fósforo do solo extraído pela solução de Mehlich e produção de forragem de milho.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

Solo

Foram utilizadas amostras de seis unidades de solos representativos da Serra da Ibiapaba, Estado do Ceará . A coleta das amostras foi feita na camada arável, à profundidade de 0 - 20 cm. A identificação dos solos estudados é apresentada na Tabela 1. As amostras secas ao ar foram homogeneizadas, passadas em peneiras de 2 mm e acondicionadas em recipientes plásticos. Sub-amostras de cada solo foram analisadas em duplicata para caracterização física e química, antes do início do experimento, cujos resultados estão contidos na Tabela 2.

Estudos em casa de vegetação

Com o propósito de avaliar o fósforo do solo disponível às plantas, foi conduzido um experimento em casa de vegetação utilizando tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) como planta indicadora. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 2 tratamentos (com e sem adição de fosfato), utilizando-se 6 unidades de solo com 3 repetições , perfazendo um total de 36 parcelas. As amostras dos solos foram previamente incubadas com calcário dolomítico durante 15 dias, objetivando elevar o pH a 6,5. A quantidade de calcário

TABELA 1 : Localização e classificação dos solos estudados

Solo nº	Classificação *	Unidade	Localização
1	Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico textura franco arenosa floresta sub perenifólia relevo suave ondulado	Jasiara	Tianguá
2	Latosol Vermelho Amarelo distrófico textura franco argilo arenoso flores ta subperenifólia relevo ondulado	Andréa	Ubajara
3	Latosol Acinzentado distrófico textu ra franco arenoso floresta subcaduci fólia relevo plano	Marcelo	Tianguá
4	Areias Quartzosas distrófico textura areia franca floresta subperenifólia relevo suave ondulado	Aparecida	Tianguá
5	Latosol Vermelho Amarelo distrófico textura franco arenoso floresta sub perenifólia relevo suave ondulado	Pau Seco	Tianguá
6	Latosol Vermelho Amarelo distrófico textura franco arenoso floresta sub perenifólia relevo suave ondulado	Graziela	São Benedito

* Caracterização segundo o Sistema de Classificação de Solos Brasileiros utilizado pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos do Brasil.

TABELA 2 : Caracterização física e química dos solos estudados

	1	2	3	4	5	6
Granulometria						
Areia grossa %	5,4	32,8	6,5	42,6	51,3	47,4
Areia fina %	66,4	33,8	72,9	40,2	25,4	31,4
Silte %	18,9	5,9	4,8	8,1	7,0	7,3
Argila total %	9,3	27,5	15,8	9,1	16,3	13,9
Densidade real g/cm ³	2,67	2,57	2,55	2,57	2,64	2,56
Umidade						
1/3 atm %	11,4	11,7	7,6	6,5	9,1	7,8
15 atm %	4,8	7,9	4,6	3,8	5,6	5,1
Carbono %	1,12	0,57	0,44	0,77	0,81	0,80
Nitrogênio %	0,10	0,04	0,04	0,07	0,08	0,08
pH (H ₂ O)	4,3	4,3	4,3	4,2	5,0	4,2
Ca ⁺⁺ mE/100g	1,40	0,80	0,70	0,90	2,40	0,90
Mg ⁺⁺ "	1,00	1,00	0,70	0,90	1,10	1,00
Na ⁺ "	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04
K ⁺ "	0,06	0,06	0,12	0,09	0,07	0,08
S "	2,49	1,88	1,54	1,92	3,59	2,02
H ⁺ "	4,52	1,84	1,35	2,76	2,02	3,48
Al ⁺⁺⁺ "	0,76	0,63	0,63	0,87	0,12	0,81
T "	7,77	4,35	3,52	5,55	5,73	6,31
V %	32	43	43	34	62	32
CE mmho/cm	0,70	0,15	0,20	0,60	0,40	0,75

adicionada foi baseada no teor de alumínio trocável, conforme KAMPRATH (1967). Três quilogramas de cada solo seco ao ar foram misturados com fosfato de potássio (mono) na relação de 300 kg de P_2O_5 /ha e colocados em vasos de cerâmica com orifícios na parte inferior e irrigados com água destilada até próximo à capacidade de campo, condição mantida no decorrer do experimento. A água drenada através dos orifícios era coletada e reposta no vaso.

Procedimento semelhante foi adotado sem a adição de fosfato. Ambos os tratamentos tiveram três repetições. Todos os vasos receberam nitrogênio na relação de 100 kg N/ha, aplicado como nitrato de amônio. Os fertilizantes foram aplicados em solução na superfície dos solos, antes da semeadura. Dez sementes foram semeadas por vaso, na profundidade de 1 cm abaixo da superfície do solo. O desbaste foi procedido quando as plantas atingiram o estágio de emissão da 4ª. folha, deixando-se quatro plantas por vaso. Ao fim de sete semanas as plantas foram colhidas, cortando-se a parte aérea logo acima do solo. Após a colheita o material foi pesado e posto a secar a 65°C até peso constante. A produção foi determinada pesando-se o material seco da planta. Em seguida, o material seco foi triturado em moinho e passado em peneira de 20 meshes.

Em copo de 50 ml foi colocado 1,0 grama do material moído, pesado e posto a digerir com ácido nítrico e ácido perclórico. O material digerido foi transferido para balão volumétrico de 100 ml, e o volume completado com água desmineralizada.

O fósforo foi determinado pelo método do ácido vanadofosfomolibdato, descrito por CHAPMAN & PRATT (1961). A intensidade da cor foi lida a 420 nm, utilizando-se o espectrofotômetro "Spectronic 20" Bausch and Lomb.

Estudos em laboratório

Ao fim do experimento, as amostras dos seis solos estudados, foram colocados a secar ao ar e em seguida pas

sadas em peneira de 2 mm. Sub-amostras foram analisadas em duplicata para fósforo disponível, utilizando-se os seguintes procedimentos: Bray P-1 e Mehlich, conforme descrito por OLSEN & DEAN (1965), e Olsen, de acordo com OLSEN et alii (1954a).

As medidas de porcentagem de transmitância foram efetuadas com espectrofotômetro "Spectronic 20" Bausch and Lomb, usando-se comprimento de onda de 840 nm.

Estudos de correlação

A produção das plantas (peso seco), concentração de fósforo no tecido e fósforo total absorvido, foram correlacionados com o fósforo do solo extraído por cada um dos três métodos estudados. O fósforo extraído por cada uma das técnicas já referidas, foi também, correlacionado com os seguintes parâmetros: porcentagem de suficiência de produção - peso seco (sem adição de fósforo)/peso seco (com adição de fósforo) X 100, porcentagem de suficiência de concentração - teor de fósforo na planta (sem adição de fósforo)/teor de fósforo na planta (com adição de fósforo) X 100 e porcentagem de suficiência de absorção - fósforo absorvido (sem adição de fósforo)/fósforo absorvido (com adição de fósforo) X 100. No estudo da correlação foram usados 18 pares de valores. A significância dos coeficientes de correlação foi testada através do teste "t" expresso por: $t = r \sqrt{n-2} / \sqrt{1-r^2}$ com (n-2) graus de liberdade, sendo adotado os níveis de significância de 5% e 1%. As análises de regressão e correlação foram feitas de acordo com o método descrito por SNEDECOR (1959) .

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudos em casa de vegetação

Produção

A produção de matéria seca de tomate foi aumentada pela aplicação de fósforo em todos os solos estudados, conforme mostra a Tabela 3. De acordo com Bray (1948) citado por NELSON et alii (1953), quanto menor a porcentagem de suficiência de produção, maior a resposta da planta a fósforo adicionado. Resultados encontrados por JONES (1959), HALSTEAD (1967), ZUBRISKI (1971) e HOLANDA (1972) corroboram esta situação. As plantas que não receberam fósforo foram visivelmente prejudicadas, obtendo crescimento menor que aquelas desenvolvidas sob tratamento com fósforo. A maioria das plantas que não receberam fósforo exibiram amarelecimento das folhas, uma das características de deficiência daquele nutriente nas plantas de tomate. Essa clorose foi mais acentuada nos primeiros estádios de crescimento, diminuindo com o decorrer do desenvolvimento. Sintomas idênticos foram constatados por JONES (1959). Os valores de produção de material seco por vaso variaram de 0,5 a 1,8g em solos não tratados com fósforo e de 6,1 a 12,9g em solos tratados com fósforo.

TABELA 3 : Produção de matéria seca, concentração e absorção de fósforo por planta de tomate do estudo de casa de vegetação, com e sem adição de fosfato, Fortaleza, Ceará, Brasil, 1978.

Solo		T r a t a m e n t o s						Suficiência de produção
Unidade	Amostragem	Sem fósforo			Com fósforo			
		Materia- al seco g	Concent. fósforo %	Absorção fósforo mg	Materia- al seco g	Concent. fósforo %	Absorção fósforo mg	%
1	1	1,8	0,18	3,2	8,5	0,28	23,8	21,2
1	2	1,5	0,18	2,7	12,9	0,28	36,1	11,6
1	3	1,2	0,21	2,5	9,1	0,25	22,8	13,2
2	1	0,6	0,18	1,1	7,9	0,30	23,7	7,6
2	2	0,7	0,21	1,5	7,5	0,30	22,5	9,3
2	3	0,6	0,21	1,3	7,2	0,28	20,2	8,3
3	1	0,5	0,21	1,1	10,2	0,43	43,9	4,9
3	2	0,6	0,27	1,6	9,7	0,40	38,8	6,2
3	3	0,6	0,18	1,1	12,2	0,45	54,9	4,9
4	1	0,9	0,21	1,9	6,6	0,25	16,5	13,6
4	2	0,6	0,18	1,1	6,6	0,24	15,8	9,1
4	3	0,5	0,21	1,1	6,1	0,25	15,3	8,2
5	1	0,6	0,18	1,1	8,0	0,40	32,0	7,5
5	2	0,5	0,18	0,9	10,1	0,38	38,4	5,0
5	3	0,6	0,13	0,8	8,4	0,40	33,6	7,1
6	1	1,3	0,24	3,1	7,3	0,28	20,4	17,8
6	2	1,0	0,21	2,1	7,7	0,27	20,8	13,0
6	3	0,9	0,21	1,9	7,3	0,27	19,7	12,3

Absorção de fósforo

O teor de fósforo das plantas de tomate desenvolvidas em casa de vegetação variou de 0,13 a 0,27% e de 0,24 a 0,45%, respectivamente nos solos sem adição e com adição de fósforo (Tabela 3).

Os resultados analíticos de todos os solos estudados apresentaram baixos teores de fósforo extraído, conforme as categorias de níveis sugeridas por THOMAS & PEASLEE (1973). A adição deste nutriente proporcionou um pequeno aumento na porcentagem do mesmo nos tecidos da planta e um acréscimo relativamente grande na produção de matéria seca. Semelhante efeito foi constatado por OZUS & HANWAY (1966).

O nível de fósforo do solo aparenta ser importante em determinar se a adição deste nutriente afetará ou não o teor do mesmo nos tecidos da planta. Quando o "status" do fósforo do solo é adequado para a máxima produção, a adição deste elemento irá aumentar a sua concentração nos tecidos da planta. Se o nível de fósforo do solo é muito baixo, proporcionando pouco crescimento da planta, a aplicação adicional do mesmo causará um pequeno aumento de concentração na composição dos tecidos da planta e um aumento relativamente grande na produção de matéria seca vegetal. Os resultados analíticos para todos os solos estudados representam essa situação. Do mesmo modo, JONES (1959) e HOLANDA (1972) encontraram resultados que suportam o estabelecido acima. A deficiência de fósforo inibe o processo metabólico de outros elementos essenciais para as plantas, conforme estabelece a "lei do mínimo", de Liebig, citada por VOISIN (1973). Aparentemente, o fósforo adicional absorvido pela planta é usado para condicionar maior crescimento, preferencialmente a aumentar a porcentagem do nutriente nos tecidos da planta.

Os resultados apresentados na Tabela 3, concordam com a Teoria de MACY (1936) sobre a relação entre o teor

porcentual do nutriente na planta e sua suficiência para o crescimento. Este autor admite que a absorção de fósforo é proporcional ao teor do mesmo no solo, disponível às plantas. De acordo com essa teoria, a porcentagem de fósforo nos tecidos da planta prediz o nível deste elemento no solo, somente quando este nível está próximo daquele necessário para a máxima produção, ou quando se encontra em níveis extremamente baixos. Em solos com altos níveis de fósforo disponível, a produção poderá ser máxima e um aumento na disponibilidade do nutriente, possivelmente, não aumentará a produção. Assim, a produção da planta somente, pode não ser um bom indicador da disponibilidade do fósforo do solo. Então, para avaliar a disponibilidade do referido nutriente no solo a absorção total apresenta-se como melhor parâmetro, seguido da produção e da concentração de fósforo na planta.

Estudos em laboratório

Os resultados analíticos dos solos são mostrados na Tabela 2.

A Tabela 4 mostra os teores de fósforo do solo extraídos pelos métodos empregados na pesquisa. O método de Olsen extraiu mais fósforo de todos os solos do que os métodos restantes, exceto para a Unidade Graziela, onde o procedimento de Mehlich se mostrou mais eficiente que o de Olsen ou o de Bray P-1. Os métodos de Mehlich e o de Bray P-1 mostraram-se igualmente efetivos na extração da maioria dos solos considerados. De acordo com a revisão procedida por BRAY & KURTZ (1945), a maioria dos métodos empregando ácidos têm se mostrado eficientes na extração de formas de fósforo solúveis em ácido, porém, apresentam-se relativamente menos eficientes em extrair as formas adsorvidas, exceto quando essas formas se encontram em grandes quantidades. À medida que aumenta o teor das formas adsorvidas de fósforo no solo, sua solubilidade em água aumenta rapidamente. Isto explica as razões de os reagentes ácidos

TABELA 4 : Procedimentos analíticos para extração do fósforo disponível dos solos utilizados em estudos de casa de vegetação, Fortaleza, Ceará, Brasil, 1978.

Solo		Procedimentos analíticos para extração		
Unidade	Amostra	Mehlich ppm	Bray P-1 ppm	Olsen ppm
1	1	6.15	3.86	4.80
1	2	5.27	4.20	5.26
1	3	5.27	4.07	5.26
2	1	2.73	2.32	3.01
2	2	3.15	2.32	3.39
2	3	2.86	2.58	2.63
3	1	3.42	1.74	3.52
3	2	4.15	1.85	3.79
3	3	3.71	1.96	4.06
4	1	3.27	2.20	5.26
4	2	3.15	2.32	5.11
4	3	3.42	2.32	4.95
5	1	2.34	2.32	3.39
5	2	2.22	2.20	3.14
5	3	2.34	2.32	3.39
6	1	6.32	4.20	3.39
6	2	6.71	4.07	3.52
6	3	6.51	4.20	3.52

removerem relativamente mais fósforo destas formas quando elas se apresentam em altos teores. Porém, segundo BRAY & DICKMAN (1941), quando estas formas estão presentes em pequenas quantidades sua solubilidade é muito baixa e os extratores ácidos aparentam ser relativamente ineficientes. OLSEN et alii (1954a) enfatizam que em solos ácidos, o fósforo do solo presente na forma de fosfato de cálcio provavelmente, torna-se mais solúvel na presença de NaHCO_3 , devido a repressão da atividade do íon cálcio, admitindo que a fase sólida é formada a pH 8,5. Além disso, as formas de fosfatos de ferro e de alumínio não disponíveis às plantas, possivelmente são dissolvidas como resultado do alto pH da solução extratora de Olsen. Dessa maneira, já era esperado que este procedimento extraísse mais fósforo dos solos estudados, muito embora não sirva como índice para avaliação do fósforo disponível. Os resultados encontrados também estão de acordo com KURTZ et alii (1946), que demonstraram a maior habilidade de substituição do HCO_3^- por fosfatos adsorvidos em superfícies coloidais de solos ácidos, sobre a de íons acetato ou sulfato.

Estudos de correlação

A Tabela 5 mostra os coeficientes de correlação linear entre o fósforo do solo extraído pelos extratores químicos e resposta de produção a fósforo nativo e aplicado, e absorção de fósforo por plantas de tomate.

Uma estreita correlação positiva existiu entre o fósforo do solo extraído pelos procedimentos de Mehlich e de Bray P-1, sugerindo que estes métodos extraíram semelhantes formas de fósforo do solo. O método de Olsen não se correlacionou com os outros extratores investigados. Aparentemente, a solução de Olsen extraiu forma ou formas de fósforo não prontamente disponíveis para as plantas, não podendo, conseqüentemente, fornecer satisfatório índice do "status" daquele elemento nos solos em estudo.

TABELA 5 : Coeficientes de correlação linear das variáveis estudadas

Variável nº	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	.87**	.24	.76**	.38	.84**	.04	.74**	.48*	.74**
2		.22	.76**	.09	.82**	.002	.77**	.46	.75**
3			.45	-.03	.39	.08	.37	.37	.39
4				.03	.95**	.16	.89**	.34	.77**
5					.32	-.16	.14	.45	-.35
6						.06	.90**	.52	.86**
7							-.28	-.46	-.40
8								.37	.95**
9									.38

- 1 - Método de Mehlich
- 2 - Método de Bray P-1
- 3 - Método de Olsen NaHCO_3
- 4 - Produção de material seco - sem adição de fósforo
- 5 - Concentração de fósforo - sem adição de fósforo
- 6 - Absorção total de fósforo - sem adição de fósforo
- 7 - Produção de material seco - com adição de fósforo
- 8 - Porcentagem de suficiência de produção
- 9 - Porcentagem de suficiência de concentração
- 10 - Porcentagem de suficiência de absorção

* Significativo ao nível de 5 por cento.

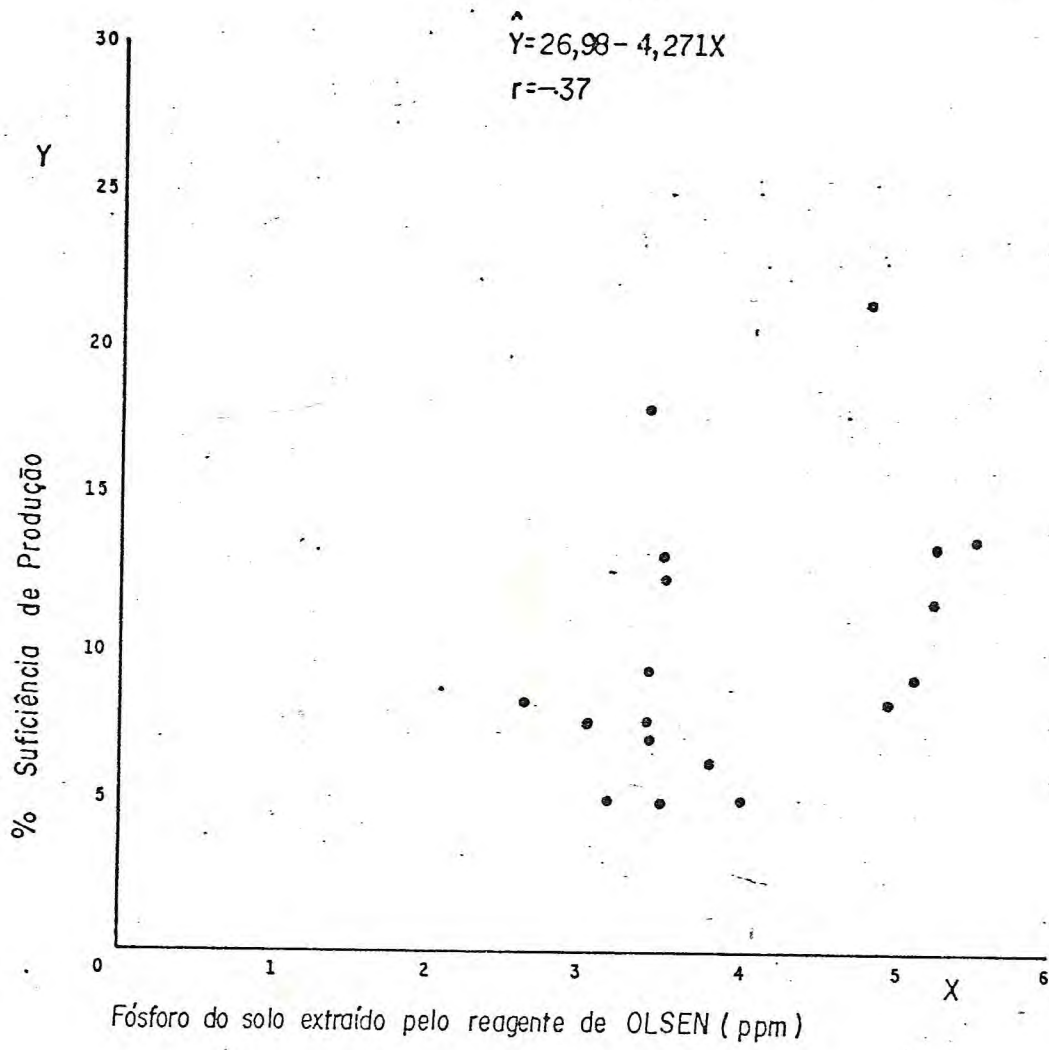
** Significativo ao nível de 1 por cento.

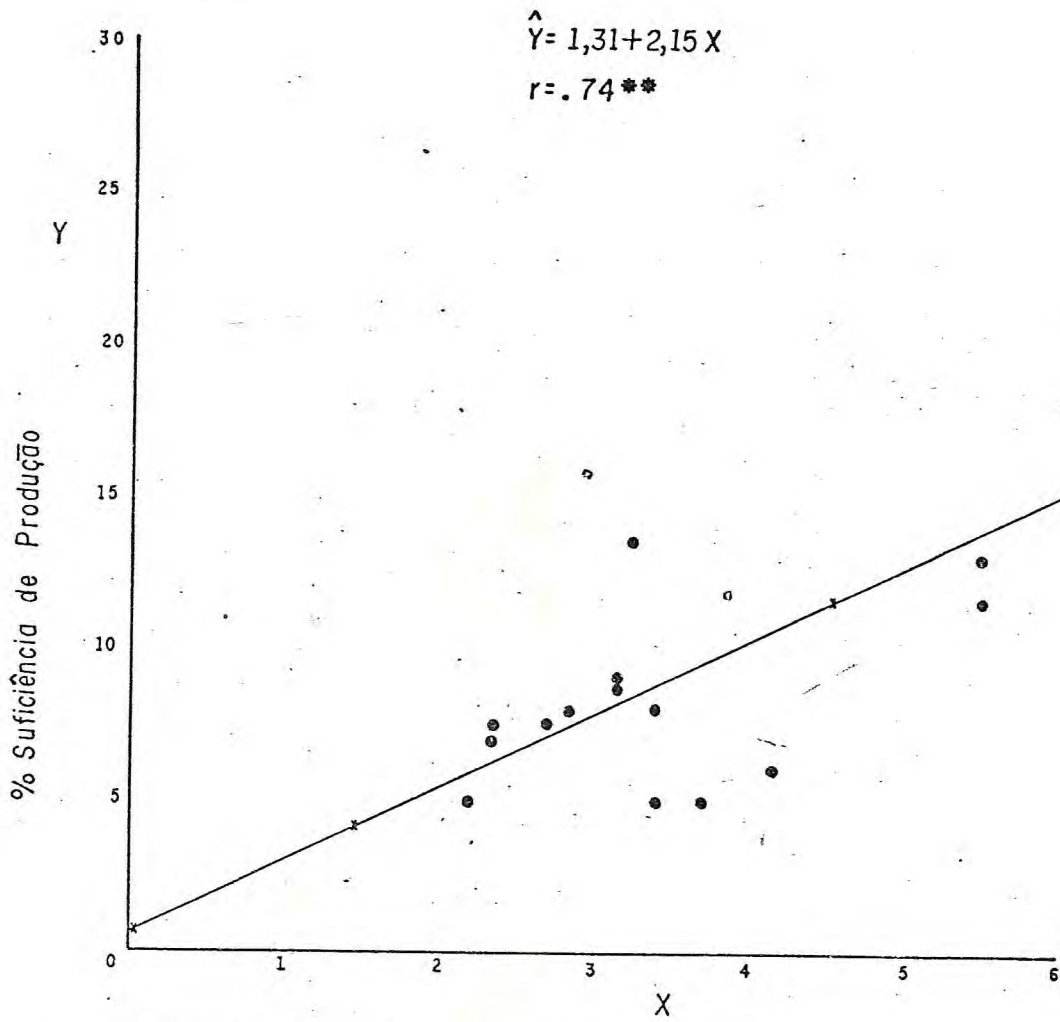
As Figuras 1, 2 e 3 representam as curvas de regressão entre a porcentagem de suficiência de produção e o fósforo disponível do solo extraído pelos procedimentos de Olsen, Mehlich e Bray P-1, respectivamente.

As soluções extratoras de Mehlich e de Bray P-1 se correlacionaram positivamente com a porcentagem de suficiência de produção (Tabela 5). Estes dois procedimentos foram igualmente efetivos em determinar o fósforo disponível sob condições de casa de vegetação. Não houve correlação significativa entre fósforo disponível extraído pela solução de Olsen e a porcentagem de suficiência de produção. O fósforo do solo extraído pelos métodos de Mehlich e de Bray P-1 apresentou correlação positiva e significativa com a produção de matéria seca da planta em solos que não receberam adição de fósforo. Este último parâmetro não se correlacionou com o fósforo do solo extraído pelo procedimento de Olsen.

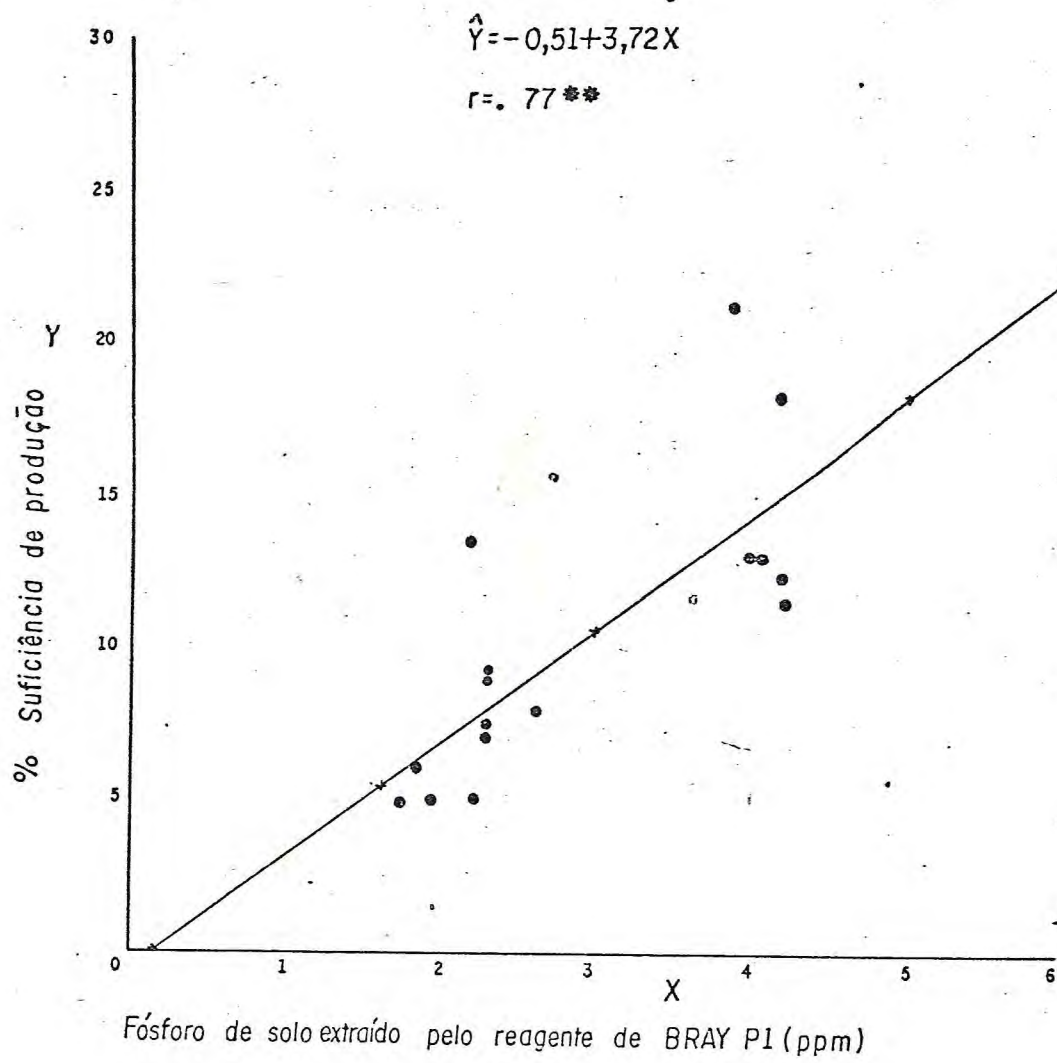
Os três testes químicos estudados foram correlacionados com concentração de fósforo nos tecidos da planta e com o fósforo total absorvido em solos sem adição do nutriente. O objetivo deste procedimento era identificar o melhor método para expressar os dados de absorção. As Figuras 4, 5 e 6 mostram as curvas de regressão entre absorção total de fósforo e fósforo extraído pelos métodos de Olsen, Mehlich e Bray P-1, respectivamente. Os procedimentos de Mehlich e de Bray P-1 obtiveram forte grau de correlação positiva com absorção total de fósforo. O método de Olsen não se correlacionou com este último fator. Houve ausência de correlação entre concentração de fósforo nos tecidos da planta e o fósforo extraído do solo pelos métodos empregados. A idéia de que a porcentagem de fósforo nos tecidos da planta indica o nível deste nutriente no solo, somente é verdadeira quando o mesmo se encontra em quantidades suficientes para o máximo crescimento (LONG, 1947).

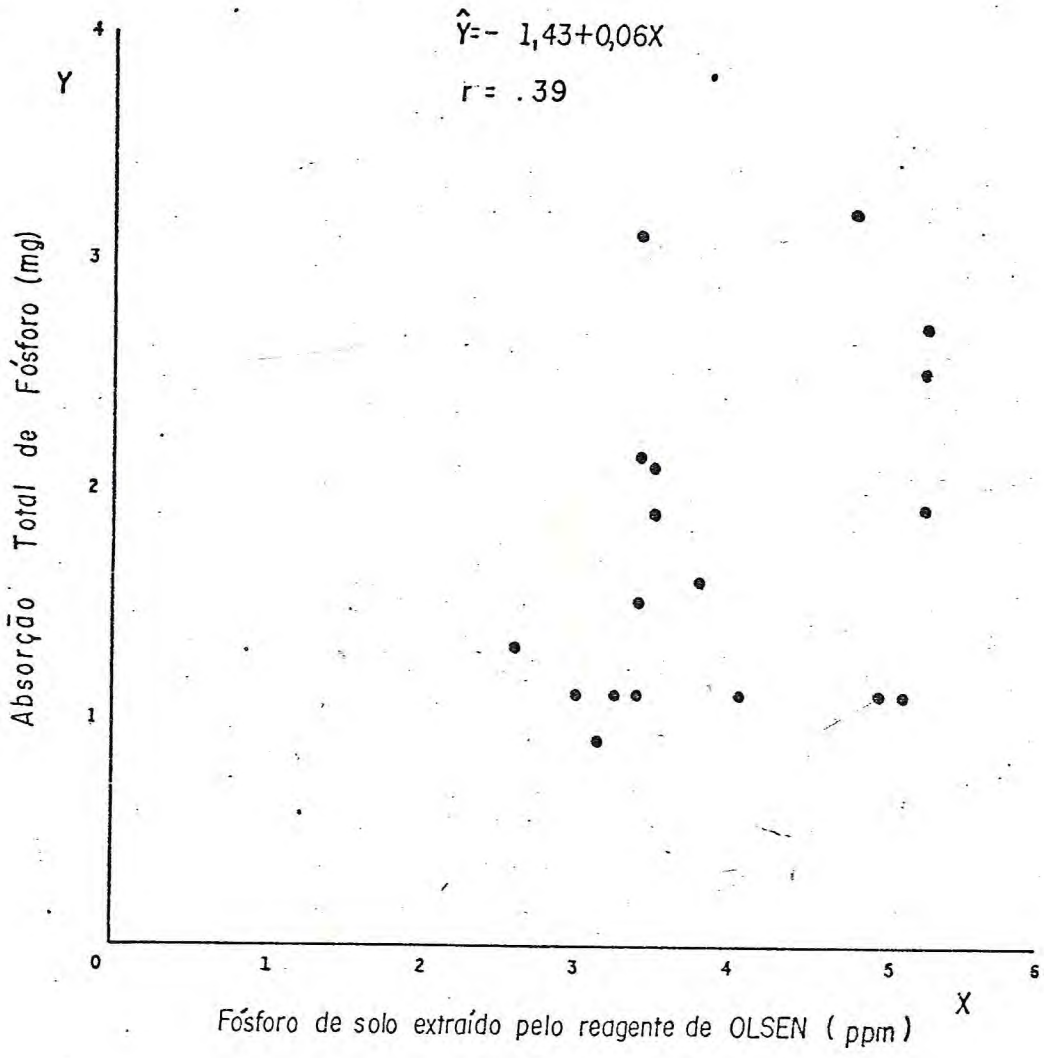
Porcentagem de suficiência de concentração e porcentagem de suficiência de absorção, previamente definidas,

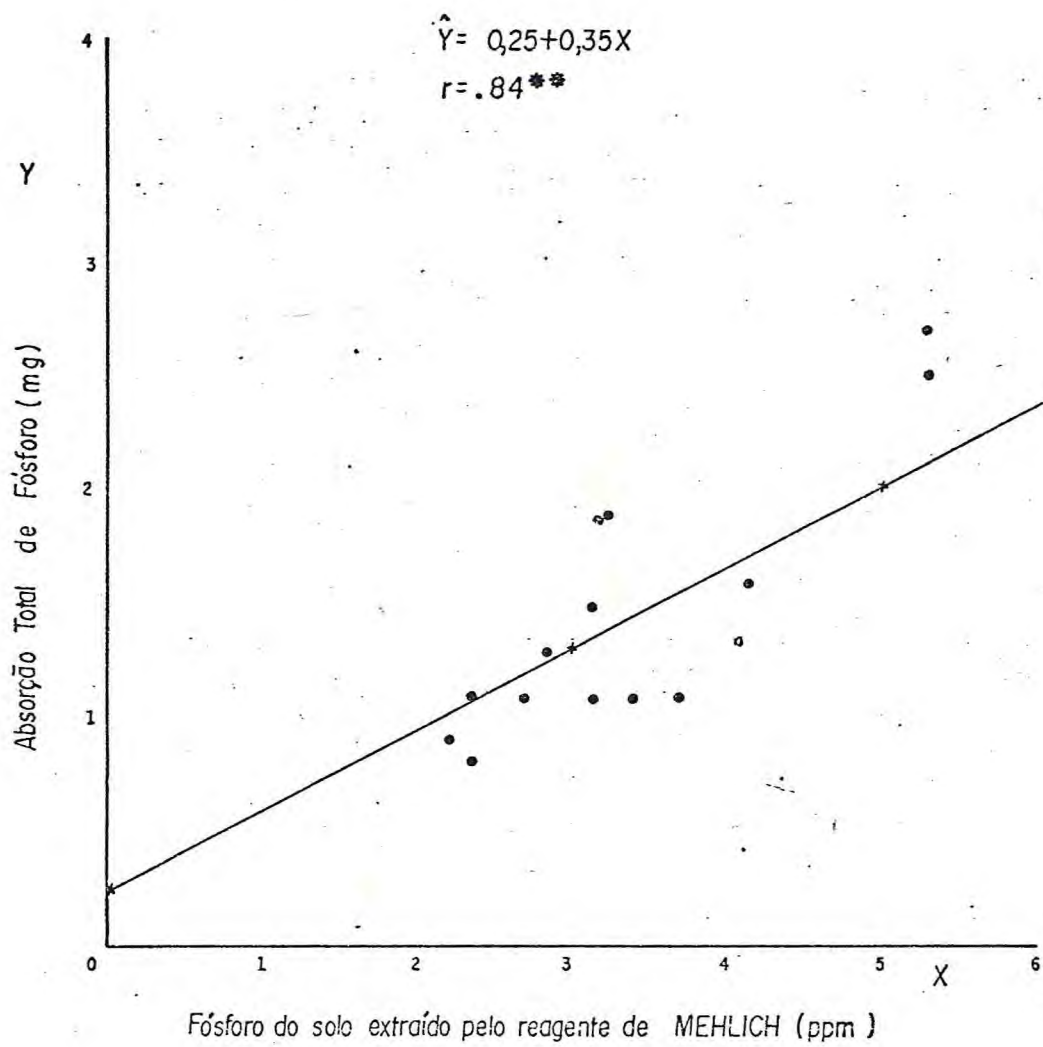


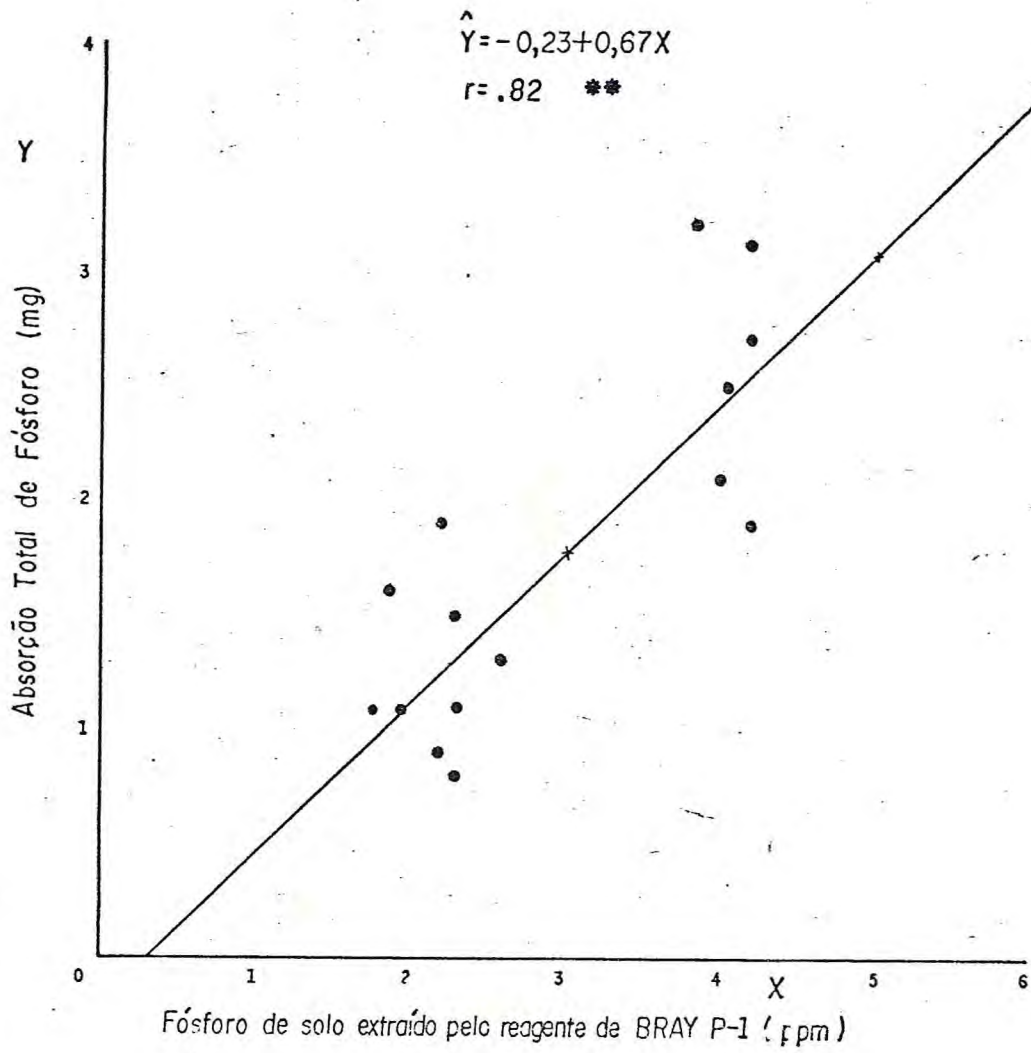


Fósforo do solo extraído pelo reagente de MEHLICH (ppm)









foram avaliadas com o objetivo de investigar as relações entre concentração de fósforo nos tecidos da planta e absorção total de fósforo.

Porcentagem de suficiência de concentração aparenta ser um parâmetro valioso quando a máxima produção ocorre com fósforo nativo ou quando outro fator, não o fósforo, é limitante da produção (HOLANDA, 1972). Nenhuma correlação foi observada entre a porcentagem de suficiência de concentração e o fósforo extraído do solo pelos métodos de Olsen e de Bray P-1, uma vez que não ocorreram produções máximas com o fósforo nativo, e nenhum fator de crescimento, além do fósforo, era esperado para afetar a produção sob condições experimentais. A correlação significativa existente entre a porcentagem de suficiência de concentração e o fósforo do solo extraído pelo método de Mehlich, devem-se a fatores outros, que não o tratamento aplicado.

A alta correlação entre o fósforo extraído do solo e a absorção total de fósforo, sugere que este último fator é melhor que a concentração de fósforo na planta ou a produção de matéria seca, para avaliar o fósforo disponível do solo. Os resultados encontrados por PACK & GOMES (1956), MARTENS et alii (1969) e HOLANDA (1972), confirmam esta situação.

6 - CONCLUSÕES

Os resultados apresentados e discutidos anteriormente permitem as seguintes conclusões:

- a adição de fósforo resultou em aumento de produção para todos os solos considerados no presente estudo.

- absorção total de fósforo acha-se estreitamente correlacionada com o fósforo do solo extraído pelos métodos de Mehlich e de Bray P-1, sugerindo que eles extraíram semelhantes formas da fração inorgânica do solo, supridora de fósforo às plantas.

- os procedimentos de Mehlich e de Bray P-1 para extração do fósforo nativo, correlacionaram-se positiva e significativamente com a porcentagem de suficiência de produção, a produção de matéria seca e a absorção total de fósforo, indicando que estes testes químicos de laboratório forneceram excelente estimativa da disponibilidade do fósforo disponível do solo.

- a alta correlação existente entre o fósforo nativo do solo extraído pelos métodos estudados e absorção total, parece indicar que este último fator é mais adequado que a concentração de fósforo ou a produção de matéria seca, para prever o "status" daquele nutriente no solo.

- a concentração de fósforo nos tecidos da planta não se correlacionou significativamente com o fósforo do solo.

lo extraído pelos três procedimentos adotados, sugerindo que o fósforo adicionado foi utilizado preferencialmente para aumentar a produção de material seco.

- o método de Olsen não se correlacionou significativamente com nenhum dos parâmetros estudados. Aparentemente, este procedimento extraiu forma ou formas químicas de fósforo não utilizáveis pelas plantas.

- os métodos de Mehlich e de Bray P-1 foram igualmente efetivos na extração do fósforo dos solos utilizados na pesquisa. Entretanto, o procedimento de Mehlich deve ser o recomendado para avaliar o fósforo disponível dos solos ácidos da Serra da Ibiapaba, Estado do Ceará, Brasil, em razão de sua rapidez e exatidão, maior capacidade de extração em solos com capacidade fixadora deste elemento e maior eficiência em extrair aquele nutriente da fração fosfato de ferro (NELSON et alii, 1953, que constitui a maior porção do fósforo inorgânico dos solos ácidos (AL-ABBAS & GARBER, 1964a: HALSTEAD, 1967; entre outros).

7 - SUMMARY

With the purpose of selecting a chemical method for the evaluation of available phosphorus in soils of Ceará, three methods were compared in a series of laboratory and greenhouse studies.

Six soils, each representing different agricultural areas of the Ibiapaba Sierra, State of Ceará, were used in this investigation. Samples were collected from the plow layer.

The experiment was conducted using tomato plants grown for seven weeks in greenhouse and subsequently analyzed for yield and phosphorus concentration. Total phosphorus uptake was calculated. Two treatments were used: with phosphorus and without phosphorus. Both treatments were replicated three times.

Mehlich's, Bray's P-1, and Olsen's NaHCO_3 methods of soil phosphorus extraction were evaluated by correlation and regression analyses.

Mehlich's and Bray's P-1 soil tests were closely related to phosphorus uptake on all soils. Phosphorus extracted by both procedures was equally related with per cent sufficiency of yield, and yield when no phosphorus was applied.

Phosphorus extracted by Olsen's method was not significantly related to any of the parameters used in the

study. Also, the phosphorus concentration in plant tissue grown on soils which received no phosphorus was not correlated significantly with either factor.

All soils showed an increase in production with addition of phosphate fertilizer.

8 - LITERATURA CITADA

- AL-ABBAS, A.H., & BARBER, S.A. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus: I. Correlation of soil phosphorus fractions with plant-available phosphorus. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 28 (2): 218-21, 1964a.
- _____. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus: II. Development of the soil test. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 28 (2): 221-4, 1964b.
- ARNOLD, C.V., & SCHMIDT, W.A. Soil Test as a measure of phosphorus available to tomatoes on heavy soils. SOIL SCIENCE, 71 (2): 105-15, 1951.
- BRAY, R.H., & DICKMAN, S.R. Adsorbed phosphates in soils and their relation to crop responses. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 6: 312-20, 1941.
- BRAY, R.H., & KURTZ, L.T. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. SOIL SCIENCE, 59: 39-45, 1945.
- BRAY, R.H. Requeriments for a successful soil test. SOIL SCIENCE, 66: 83-9, 1948.
- BRIND, W.D. Recent work on the chemical determination of readily soluble phosphorus in soil. SOILS AND FERTILIZERS, 13: 235-9, 1950.

- BURD, J.S., & MURPHY, H.F. The use of chemical data in the prognosis of phosphate deficiency in soils. HILGARDIA, 12: 323-40, 1939.
- CHANG, S.C., & JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus SOIL SCIENCE, 84: 133-44, 1957.
- CHANG, S.C., & JUO, S.R. Available phosphorus in relation to forms of phosphates in soils. SOIL SCIENCE, 95: 91-6, 1962.
- CHANG, S.C. Application of phosphorus fractionation to the study of the chemistry of available phosphorus. SOIL AND FERTILIZERS, 31(5): 3115, 1968.
- CHO, C.M., & CALDWELL, A.C. Forms of phosphorus and fixation in soils. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 23(6): 458-60, 1959.
- CHAPMAN, H.D., & PRATT, P.F. METHODS OF ANALYSIS FOR SOILS, PLANTS AND WATERS. University of California, Division of Agricultural Sciences, 1961.
- CHU, C.R., MOSCHLER, W.W., & THOMAS, G.W. Rock phosphate transformation in acid soils. SOIL SCI. AMER. PROC., 26(5): 476-8, 1962.
- DAHNIKE, W.C., MALCOLM, J.L., & MENENDEZ, M.E. Phosphorus fractions in selected soils profiles of El Salvador as related to their development. SOIL SCIENCE, 98(1): 33-8, 1964.
- DICKMAN, S.R., & BRAY, R.H. Replacement of adsorbed phosphate from kaolinite by fluoride. SOIL SCIENCE, 52: 263-73, 1941.
- ENWEZOR, W.O. Soil testing for phosphorus in some Nigerian soils: I. Comparison of methods of determining available phosphorus in soils of Southeastern Nigeria. SOIL SCIENCE, 123(1): 48-53, 1977a.
- _____. Soil Testing for phosphorus in some Nigerian soils: II. Predicting responses to phosphate application for soils of Southeastern Nigeria. SOIL SCIENCE, 123(2):

- 111-6, 1977b.
- FULLER, W.H., & MCGEORGE, W.T. Phosphate in calcareous Arizona soils. SOIL SCIENCE, 71(1): 45-50, 1951.
- GARDNER, R., & KELLEY, O.J. Relation of pH to phosphorus solubility in Colorado soils. SOIL SCIENCE, 50: 91-102, 1940.
- GONZÁLEZ, T.R., AVILAN, R.L., & CHIRINOS, A. Metodos de analisis del fosforo de suelos de los Estados Barinas y Cojedes estudiados em invernadero. AGRONOMIA TROPICAL, 28(1) 3-14, 1977.
- HALSTEAD, R.L. Chemical availability of native and applied phosphorus in soils and their textural fractions. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 31(3): 414-8, 1967.
- HOLANDA, F.J.M. Evaluation of different laboratory indexes and plant measurements of phosphorus availability in Arizona soils. Arizona, 1972. 40p. Thesis (M.S.) University of Arizona.
- JONES, J.P. Chemical methods for evaluation of available phosphorus in Arizona soils. Arizona, 1959. 73p. Thesis (M.S.) University of Arizona.
- KURTZ, T., DeTURK, E.E., & BRAY, R.H. Phosphate adsorption on by Illinois soils. SOIL SCIENCE, 61: 111-24, 1946.
- KAMPRATH, E.J. A Acidez do solo e a calagem. INTERNATIONAL SOIL TESTING, Raleigh. 1967. 22p. (Boletim Técnico nº 40)
- LAWTON, K., ROBERTSON, L.S., COOK, R.L., & ROOD, P.J. A study of correlation between rapid soils tests and response of legume hay to phosphorus and potassium fertilization on some Michigan soils. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 12: 353-8, 1947.
- LONG, O.H. A comparison of two soil test methods as correlated with wheat and cotton response to fertilizers. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 12: 255-61, 1947.

- MACY, P. The quantitative mineral nutrient requirements of plants. PLANT PHYSIOLOGY, 11: 749-64, 1936 apud HOLANDA, F.M.J. Evaluation of different laboratory indexes and plants measurements of phosphorus availability in Arizona soils. Arizona, 1972. 40p. Thesis (M.S.) University of Arizona.
- MARTENS, D.C., LUTZ, J.A., & JONES, G.D. Form and availability of P in selected Virginia soils as related to available P tests. AGRONOMY JOURNAL, 61:616-21, 1969.
- NELSON, W.L., MEHLICH, A., & WINTERS, E. The development, evaluation, and use of soil tests for phosphorus availability, 153-8 p. In: PIERRE, W.H., & NORMAN, A.G. (Ed.) SOIL AND FERTILIZERS PHOSPHORUS IN CROP NUTRITION, Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1953 (Agronomy 4).
- OLSEN, S.R., COLE, C.V., WATANABE, F.S., & DEAN, L.A. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S.D.A. Circular 939, Washington, D.C., 1954a.
- OLSEN, S.R., WATANABE, F.S., COSPER, H.R., LARSON, H.R., & NELSON, L.B. Residual phosphorus availability in long-time rotations on calcareous soils. SOIL SCIENCE, 78(2): 141 - 51, 1954b.
- OLSEN, S.R., & DEAN, L.A. Phosphorus, 1035-49p. In: BLACK, C.A. et alii. METHODS OF SOIL ANALYSIS part 2: chemical and microbiological properties. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965, 801p. (Agronomy 9).
- OZUS, T., & HANWAY, J.J. Comparisons of laboratory and greenhouse tests for nitrogen and phosphorus availability in soils. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 30(2): 224-8, 1966.
- PACK, M.R., & GOMEZ, R.S. Correlation between plant analysis and soil test in New México. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 20(4): 529-31, 1956.

- PETERSON, G.W., & COREY, R.B. A modified Chang and Jackson procedure for routine fractionation of inorganic soil phosphates. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 30(5):563-5. 1966.
- PRATT, P.F., & THORNE, D.W. Solubility and physiological availability of phosphate in sodium and calcium systems. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 13: 213-7, 1948.
- PRATT, P.F., & GARBER, M.J. Correlations of phosphorus availability by chemical tests with inorganic phosphorus fractions. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 28(1): 23-6, 1964.
- PERKINS, H.F. Short term procedure for correlation of soil test values for phosphorus with growth of brow top millet. AGRONOMY JOURNAL, 57(4): 410-1, 1965.
- SING, R.N., MARTENS, D.C., & OBENSHAIN, S.S. Plant availability and form of residual phosphorus in Davidson clay loam. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 30: 617-20, 1966.
- SNEDECOR, G.W. STATISTICAL METHODS. Ames, Iowa, Iowa State College Press, 1959.
- SMITH, F.W., ELLIS, B.G., GRAVA, J. Use of acid fluoride solutions for extraction of available phosphorus in calcareous soils and soils to wich rock phosphate has been added. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 21: 400-4, 1957.
- SMITH, F.W., & COOK, R.L. A study of the relationship between chemically available phosphorus and plant response on several Michigan soils. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 17: 26-30, 1953.
- SUSUKI, A., LAWTON, K., & DOLL, E.C. Phosphorus uptake and soil tests as related to forms of phosphorus in some Michigan soils. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 27(4): 401-3, 1963.
- THOMAS, G.W. & PEASLEE, D.E. Testing soils for phosphorus, 115-32p. In: WALSH, L.M., BEATON, J.D. (Ed.) SOIL TESTING AND PLANS ANALYSIS. Madison, Wisconsin, Soil Science

Society of America, 1973, 491p.

VIEIRA, L.S. Ocorrência e forma de fósforo em solos da Amazônia, Brasil. Turrialba, 1966. 110p. Tese (M.S.) Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA.

VOISIN, A. ADUBOS: NOVAS LEIS CIENTÍFICAS DE SUA APLICAÇÃO. São Paulo, Ed. Mestre Jou, 1973. 121p.

WATANABE, F.S., & OLSEN, S.R. Colorimetric determination of phosphorus in water extracts of soil. SOIL SCIENCE, 93: 183-8, 1962a.

_____. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO_3 extracts from soil. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 677-8, 1965b.

WESTIN, F.C., & BUNTLEY, G.J. Soil phosphorus in South Dakota: I. Inorganic phosphorus fractions of some soil series SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 30(2): 245-8, 1966a.

_____. Soil phosphorus in South Dakota: II. Comparison of two availability tests with inorganic phosphorus fractions. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 30 (2): 248-53, 1966b.

_____. Soil phosphorus in South Dakota: III. Phosphorus fractions of some Borolls and Ustolls. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 31(4): 521-8, 1967.

ZUBRISKI, J.C. Relationships between forms of soil phosphorus, some indexes of phosphorus availability and growth of Sudangrass in greenhouse trials. AGRONOMY JOURNAL, 63 (2): 421-5, 1971.