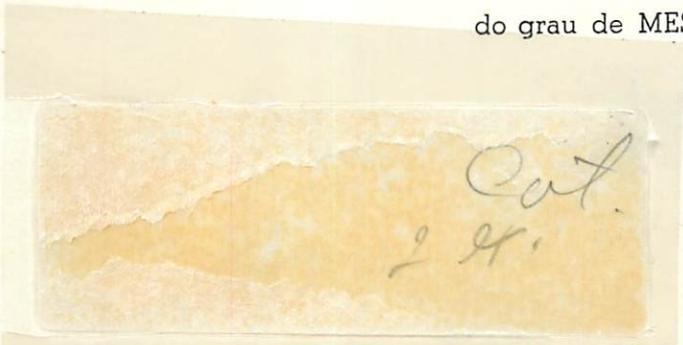


ANTÔNIO CARLOS VARGAS MOTTA

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM  
SOLOS DE VÁRZEA DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Planta, para obtenção do grau de MESTRE.



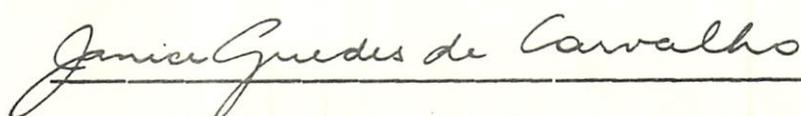
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRÁS

LAVRAS - MINAS GERAIS

1988

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS DE VÁRZEA DO  
ESTADO DE MINAS GERAIS

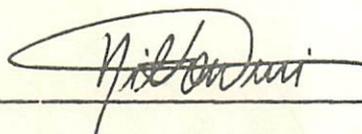
APROVADA:



Prof<sup>ª</sup>. Janice Guedes de Carvalho  
Orientadora



Prof. Geraldo Aparecido de Aquino Guedes



Prof. Nilton Curi

À memória de meu pai Cyro, que com sa  
crifício e dedicação deu sua contribuição  
para a conclusão dos estudos.

À minha mãe Alda e irmãos, Agnaldo, An  
selmo, Cyro, Ildete, Celso, Rogério, Val-  
dete e Luciano, pelo incentivo em todo de  
correr dos estudos.

À minha noiva Marla, pelo carinho e  
incentivo,

DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do Solo pela oportunidade para a realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES -, pela bolsa de estudo concedida.

À professora Janice Guedes de Carvalho, pela valorosa colaboração e orientação durante todo o decorrer do curso.

Ao professor Nilton Curi, pela colaboração e confiança depositada durante o decorrer do curso.

Ao professor Geraldo Aparecido de Aquino Guedes, pelas valiosas sugestões e colaboração.

Aos professores do Departamento de Ciência do Solo pelos ensinamentos transmitidos e pela agradável convivência durante o decorrer do curso.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do solo, pela colaboração e amizade.

Aos colegas do curso pela sincera amizade e constante

v  
incentivo, especialmente Ataíde, José Maria, Socorro, Marilene, Cé-  
lia, Aduino, João Batista e Giovanni.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuí-  
ram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE QUADROS .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Solos de várzea .....	4
2.2. Alterações provocadas pela inundação .....	7
2.3. Extratores de P disponível .....	17
2.4. Comparação entre métodos de extração de P disponível .....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	30
3.1. Material de solos utilizados, coleta e preparo ..	30
3.2. Análises físicas e químicas .....	31
3.3. Instalação do experimento .....	34
3.4. Condução do experimento .....	34
3.5. Análise química de matéria seca .....	36
3.6. Métodos de determinação do P disponível no solo .	36

3.6.1. Métodos de Olsen + EDTA de acordo com MIY AKE et alii .....	37
3.6.2. Método de Mehlich-1 segundo EMBRAPA .....	37
3.6.3. Método de Bray-1 de acordo com BRAY & KUR TZ .....	38
3.6.4. Método da RTI de acordo com RAIJ & QUAG - GIO .....	38
3.7. Análise estatística dos dados .....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
4.1. Extração de P disponível .....	40
4.2. Correlações entre P disponível extraído pelos mé- todos utilizados .....	44
4.3. Correlação entre produção relativa e P disponí- vel extraído pelos métodos utilizados .....	45
4.4. Influência da aplicação de fósforo e da inunda- ção sobre a produção de matéria seca, concentra- ção de fósforo na parte aérea e quantidade de P absorvido .....	61
5. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	67
6. RESUMO .....	70
7. SUMMARY .....	72
8. CONCLUSÕES .....	75
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76

## LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página
1	Esquema mostrando a disposição dos solos na paisagem. Os solos aluviais e hidromórficos - os solos de várzea - ao longo dos rios, sujeitos a inundações periódicas, são, em geral facilmente identificados em condições de campo. Os solos dos terraços, não mais inundáveis, já com horizonte B, planos, destacam-se dos solos acidentados das elevações ..... 5
2	Representação esquemática de uma sequência de solos de várzeas ..... 6
3	Relação entre a produção relativa, e os teores de fósforo no solo extraído pela metodologia da RTI, em condição de inundação (A) e sequeiro(B) 50
4	Relação entre a produção relativa, e os teores de fósforo no solo extraído pela metodologia de Bray-1, em condições de inundação (A) e sequeiro (B) ..... 52

## Figuras

## Página

- 5 Relação entre a produção relativa, e os teores de fósforo no solo extraído pela metodologia de Olsen + EDTA, em condições de inundação (A) e sequeiro (B) ..... 59
- 6 Relação entre a produção relativa, e os teores de fósforo no solo extraído pela metodologia do Mehlich-1, em condições de inundação (A) e sequeiro (B) ..... 59

## LISTA DE QUADROS

Quadros		Página
1	Resultados de algumas análises físicas dos solos de várzea selecionados .....	32 ..
2	Resultados de análises químicas dos solos de várzea selecionados .....	33
3	Fontes e doses de nutrientes aplicados aos solos .....	35
4	Fósforo disponível extraído pelos métodos utilizados .....	41
5	Coefficientes de correlação entre P disponível extraído pelos métodos utilizados .....	44
6	Coefficiente de correlação entre a produção relativa (PR) e P disponível pelos métodos de Mehlich-1, resina trocadora de íons (RTI), Olsen + EDTA, Bray-1, nas condições de inundação e sequeiro .....	46

## Quadros

## Página

7	Dados da produção de matéria seca (MS), concen <u>tração</u> de P na parte aérea, quantidade de P <u>ab</u> sorvido e produção relativa (PR) .....	64
---	--	----

## 1. INTRODUÇÃO

O rápido crescimento da população mundial, principalmente nos países em desenvolvimento, tem gerado déficit na produção de alimentos. Esse déficit tende a se agravar caso não ocorra em breve um aumento na produção, através de maiores produtividades nas áreas cultivadas e/ou com a expansão das fronteiras agrícolas.

O aumento da produtividade vem sendo conseguido com controle de diversos fatores da planta, solo e clima, destacando-se o uso de fertilizantes como mostram William e Couston, citados por BRAGA (19). Entretanto, os fertilizantes têm em sua matéria prima recursos naturais esgotáveis, principalmente o P, que tem a sua reserva mundial estimada em apenas o suficiente para um período de uso de 50 anos, segundo GOEDERT & LOBATO (51). Torna-se portanto, indispensável, o seu uso de forma racional, baseando-se em métodos confiáveis de avaliação da disponibilidade do mesmo nos diferentes solos.

A expansão da área cultivada vem sendo feita com êxito no tocante às várzeas, segundo LAMSTER (69). Ainda de acordo com

o mesmo, esta fronteira agrícola tem como vantagens a topografia plana, o fácil uso da irrigação e uma distribuição por todos os estados do país.

Os solos de várzea têm sido muito utilizados com o cultivo do arroz por inundação, que apresenta maiores produtividades quando comparado com cultivo de sequeiro, de acordo com SOARES (129). Dessa forma aumentar-se-ia a oferta de um alimento do qual o Brasil ainda não é autosuficiente e que faz parte da dieta básica da população nacional e de aproximadamente dois terços da mundial.

Todavia com a intensificação do uso dos solos de várzea, com a implantação do Provárzeas Nacional na década de 70, vem ocorrendo deficiências de alguns nutrientes, como foram verificados por PEREIRA (98) e ABREU (1), para o P. Apesar do nível do mesmo na análise de solo se mostrar alto, foram observadas respostas à sua aplicação, indicando assim uma possível falha na metodologia de avaliação do P no solo.

Além disso, existem pouquíssimos trabalhos envolvendo comparação da eficiência de extratores no que tange à disponibilidade deste macronutriente nos ecossistemas das várzeas brasileiras.

Diante da necessidade de se ter informações mais seguras na avaliação do P em solos de várzeas e posterior uso da mesma para recomendação de adubação, foram testadas várias metodologias de extração do P, para selecionar a que mais se adapta à condição dos solos de várzeas estudados.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Quando se fala em várzea tem-se a idéia de terreno de depressão próximo a curso de água ou local de acúmulo da mesma. Para REIS & RASSINI (112), várzea é definida como áreas condicionadas a um regime de excesso de umidade e a processos químicos de redução, bem como com alta variabilidade de solos e cobertura vegetal típica de mata ou campo hidrófilo.

Levantou-se, sob liderança de EMBRATER, 24.155.103 ha de várzeas até o fim de 1979, esperando ainda atingir cerca de 30.000.000 de ha de várzeas irrigáveis no Brasil.

O Estado de Minas Gerais, com tal levantamento já concluído, tem cerca de 1.500.000 ha de várzeas irrigáveis, das quais 30% são periodicamente inundadas, de acordo com LAMSTER (69).

Pelas características favoráveis, principalmente ao cultivo do arroz por inundação, o Estado de Minas Gerais poderia facilmente quadruplicar sua produtividade média de arroz com a plena e racional utilização das várzeas que possui, MORAIS (83).

## 2.1. Solos de várzea

LAMSTER (69) afirma que, pela sua localização os solos de várzea possuem algumas particularidades. Segundo o autor, são solos aluviais e/ou hidromórficos, geralmente planos e ricos em matéria orgânica, facilmente irrigáveis, de fertilidade elevada, sujeitos à inundações temporárias ou não, apresentando umidade excessiva, necessitando, por isso, de drenagem adequada. FREIRE & NOVAIS (49) acrescentam que estes solos são originários de deposições de material transportado por curso d'água ou mesmo trazido das encostas pelo efeito erosivo da chuva, de grande complexidade nas propriedades físicas e químicas, apresentando fertilidade bastante diversificada. Nota-se que, quanto à fertilidade dos solos de várzeas, os autores se contradizem; o que ocorre é a idéia generalizada de que solos de várzeas são férteis, entretanto, muitos trabalhos em regiões tropicais têm mostrado o inverso como se verá a seguir.

Como foi anteriormente exposto, as várzeas são originadas de sedimentos fluviais, e a idade destes sedimentos não é avançada. Segundo ALMEIDA et alii (5), estes materiais datam do Quartenário (Holoceno). BIGARELLA (15) ressalta que neste período ocorreu um ciclo de erosão que recortou as vertentes e passou a depositar o material no fundo do vale; nas vertentes, a condição climática da época propiciou a solifluxão, formando rampas de colúvios ou rampas de colúvios aluviários, quando associados com depósitos aluviários.

A posição dos solos de várzea na paisagem pode ser facilmente visualizada, mostrando que a várzea, como um todo, é um ambiente à parte com uma disposição peculiar como é mostrado na Figura 1.

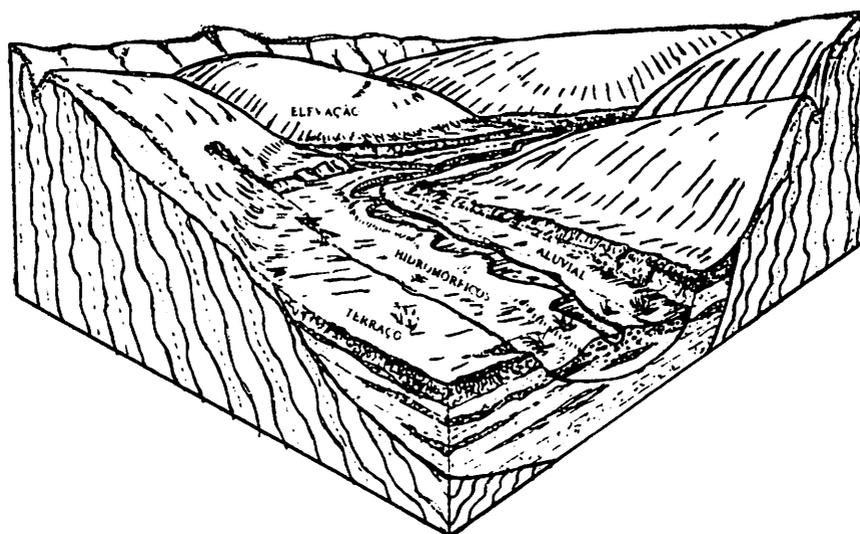


FIGURA 1 - Esquema mostrando a disposição dos solos na paisagem. Os solos aluviais e hidromórficos - os solos de várzea - ao longo dos rios, sujeitos a inundações periódicas, são, em geral facilmente identificados em condições de campo. Os solos dos terraços, não mais inundáveis, já com horizonte B, planos, destacam-se dos solos acidentados das elevações. Fonte: RESENDE & REZENDE (113).

Uma seqüência bastante comum de disposição de solos Aluviais e Hidromórficos na paisagem pode ser representada pela Figura 2.

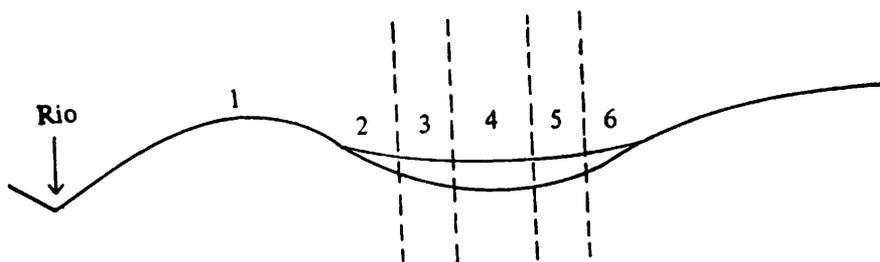


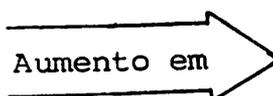
FIGURA 2 - Representação esquemática de uma seqüência de solos de várzea.

Associados com a posição na paisagem têm-se:

1. solos Aluviais
- 2 e 6. Gleis Pouco Húmicos
- 3 e 5. Gleis Húmicas
4. solos Orgânicos.

Quando se consideram as propriedades desses solos, há as seguintes tendências:

Solos Aluviais → Gleis Pouco Húmicas → Gleis Húmicas → Solos Orgânicos



teor de matéria orgânica, deficiência de arejamento, altura e es-

tabilidade relativa do nível de água, adsorção de pesticidas, previsibilidade de propriedades, segundo CURI et alii (37).

Em Minas Gerais, os solos Aluviais são os que estão mostrando maiores produtividades para o cultivo do arroz por inundação, SOARES (129). Tais solos são caracteristicamente muito variáveis a pequenas distâncias, podendo apresentar limitações quanto à fertilidade e ao excesso de água (variável conforme as diversas estações do ano) (5, 37, 49, 68).

Os solos Hidromórficos (Glei Pouco Húmico, Glei Húmico e Orgânico) podem ficar encharcados permanente ou temporariamente, ocorrendo condições de redução e conseqüente acúmulo de matéria orgânica.

## 2.2. Alterações provocadas pela inundação

Segundo CARVALHO et alii (27), no período chuvoso é indicada a utilização da cultura do arroz em 95% dos casos pois é uma das poucas culturas que se adaptam a solos excessivamente úmidos. A umidade excessiva é uma característica das várzeas no periodo de chuvas, mesmo que se tenha um bom sistema de drenagem sendo esta a razão da maioria dos solos de várzea atualmente serem cultivados com arroz por inundação ou mesmo em condição de sequeiro sujeito à inundação no período de chuva.

A inundação no arroz, controlada ou não pelo homem, propicia grande número de modificações nas propriedades destes so

los, que já são do conhecimento científico de longa data. Entretanto, é difícil separar as variações das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, quando inundado.

As modificações apresentadas na atividade biológica são várias, visto que, com a inundação, ocorre uma mudança na disponibilidade de oxigênio, pois a taxa de difusão em água é muito baixa, atingindo valores 10.000 vezes menores aos que normalmente ocorrem nos poros do solo. Como o consumo de oxigênio é superior à quantidade difundida, apenas uma pequena espessura do solo que é dependente do balanço difusão/consumo, permanece sob condição aeróbica (2, 96, 101).

Logo, grande parte do volume do solo inundado vai propiciar o desenvolvimento de microorganismos anaeróbicos ou aeróbicos facultativos, em detrimento dos microorganismos aeróbicos. YOSHIDA (133), cita que Takai e Kamura demonstraram que a ausência completa de oxigênio molecular é verificada após um dia de submersão, e que níveis de dióxido de carbono aumentam rapidamente, havendo um aumento posterior de metano e hidrogênio molecular devido ao aumento da atividade de microorganismos anaeróbicos no solo submerso, ocorrendo ainda um aumento de ácidos orgânicos principalmente ácido acético que decai após alguns dias de submersão.

De acordo com PONNAMPERUMA (100) e PATRICK & MAHAPATRA (96), a decomposição da matéria orgânica em condições anaeróbicas se caracteriza pela quebra incompleta dos carboidratos em metano, ácidos orgânicos e hidrogênio. Como consequência, tem-se menor produção de energia e menor taxa de decomposição da matéria orgânica, entre outras.

Além da formação de diversas substâncias intermediárias microbianas adversas à condição aeróbica, deve-se aos microorganismos uma das principais reações do solo inundado que é a redução de diversos elementos, quando da decomposição da matéria orgânica. De acordo com RUSSEL (117) e PONNAMPERUMA (101), isto se deve à ausência de  $O_2$  no solo que é o elemento que normalmente recebe os elétrons que advêm da redução biológica da matéria orgânica, na ausência de  $O_2$ . Outras substâncias tais como nitratos, cátiões de alta valência, principalmente Fe e Mn, passam a receber esses elétrons provocando assim a redução destes. Contudo, a redução pode também ocorrer através de produtos do metabolismo excretado pelos microorganismos.

A inundação gera também uma série de mudanças nas propriedades químicas que interferem em quase todas as reações do solo. Entre estas temos: decréscimo do pH em solos alcalinos e um aumento do pH em solos ácidos, decréscimo do potencial de oxi-redução induzindo a redução de alguns elementos, mudança na força iônica, uma drástica substituição no equilíbrio dos minerais, reações de troca de cátiões e ânions e, sorção de íons (2, 82, 97, 101).

Maiores modificações podem ocorrer com ciclos de inundação e secagem, quando realizadas por longos períodos, como foi observado por GONG (55), que encontrou variação na composição mineralógica e, aumento acentuado na perda de Ca, Mg, K e P na água de percolação.

Estas mudanças nos solos inundados afetam profundamente a disponibilidade de certos nutrientes. No caso do fósforo tem

se um aumento na disponibilidade, sendo que este aumento se deve à conversão de formas não disponíveis. Esta transformação é ocasionada por: 1) redução de fosfato férrico para formas mais solúveis de Fe; 2) disponibilidade de compostos de fósforo solúvel motivada pela redução e dissolução das capas oxidadas que rodeiam as partículas de fosfatos; 3) hidrólise de alguns fosfatos de Fe e Al em solos ácidos, a qual resulta na liberação de parte do fósforo fixado a um pH mais alto do solo; 4) aumento da mineralização do fósforo orgânico em solos ácidos com elevação do pH a valores entre 6 e 7; 5) aumento da solubilidade da apatita em solos calcários, quando o pH diminui para faixa de 6 a 7; 6) maior difusão de  $H_2PO_4^-$  devido a um maior volume de solução do solo; 7) liberação do P da matéria orgânica, particularmente fitatos de Fe; 8) troca de fosfato de Fe e Al pelos ânions orgânicos, (56, 97, 101, 120). Entretanto a importância de cada reação no aumento da disponibilidade de P é muito difícil de ser quantificada.

A disponibilidade de P no solo inundado varia de solo para solo e no tempo para um mesmo solo como observou MORAES(82), e ABREU & LOPES (2). A cinética do P em solo inundado foi estudada por PONNAMPERUMA (101), para 5 solos com diferentes texturas, teor de matéria orgânica, ferro ativo e pH. Valores altos de P na solução são encontrados em solos arenosos calcários com baixo teor de Fe, teor moderado em solos arenosos baixo em Fe, e teor pequeno ou próximo a nulo em solo argiloso de argila ácida ferralítica havendo um aumento no início da inundação atingindo um pico e posteriormente declinando.

Variações na disponibilidade de P foram constatadas

com o cultivo de arroz por inundação, por GUPTA & SINGH (59) em 9 solos usando  $P^{32}$ . Eles verificaram que o P lábil em alguns solos atingiu o valor máximo em 25 dias, decrescendo ou permanecendo constante até 45 dias; em outros, o P lábil cresce continuamente até 45 dias e presumivelmente após 45 dias. Neste trabalho os autores levantaram a hipótese de que o grau de cristalinidade dos minerais contendo P são de grande importância no aumento do teor de P disponível quando da inundação, visto que alguns solos, apesar de apresentarem alto teor de P total, podem às vezes apresentar menor teor de P lábil que alguns solos de baixo teor de P total.

O aumento do P disponível não é constante, assim como ocorre com o P na solução (6, 42, 82, 122). Em alguns solos, ocorre um decréscimo do P disponível após certo tempo de inundação; entretanto os níveis do P não chegaram a ficar iguais aos encontrados antes da inundação.

A variação do P disponível com o tempo pode sofrer influência da planta caso o solo seja cultivado ou não, da aplicação do P e da quantidade do P aplicado como constataram SAVANT & ELLIS (122) e ALVA et alii (6). Logo, a amostragem do solo inundado é problemática pois os dados obtidos em um período não necessariamente indicam o P disponível que a planta encontra ao se desenvolver.

O decréscimo do P disponível que pode ocorrer após algum tempo de inundação, tem como possíveis causas a reprecipitação do P em compostos amorfos neoformados, o que aumenta em muito a superfície específica do solo e a difusão do P da camada reduzi

da para a oxidada onde ele precipita, de acordo com PONNAMPERUMA (100) e PATRICK & KRALID (95).

A planta do arroz tem mostrado um sofisticado mecanismo de controle da oxidação da rizosfera, regulando assim um maior ou menor aumento do P disponível ou ainda diminuindo o P através da oxidação da rizosfera quando em níveis muito altos, segundo ALVA et alii (6).

Após a drenagem de um solo sujeito a inundação o mesmo tende a voltar à condição anterior, podendo surgir alguns problemas que não existiam na condição de inundação, caso se cultive o solo.

Quando se considera o ciclo de inundação e drenagem por longo tempo, tem sido verificado uma acidificação de solo e grandes perdas de Fe e Mn para camadas inferiores como constatou GONG (55).

Trabalhos de SAH & MIKKELSEN (118, 119) e BRANDON & MIKKELSEN (21) têm mostrado variações nas formas de P e aumento da fixação do P após drenagem, provocando sérias deficiências na cultura em rotação com arroz; todavia, estes processos tendem a decrescer com o tempo de drenagem do solo e com o número de ciclos de inundação e drenagem. Estes autores também observaram que a deficiência se apresentava mesmo com o nível do P disponível analisado estando alto. OKO & AGBOOLA (90) que encontraram o mesmo problema no cultivo do arroz por inundação após drenagem, sugerem que isto ocorra devido ao fato de haver uma maior extração de alguns compostos ferrosos de P que permanecem após a secagem.

A inundação, além de aumentar a disponibilidade de P, faz com que ocorram modificações nas frações de P no solo, que podem ser de grande importância na disponibilidade do P para a planta e na determinação do P disponível, de acordo com MAHAPATRA & PATRICK (75) e SAH & MIKKELSEN (119).

Estudos realizados por MAHAPATRA & PATRICK (75), fracionando 16 solos cultivados extensivamente com arroz, mostraram que solos ácidos apresentaram grande parte do fósforo ligado com Al e Fe, enquanto Al-P predominava em solos menos ácidos. Entretanto, foi encontrado solo com pH 5,2 que apresentava Ca-P maior que Fe-P e em outro caso que solo com pH 6,9 apresentou Fe-P maior que Ca-P, e de todos os solos analisados apenas dois que apresentavam maior pH (7,6) tiveram o Al-P maior que Fe-P.

Os compostos de Fe ligados ao P têm grande importância em solos sujeitos à inundação, pois a esse tem sido alegada a elevação da disponibilidade do P, quando da inundação. A importância do Fe-P na determinação do P disponível para arroz foi ressaltada por CHIANG (32) em revisão sobre métodos de P disponível, onde o autor concluiu que o teor de Fe-P serve como meio de avaliação de P disponível, pois a química do P no solo inundado está ligada à química do Fe: sob condições onde ocorre aumento da solubilidade do Fe, aumenta também a solubilidade dos fosfatos, segundo PATRICK & REDDY (97).

CHIANG (31) trabalhando em solos sob inundação verificou que no início da inundação houve um aumento no pH, P disponível e no conteúdo de Fe solúvel, e um decréscimo no Eh que tendeu a se estabilizar com o tempo. Análise dos dados demonstrou corre- → >>

lação negativa entre Eh e P disponível, e entre Eh e Fe, contudo, o aumento do P disponível e Fe não apresenta correlação com o aumento do pH. Verificou-se também uma correlação entre P disponível e Fe na solução, ressaltando o autor que a principal forma de P presente era Fe-P.

Resultados de DEDATTA et alii (42) mostraram também que, em solos ácidos, a avaliação de P pode ser associada com grau de redução do solo, apresentando melhor resultado que a utilização do pH:

Como se sabe, sob condições aeróbicas o aumento do pH aumenta a solubilidade de fosfato férrico, entretanto sob condição de redução, a máxima solubilidade de fosfato ocorre em condição de baixo pH, pois em condição de baixo pH os íons ferrosos solúveis não podem remover fosfato da solução dos solos; e com aumento do pH tem-se formação de óxidos e hidróxidos de Fe insolúveis que remove fosfato da solução do solo, segundo PATRICK & REDDY (97).

Fator de grande importância direta ou indiretamente para o P disponível em solos inundados é a classe e quantidade de matéria orgânica que controla o decréscimo do Eh, como o aumento da disponibilidade de P, de acordo com PONNAMPERUMA (100), além de influir no mecanismo de redução. PATRICK & MAHAPATRA (96) citam a influência da matéria orgânica na formação de quelatos e que ambos os processos aumentam a solubilidade e disponibilidade de fosfato no solo. Em geral, a deficiência de  $O_2$  diminui a decomposição da matéria orgânica, contudo, DALAL (38), citando Campbell & Raez, verificou um aumento da mineralização do P orgânico,

quando da inundação, parecendo que esta decomposição está relacionada com a natureza da matéria orgânica. PATRICK & MAHAPATRA (96) citam ainda que a transformação de fosfato inorgânico para a forma orgânica, observada por diversos autores, pode diminuir o P disponível e que a matéria orgânica, tem papel importante na redução da intensidade de fixação de fosfato pelos óxidos.

As transformações que ocorrem com a inundação interferem também no P aplicado, pois as reações do sorção-dessorção são modificadas. Trabalho realizado por PATRICK & KRALID (95) mostrou que solos em condição de anaerobiose desorvem mais fosfato para a solução do solo quando esta é baixa em fosfato solúvel, e adsorvem mais fosfato da solução do solo quando esta é alta em fosfato solúvel em comparação com o mesmo solo em condições aeróbicas, sendo estas mudanças atribuídas às modificações ocorridas nos óxidos e hidróxidos de Fe pela redução. GUPTA & SINGH (59) detectaram que compostos ferrosos e outros criados com a inundação, apresentam uma grande área superficial, propiciando grande adsorção.

O  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e Fe ativo tiveram maior influência que o pH no declínio da concentração do P na solução, quando da aplicação de fosfato solúvel em 3 solos, onde se cultivou arroz, em trabalho realizado por MANDAL & DAS (77).

Resultados de CHIANG (32) são concordantes quando para os diferentes solos; entretanto, este autor analisou a fixação do P com decorrer do tempo até completa fixação que foi atingida em 5-9 dias em solos ácidos e em 13 dias em solos alcalinos.

SAH & MIKKELSEN (119) encontraram maior recuperação do

fertilizante fosfatado aplicado em solos inundados e drenados do que em solos que não foram inundados, mostrando que a reação se dá devido à compostos pouco estáveis. O fracionamento recuperou mais P na forma Fe-P, em solo inundado, do que Al-P em relação ao solo não inundado.

MAHAPATRA & PATRICK (75) observaram que, com aplicação de 400 ppm de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  em 2 solos incubados por 2 meses, pequena quantidade de P adicionado fica na forma solúvel como Al-P e Ca-P, ficando a maior parte na forma Fe-P.

O aumento na disponibilidade de P com a inundação torna, em certos casos, incerta a resposta da adubação fosfatada no arroz (42, 56, 73, 88, 97). Em alguns casos, o aumento no conteúdo de P chega a equivaler à aplicação de 130 kg de P/ha como fertilizante químico, de acordo com Chang e Chu, citados por DEDATTA et alii (42). Entretanto, em alguns solos, como já foi citado anteriormente, tem-se obtido alta resposta de P para a cultura do arroz, mostrando assim a possível falta deste elemento mesmo com a inundação.

A deficiência de P, mesmo sob condições de inundação, foi verificada no Estado de Minas Gerais, por PEREIRA (98), quando cultivando arroz em dois solos de várzea, a deficiência foi também mostrada na cultura do trigo cultivada em rotação com arroz. ABREU (1) ao avaliar o potencial da fertilidade natural dos solos de várzea, encontrou uma deficiência generalizada de P a curto prazo de cultivo com milho, sendo essencial a aplicação do mesmo. Todavia, PEREIRA (98) e ABREU (1) tiveram dificuldades na avaliação do P, pois ocorreu resposta a P em solos com alto nível

deste nutriente, sugerindo maiores estudos sobre o assunto.

### 2.3. Extratores de P disponível

O uso de extratores de P vem desde o século passado, porque nesta época é que realmente se provou que o solo era responsável pela nutrição da planta. Em 1804 estabeleceu-se que o solo era o fornecedor de minerais indispensáveis à vida da planta ; mais adiante, em 1840, Liebig estabeleceu que a planta se nutria de alguns poucos elementos minerais retirados do solo, de acordo com MALAVOLTA (76).

O conceito de grande importância no desenvolvimento de um extrator foi o da existência de formas inativas e ativas de nutriente do solo, introduzido em 1845, por Daubeny. Já no final do século, Dyer, na tentativa de imitar a absorção de P pela planta, idealizou uma solução extratora com pH similar à seiva radicular. Para diversas espécies de plantas, o extrator proposto por ele foi o ácido cítrico 1%, com a extração em 7 dias à temperatura constante, de acordo com KAMPRATH & WATSON (67) e HESSE (62). A partir de então, grande número de extratores foram criados. Entretanto, dificuldades são encontradas quando se usa grande número de solos e culturas com diferentes características. Uma solução para ser considerada como bom extrator deve apresentar as seguintes características: 1) deve extrair toda ou parte proporcional da forma disponível do nutriente de solos com diferentes proprie-

dades; 2) a quantidade do nutriente extraída deve ser medida com precisão e rapidez; e 3) a quantidade extraída deve correlacionar com o crescimento e resposta de cada cultura com nutriente sob várias condições, de acordo com Bray, citado por BRAGA (19).

As particularidades encontradas fizeram com que alguns extratores tivessem melhores resultados em determinadas classes de solos de uma região do que outra, levando a uma seleção de métodos a nível regional, segundo ANGLINONE & VOLKWEISS (9).

Devido a algumas características químicas comuns às soluções extratoras, estas podem ser divididas em 4 grupos ou categorias, KAMPRATH & WATSON (67) e CHANG (30), as quais são: 1) solução de ácido forte diluída, na qual são usados comumente os ácidos HCl, HNO<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, em concentrações que variam de 0,002N a 0,075N, dando pH entre 2 a 3 que é baixo o suficiente para solubilizar Ca-P e alguns Al-Pe e Fe-P. Destaca-se neste grupo o extrator Mehlich-1. 2) Solução de ácido forte diluída com íons complexantes. O íon complexante mais usado é o F<sup>-</sup>, o qual complexa Al e Ca. O composto fluorado mais usado é NH<sub>4</sub>F, geralmente misturado com HCl. O Bray-1 é o extrator mais importante desta classe. 3) Solução de ácido fraco diluída. Os ácidos e sais mais utilizados são os ácidos cítricos, láctico e acético. 4) Solução alcalina tampoadada. A solução mais comum é o NaHCO<sub>3</sub> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. O HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> é muito efetivo na troca de P adsorvido e o Na na redução da atividade do Ca na solução, além da hidrólise de Al e Fe, devido ao alto pH, retirando P.

A RTI (Resina Trocadora de íons) não foi incluída por estes autores. Possivelmente seria incluída em uma quinta classe,

pois suas características químicas diferem das quatro categorias apresentadas acima, assim como sua maneira de extração. Uma definição simples sobre RTI foi apresentada por PESSENDA (99), na qual a resina é um material sintético de malha ou matriz, onde são fixados por adsorção cargas positivas ou negativas, sendo a reação de troca iônica reversível, podendo-se aplicar a esta a lei da ação das massas. Apesar da resina apresentar características similares a outros extratores, ela pode ter, na solução, ânions  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$ , cátion  $\text{Na}^+$  e pH variável, os quais influem na extração, como já foi mostrado anteriormente.

Em um pequeno período de tempo, 4 importantes extratores de P foram criados, sendo eles o Bray-1, Mehlich-1, Olsen e RTI, nos anos 1945, 1953, 1954 e 1955, respectivamente. Os três primeiros se destacam atualmente como os extratores mais usados na determinação de P, segundo afirmação de WIETHOLTER (132). A RTI vem sendo pesquisada e modificada para ser empregada na análise de rotina. Apesar dos bons resultados encontrados, é ainda pouco utilizada.

Bray-1 - O extrator de Bray-1 tem a finalidade de determinar o P disponível em solos de moderado grau de intemperismo e com baixa capacidade de troca de cátions. BRAY & KURTZ (22), em 1945, propuseram uma solução extratora de  $\text{NH}_4\text{F}$  0,03N +  $\text{HCl}$  0,025N, baseando-se no trabalho de Dictman & Bray, os quais sugeriram o  $\text{NH}_4\text{F}$  como um reagente para remover formas de fosfato adsorvidas e separando-as das formas solúveis em ácido.

A inclusão de um ácido no extrator Bray-1 faz com que formas mais ativas de Ca-P sejam dissolvidas. O  $\text{F}^-$ , por sua vez,

tem a propriedade de formar complexos com Al e Fe liberando P ligado a estes, além de precipitar Ca na solução, segundo KAMPRATH & WATSON (67) e OLSEN & DEAN (91).

Trabalho realizado por CAMARGO (26), sobre o papel do  $F^-$  na adsorção e dessorção, mostrou que o  $F^-$  afeta a isoterma de adsorção de P, tendo um efeito maior nos pontos de alta energia de retenção de P. O  $F^-$  aumentou a dessorção de P, pois cria carga negativa ao reagir com o solo.

Mehlich-1 - O extrator de Mehlich-1 (um extrator de P ácido), criado por Nelson em 1953, atualmente é o mais utilizado no Brasil. Na sua composição entra o HCl 0,05N + <sup>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025N. Tendo sido criado para solos altamente intemperizados, de baixa CTC e contendo pouco Ca-P, ele tem a vantagem de ser barato, de fácil execução e de boa repetitividade, segundo ANGLINONI & VOLKSWEISS (9) e WIETHOLTER (132). Sua ação é baseada na dissolução de Ca-P e algum Al-P e Fe-P devido ao baixo pH, e na capacidade do  $SO_4^{=}$  em diminuir a readsorção de P, de acordo com KAMPRATH & WATSON (67).

Olsen - Olsen e colaboradores (62, 65, 91), em 1954 propuseram a solução de NaHCO<sub>3</sub> tamponada a pH 8,5 como extrator de P para solos calcários onde predomina Ca-P. O Na<sup>+</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, desta solução tem como finalidade reduzir a atividade do Ca<sup>++</sup> que se encontra na solução quando da extração, diminuindo o Ca na solução e, como consequência, diminuindo a reprecipitação de P. O HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> também é efetivo na retirada do P adsorvido. O pH básico diminui a atividade do Al e Fe, decrescendo a reprecipitação do P na solução por estes dois elementos e aumenta a solubilidade do Al-P e Fe-P (62, 65, 67, 91, 132).

A utilização do bicarbonato como extrator provavelmente vem desde a descoberta de Metzger, citado por RILEY & BARBER (114) de que a rizosfera das plantas tinha alta concentração de  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_2$ , em relação ao solo não rizosferado, e que usualmente o aumento do pH é acompanhado pelo acúmulo de  $\text{HCO}_3^-$  na solução. Entretanto, a acumulação de  $\text{CO}_2$  não é só controlada pelo  $\text{CO}_2$  liberado da raiz. Trabalho conduzido por RILEY & BARBER (115) detectou que o conteúdo de P na raiz e caule correlacionou-se com o pH da rizosfera e não com o pH do solo. Segundo NAGARAJAH et alii (87), ácidos polibásicos e carbônicos que são encontrados na raiz são efetivos na substituição de fosfato nos colóides do solo e, quando adsorvido, o bicarbonato reduz a adsorção do P pela competição e mudança de carga.

Resina Trocadora de Íons - Atualmente a maior parte dos laboratórios do Estado de São Paulo utiliza a resina trocadora de íons como método oficial para análise de P. Este método teve sua origem com o trabalho de AMER et alii (7), em 1955, no qual o mesmo utilizou a resina trocadora de ânions de base forte Dowex-2 na forma  $\text{Cl}^-$  para a determinação do P disponível.

A vantagem da resina está na extração de P sem a utilização de reagentes químicos energéticos, que poderiam dissolver formas pouco disponíveis de fósforo, além do pH da suspensão ser um pouco abaixo da neutralidade e a baixa força iônica do meio, segundo RAIJ (111). Entretanto, o método hoje utilizado na rotina é fruto de muitas modificações que ocorreram desde sua criação. Por isso é necessário certo cuidado na análise de resultados de trabalhos, havendo sempre a necessidade de verificar-se a resina utili

zada e a metodologia empregada.

A resina trocadora de íons tem seletividade na adsorção de ânions. Portanto o coeficiente de seletividade sofre grande variação com a composição da resina, de acordo com Ohlweiler, citado por PESSANDA (99). A seletividade é de importância quando da adsorção do ânion específico a ser estudado, como no caso da extração de P e na retirada de ânions adsorvidos à resina, ou seja, eluição de ânions adsorvidos.

A adsorção de P pela resina trocadora de íons tem sido bastante estudada, e tem-se verificado que a adsorção de P sofre influência do tempo, concentração da resina, concentração de sal, dessorção de ânion, temperatura, pH, ânion adsorvido à resina e da concentração de Ca e P, relação solo-solução-resina, no sistema (10, 36, 126).

A adsorção de P pela RTI quando em equilíbrio com a solução e solo, se dá em ritmo acelerado no início; decrescendo em função do tempo até atingir o equilíbrio (7, 10, 35, 63, 74, 84, 93). A rápida adsorção de P no início provavelmente seja devido à liberação do P na fase sólida ou à retirada de P da solução. MO-SER et alii (84), encontraram valores equivalentes de P adsorvido para intervalos de 0 a 0,25 hora com 24 a 72 horas de adsorção, o que mostra como é intensa a adsorção inicial. De acordo com Barrow & Shaw's, citados por BACHE & IRELAND (10), a resina atingiu o equilíbrio com solução de P sem solo em 4 horas. Assim, a lenta aproximação do equilíbrio, quando se tem solo, é devida ao processo de dessorção e dissolução do solo, e provavelmente envolva difusão dentro dos agregados antes que se processe a troca de íons

na resina.

O tempo necessário para se atingir a condição de equilíbrio entre solo-resina-solução parece ser bastante grande. MO-SER et alii (84) e AMER et alii (7) utilizaram tempo superior a 2 dias e não chegaram à condição de equilíbrio do P. Contudo, SIBBESEN (126) verificou na extração de P com uso de várias resinas, uma grande influência da textura, onde solos de textura arenosa tendem a atingir equilíbrio rapidamente e que a resina seletiva ao P segue o mesmo princípio. BACHE & IRELAND (10) verificaram que os ânions que saturaram a resina tiveram influência na extração de P pela RTA, a resina saturada com  $\text{HCO}_3^-$  não atingiu a condição de equilíbrio no período de 12 dias, enquanto que a saturada com  $\text{Cl}^-$  atingiu este equilíbrio. Ainda de acordo com estes autores, considera-se o tempo de 90 horas como período no qual se atinge o equilíbrio.

O tempo utilizado atualmente em extração de P pela RTA é de aproximadamente, 16 horas pois este possibilitaria a extração de P muito próxima à extração máxima, além de possibilitar uma maior operacionalização do método nos laboratório de rotina (35, 74, 82, 84, 93). Nota-se que neste período já ocorre a dessorção de P do solo, sendo este P o principal indicativo do fator quantidade e capacidade, segundo HISLOP & COOKE (63).

SIBBESEN (126) e COOKE & HISLOP (35) verificaram que a variação na relação solo/água modifica a quantidade de P extraído. A utilização da resina na forma de carbonato é considerada por SIBBESEN (127) e BACHE & IRELAND (10) uma evolução na extração de P, pois esta apresenta algumas vantagens em relação às de-

mais formas. A resina saturada com  $\text{HCO}_3^-$  extrai quantidades próximas de P a partir de diversas resinas com propriedades diferentes, mostrando pequena interferência dos diferentes tipos de resina quando saturadas com  $\text{HCO}_3^-$ . Além de ter pequena variação no pH da solução na extração, a quantidade de P varia pouco com a mudança da relação solo/água; maior quantidade de P é extraída em relação a resina - Cl, principalmente em solo ácido, e a concentração de Ca e P na solução sofre menor decréscimo em relação a resina - Cl. Estas diferenças entre a resina -  $\text{Cl}^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ , segundo os autores, são devidas ao equilíbrio que ocorre na solução entre dióxido de carbono, ácido carbônico, bicarbonato e carbonato. A resina liberando  $\text{HCO}_3^-$ , que possui caráter anfótero, pode elevar ou abaixar o pH de acordo com o solo, aumentando a extração de P. Além disso, o  $\text{HCO}_3^-$  tem adsorção específica, diminui o Ca na solução e imita as condições encontradas na rizosfera onde a concentração de  $\text{HCO}_3^-$  se mostra alta.

A maioria dos trabalhos de extração de P pela resina utilizou apenas a resina trocadora de ânions. VAIDYANATHAN & TALIBUDEEN (131) mostraram que ao misturar a Resina Trocadora de Cations propicia-se maior dessorção de P do solo, devido a resina manter uma baixa concentração de cátions e ânions na solução.

#### 2.4. Comparação entre métodos de extração de P disponível

Uma adequada avaliação do P disponível deve incluir os

fatores Quantidade (Q), Intensidade (I) e Capacidade ( $\Delta Q / \Delta I$ ), bem como a difusão do elemento no solo, ou, pelo menos, informação de 2 destes, para que se possa predizer a absorção de P e, conseqüentemente, avaliar de modo adequado a capacidade de suprimento desse nutriente pelo solo, segundo NOVAIS & KAMPRATH (89), duras críticas são feitas aos extratores químicos, pois analisam apenas um dos fatores.

A avaliação do P geralmente é feita com solução extratora diluída (ácida ou básica). Estas fornecem valores de P que variam entre "intensidade" e "quantidade" ou valores superiores à quantidade, dependendo das propriedades dos reagentes e das condições de extração, sendo que o objetivo primário é que o P extraído se correlacione com o crescimento da cultura e resposta à adição de fertilizante, OLSEN & KHASAWNEH (92), NOVAIS & KAMPRATH (89).

No estabelecimento da relação entre o parâmetro selecionado de crescimento da planta e o elemento extraído do solo, pode-se usar métodos dedutivos, que são equações já estabelecidas como é o caso das equações de Liebig e Mitscherlich ou métodos indutivos onde se obtém o melhor ajustamento dos dados experimentais às equações do 1º, 2º ou 3º graus, segundo BRAGA (19). Tem dado bons resultados a equação  $y = a + \frac{b}{x}$ , conhecida como recíproca como verifica-se em trabalhos de RAIJ et alii (108) e MUZIL LI (85, 86).

O ajustamento dos dados às equações de 1º e 2º graus tem sido utilizado com bons resultados em diversos estudos (48,

74, 85, 93, 116).

A avaliação do P é complexa, pois extratores ácidos e básicos, hoje em uso, não extraem o P disponível isoladamente; mede-se fosfato trocável e também a solubilidade dos fosfatos do solo. Além disso, estes não são seletivos, pois reagem com outros compostos que não fosfatos, segundo MENGEL & KIRKBY (78).

Com a intensificação do uso de fosfato natural, a extração com extratores ácidos torna-se crítica, pois estes solubilizam sem distinção as formas solúveis ou insolúveis do fosfato natural, superestimando o P em solos onde este foi aplicado (110, 106, 124, 134). Entretanto, o extrator ácido com íon flúor Bray-1 não superestimou o nível quando da aplicação de fosfato natural (51, 124, 134), podendo ser utilizado nestes casos.

Outra limitação mostrada por RAIJ et alii (110) apresentada pelo extrator Mehlich-1 é na determinação do P nas "terras roxas", onde, apesar de aplicações elevadas de P solúveis, os teores de P no solo permanecem muito baixos ou baixos, mesmo nos casos em que as culturas não mais respondem à adubação.

A textura também tem grande influência na extração de P pelos extratores Bray-1 e Mehlich. Esta sensibilidade foi verificada por ANGLINONE & BOHNEN (8) e BAHIA FILHO et alii (12), onde a extração de P em solos argilosos é subestimada devido ao efeito diluição que ocorre nestes solos.

A avaliação do P extraído pode sofrer influência em solos ácidos de certos elementos que podem estar em concentração fitotóxica, principalmente o Al e Mn, de acordo com HAYNES & LUDE -

CKE (61). Em trabalho realizado por FONSECA et alii (48) com cultivo de milho, na zona cacauera da Bahia, foi observado, para solos onde o Al trocável foi menor que 0,2 meq/100 g, o coeficiente de correlação foi alto, mostrando-se altamente significativo para resposta relativa à adubação fosfatada versus teores de P extraído pelo Mehlich-1. Entretanto, nenhuma correlação foi encontrada em solos com teor de Al trocável maior que 0,2 meq/100 g solo.

Quando da avaliação de P dos solos inundados, outros fatores também são limitantes para sua análise. Segundo CHANG(28, 30), dois problemas são verificados: o primeiro é que o P disponível aumenta significativamente devido ao potencial de redox sob submersão; o segundo, uma análise feita em uma amostra de solo seco pode não refletir o status de P do solo que ocorrerá após a submersão.

Análise feita com diversos extratores em solos sob condições aeróbica e anaeróbica tem mostrado um grande aumento no P extraído sob condições anaeróbicas. O aumento na extração é variável, encontrando dados que verificam aumento de até 15 vezes (6, 31, 75, 82, 123, 125).

Revisões feitas por CHANG (28, 30), em 1963 e 1979, mostraram que o método de Olsen e Bray-1 são os métodos mais recomendados para solos inundados para a cultura do arroz, sendo que o método de Olsen tem sido recomendado para solos inundados da Índia. Entretanto em certos casos o Bray-1 se equiparou ao Olsen. Na Taiwan os trabalhos revisados mostraram que o Olsen e Bray-1 se mostraram bons, porém o Bray-1 é utilizado por ser mais simples. Nas Filipinas o método recomendado é o Olsen, apesar de em alguns

trabalhos em solos ácidos o extrator ácido de Truog ter se mostra do melhor. Na Tailândia o extrator recomendado é o Bray-2, contudo trabalhos recentes mostraram superioridade do Olsen e Bray-1.

A extração ácida, sem ânion complexamente, é pouco usada na extração de P em solos inundados, porém em grupos de solos onde P-Fe tem grande domínio, tendo pH geralmente abaixo de 5,5, os extratores ácidos podem se equiparar aos demais, segundo CHANG (28).

A superioridade do extrator de Olsen em relação ao Bray-1 e outros, em trabalho realizado por EKPETE (44), em solos ácidos de arroz da Nigéria, foi mostrada quando estes solos foram analisados pelos métodos Olsen, Bray-1 e 2, Truog e EDTA, em amostras sob condições de inundação e seca ao ar. Todos os extratores retiraram mais P em condição de inundação, e maiores correlações foram conseguidas quando se analisou o P extraído na condição de inundação com produção de matéria seca e fósforo absorvido, sendo todas significativas.

Estudos de solos de várzea do Estado de Minas Gerais, realizados por ABREU (1) e PEREIRA (98), têm mostrado que estes solos são deficientes em P em condição de sequeiro ou inundação. O extrator ácido de Mehlich superestimou o nível de P para a maioria dos solos estudados, tanto para a cultura inundada como para a de sequeiro; valores também superestimados de P determinados com extrator ácido de  $H_2SO_4$  0,5N foram também encontrados em solos de várzea do Vale do Paraíba em São Paulo, para a cultura da batatinha, milho, feijão, trigo e soja (14, 24, 25, 50, 52, 53, 54, 81). Respostas à adição de P em arroz sob inundação foram observa

das em quase todos os trabalhos realizados no Vale do Paraíba, se gundo LEITE et alii (71, 72), SCHMIDT & GARGANTINI (123), mostrando que extratores ácidos não são eficientes na extração de P em solos de várzea.

O extrator de resina trocadora de íons tem-se mostrado superior a outros métodos em diversas condições (11, 17, 23, 35, 57, 60, 66, 74, 84, 126) e, insatisfatório na análise do P disponível, e similar aos demais extratores utilizados em trabalho de BARBOSA FILHO (13) e RAIJ & FEITOSA (107).

Trabalhos recentes realizados principalmente no Estado de São Paulo, têm mostrado a superioridade da extração pelo método da resina, contudo várias modificações pela equipe I.A.C. foram feitas no método original para uso da resina em condição de análise de rotina.

GRANDE et alii (57) encontraram resultados satisfatórios da resina na avaliação de P para a cultura do arroz inundado em solos de várzea de Minas Gerais, e insatisfatórios para extrator ácido de Mehlich, necessitando de mais estudos para verificação da validade deste método na análise de P.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras, onde se cultivou o arroz, em dois sistemas de umidade (sequeiro e inundado) e dois níveis de adubação fosfatada (0 e 200 ppm).

#### 3.1. Material de solos utilizados, coleta e preparo

Foram utilizados 15 materiais de solos de várzea de diversas regiões de Minas Gerais. A maioria dos solos coletados já vinha sendo cultivado, principalmente com a cultura do arroz. Na seleção dos solos procurou-se diversificá-los quanto ao teor de matéria orgânica, teor de argila e nível de fósforo, para um melhor teste dos extratores.

Os materiais de solos foram coletados na camada de 0 a 20 cm, sendo posteriormente encaminhados ao laboratório onde fo -

ram secos à sombra, destorroados e passados em peneira com abertura de 2 mm.

### 3.2. Análises físicas e químicas

Foi determinada a densidade de partículas pelo método do picnômetro, conforme BLAKE & HARTGE (16). Na determinação da análise granulométrica utilizou-se princípio químico de dispersão com NaOH 0,1M e físico de agitação em alta rotação.

A fração areia (2 a 0,05 mm) foi obtida através de tamizagem; já as frações silte (0,05 mm a 0,002 mm) e argila (menor que 0,002 mm), foram determinadas segundo o método da pipeta, conforme GROHMANN & RAIJ (58). Devido alguns solos apresentarem alto teor de matéria orgânica foi necessário o pré-tratamento com peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) de acordo com EMBRAPA (45), para que se procedesse a análise granulométrica.

Na caracterização química, foram determinados: pH  $H_2O$ , K, Ca, Mg e Al, de acordo com EMBRAPA (45). As determinações de acidez potencial e carbono orgânico foram realizadas segundo a metodologia preconizada por RAIJ & QUAGGIO (109).

Os resultados obtidos nas análises físicas e químicas estão relacionados nos Quadros 1 e 2, respectivamente.

QUADRO 1 - Resultados de algumas análises físicas dos solos de várzea selecionados.

Solos	Densidade	Argila	Silte	Areia	Matéria orgânica
	do solo g.cm <sup>-3</sup>				
		%			
1	1,26	23	17	60	2,4
2	1,31	37	52	11	2,8
3	1,07	5	75	20	7,6
4	0,92	40	40	20	12,5
5	1,14	58	37	5	2,9
6	1,12	60	15	25	3,7
7	1,30	33	49	18	4,1
8	1,17	44	36	20	1,0
9	1,26	34	52	14	3,0
10	1,28	25	38	37	3,3
11	0,95	29	28	43	20,9
12	1,14	68	14	18	3,1
13	1,14	67	17	16	2,8
14	1,00	47	34	19	4,5
15	0,88	26	63	11	5,8

QUADRO 2 - Resultados de análises químicas dos solos de várzea selecionados.

Solos	pH H <sub>2</sub> O	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S	T	M	V
		ppm	meq/100 cc			meq/100 cc		%		
1	5,1	58	1,4	0,7	0,3	4,6	2,2	6,9	12	32
2	6,3	108	8,3	1,6	0,1	3,6	10,2	13,8	1	74
3	5,1	41	1,7	0,1	1,2	11,9	1,9	13,7	39	14
4	5,7	206	25,5	0,2	0,1	10,2	26,2	36,4	0	72
5	5,0	73	1,9	0,9	1,5	8,6	3,0	11,5	33	26
6	5,0	47	0,7	0,2	0,5	7,3	1,0	8,2	33	12
7	5,4	134	6,1	0,9	0,2	7,9	7,3	15,2	3	48
8	5,6	78	3,2	1,0	0,2	3,6	4,4	8,0	4	55
9	5,8	174	6,2	3,0	0,1	3,6	9,6	13,2	1	73
10	5,7	78	3,7	2,5	0,1	4,3	6,4	10,7	2	60
11	5,2	39	0,5	0,2	2,3	21,8	0,8	22,5	74	4
12	5,7	86	1,6	1,5	0,2	4,6	3,3	7,9	6	42
13	6,0	98	2,1	1,4	0,1	4,3	3,8	8,1	3	47
14	5,0	69	3,4	1,0	0,4	9,6	4,6	14,2	8	32
15	4,4	39	0,8	0,6	0,7	10,9	1,5	12,1	32	12

### 3.3. Instalação do experimento

O experimento foi instalado na casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da ESAL, no mês de novembro, com um total de 180 vasos com capacidade de 1 litro.

A cada vaso foram adicionados 500 gramas de TFSA, sendo a adubação feita com base no peso adicionado, tendo como fontes e doses os valores apresentados no Quadro 3. Os adubos foram aplicados aos solos na forma de solução. Após a aplicação do adubo, o solo foi homogeneizado e aplicou-se  $H_2O$  para atingir 70% do volume total de poros. As adubações nitrogenadas foram feitas em cobertura quinzenalmente, aplicando 20 ml de solução com 22 gramas de uréia por litro d'água, totalizando 3 aplicações até o corte.

### 3.4. Condução do experimento

Como planta indicadora foi utilizada a cultivar de arroz IAC 169, sendo que, para o plantio, as sementes foram tratadas com solução de hipoclorito de sódio a 1%, por imersão durante 5 minutos. Após o tratamento as sementes foram imersas em água destilada eliminando o hipoclorito. Foram colocadas 10 sementes por vasos, procurando-se distribuí-las uniformemente no vaso.

Dez dias após a germinação completa do arroz foi reali

QUADRO 3 - Fontes e doses de nutrientes aplicados aos solos.

Nutrientes	Fonte	Dose ppm
N	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	300
P	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	0 e 200
K	KCl	150
Mg	$\text{MgSO}_4$	11
S		30
Ca	$\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$	19
B	$\text{H}_3\text{BO}_3$	0,5
Cu	$\text{CuCl}_2$	0,50
Zn	$\text{ZnCl}_2$	2,5
Mo	$\text{MoO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,1

zado o desbaste, deixando 6 plantas por vaso. No mesmo dia foi feito o primeiro rodízio dos vasos, que se repetiu semanalmente.

No sistema de cultivo simulando a condição de sequeiro, a umidade do solo foi controlada diariamente, através da medição do peso do vaso, sendo adicionada, quando necessário, água desmineralizada de maneira a manter preenchido 70% do volume total de poros.

No sistema simulando a condição de inundação, a umidade de 70% foi mantida até o 10º dia. A partir de então, a umidade foi aumentada gradativamente até proporcionar uma lâmina d'água de 2 cm, mantida até o final do experimento.

A colheita do arroz foi realizada aos 54 dias após a germinação, cortando-se a parte aérea rente ao solo. A colheita da raiz somente se procedeu após a secagem do solo, que foi então tamizado proporcionando a retirada das raízes. Tanto a parte aérea como as raízes foram lavadas em água corrente e água desmineralizada, sendo, a seguir, o material vegetal seco em estufa com circulação de ar forçada, na temperatura de 60 a 65°C até peso constante. Em seguida, este material foi moído e acondicionado em frascos de vidro para posterior análise química.

### 3.5. Análise química de matéria seca

As amostras da parte aérea e sistema radicular do arroz foram submetidas a digestão nítrica-perclórica, para a extração e posterior análise de fósforo, segundo SARRUGE & HAAG (121).

### 3.6. Métodos de determinação do P disponível no solo

O fósforo disponível foi determinado pelos métodos de Olsen + EDTA, Mehlich-1, Bray-1 e Resina Trocadora de íons (RTI).

As amostras para extração do P disponível foram obtidas após a homogeneização do solo antes do cultivo.

### 3.6.1. Métodos de Olsen + EDTA de acordo com MIYAKE et alii (80)

O extrator de Olsen + EDTA é composto por  $\text{Na HCO}_3$  0,5M e EDTA dissódico 0,02M, tendo o pH ajustado se necessário para 8,5 com NaOH 1N ou HCl 1N.

A extração é feita em amostra de 4 g de TFSA misturada com 80 ml do extrator e agitada por 30 minutos. Após deixar em repouso para sedimentação, pipeta-se 5 ml da solução transferindo a mesma para um erlenmeyer, sendo a solução neutralizada com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  3N adicionando o mesmo gota a gota até o desaparecimento de bolhas de  $\text{CO}_2$ . Com a alíquota de 5 ml neutralizada, determina-se o fósforo colorimetricamente pelo método de azul de molibdato usando como redutor o ácido ascórbico, segundo EMBRAPA (45).

### 3.6.2. Método de Mehlich-1 segundo EMBRAPA (45)

O extrator Mehlich-1 é composto da mistura de dois ácidos fortes (HCl 0,05N e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025N). A extração é feita agitando-se 10 ml de TFSA com 100 ml do extrator por 5 minutos. Após a sedimentação, foram pipetados 5 ml da solução para determinação do fósforo pelo método colorimétrico de azul de molibdato.

### 3.6.3. Método de Bray-1 de acordo com BRAY & KURTZ (22)

O extrator de Bray é uma mistura do ácido clorídrico com fluoreto de amônio ( $\text{HCl } 0,025\text{N} + \text{NH}_4\text{F } 0,03\text{N}$ ).

A extração de fósforo realiza-se pela agitação da mistura de 7 g de solo com 50 ml da solução extratora por 1 minuto. Após agitação, deixa-se sedimentar a solução da qual são retirados 5 ml da suspensão para determinação do fósforo por colorimetria, com o uso do azul de molibdato segundo metodologia escrita pela EMBRAPA (45).

### 3.6.4. Método da RTI de acordo com RAIJ & QUAGGIO (109)

O extrator da RTI é composto da mistura da resina trocadora de ânion de base forte, Amberlita - IRA - 400 e da resina trocadora de cátions de ácido forte, Amberlita IR - 120.

A uma mistura de  $2,5 \text{ cm}^3$  de TFSA e 25 ml de água destilada, previamente agitada por 15 minutos, foi adicionado  $2,5 \text{ cm}^3$  de resina regenerada. Agitou-se durante 16 horas a 220 rpm e transferiu-se a suspensão para peneiras de malha de poliéster com abertura de 0,4 mm. Depois de lavar a resina com água para retirar a argila, transferiu-se a resina da peneira para um frasco de 100 ml de uma solução de  $\text{NaCl } 1\text{N}$  e  $\text{HCl } 0,1\text{N}$ . Após deixar em repouso por 30 minutos, agitou-se por uma hora a 220 rpm e procedeu-se

a determinação do fósforo colorimetricamente. Posteriormente à troca dos cátions e ânions adsorvidos, as resinas passam pelas operações de pré-condicionamento, lavagem e recuperação.

### 3.7. Análise estatística dos dados

O experimento foi instalado segundo o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $15 \times 2 \times 2$ , com 3 repetições, sendo os fatores número de solos (15), níveis de fósforo (2) e condição de umidade (2).

Os teores de fósforo disponíveis, determinados pelos diferentes métodos, foram correlacionados entre si e com a produção relativa. A influência do teor de argila e matéria orgânica do solo na avaliação da disponibilidade de fósforo dos solos foi observada através de correlações múltiplas entre o teor de fósforo disponível, parâmetros da planta e teor de argila ou matéria orgânica.

Foram verificados os efeitos da inundação e da adição de fósforo na produção de matéria seca, fósforo absorvido e na concentração de fósforo na parte aérea.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Extração de P disponível

As quantidades de fósforo disponível obtidas com diferentes extratores são mostradas no Quadro 4. Observa-se uma maior capacidade de extração de fósforo para o extrator de Olsen + EDTA que possui uma amplitude de variação de 4-132 ppm, seguida da RTI 7-51 ppm, Mehlich-1 de 2-16 ppm e Bray-1 de 1-14 ppm.

A superioridade na extração observada pelo método de Olsen + EDTA foi também verificada por BARBOSA FILHO (13), utilizando estes mesmos extratores, para dois solos sob cerrado. Todavia, as diferenças na capacidade de extração foram menores, provavelmente pelas características dos solos utilizados, pois em alguns solos estas capacidades são próximas, como mostra o Quadro 4.

A maior extração pelo método de Olsen + EDTA, deve-se possivelmente ao EDTA 0,02M que aumenta a capacidade de extração do método de Olsen, por complexar os cátions que poderiam reagir com fosfato. O uso do EDTA como extrator foi empregado por EKPETE (44) utilizando EDTA 0,07N em solos inundados, conseguindo extra-

QUADRO 4 - Fósforo disponível extraído pelos métodos utilizados.

Solos	RTI	Métodos de extração		Olsen+EDTA
		Norte Carolina	Bray-1	
		ppm		
1	23	10	7	50
2	40	12	7	126
3	15	10	14	132
4	51	16	9	90
5	13	6	3	42
6	12	7	3	28
7	14	6	4	44
8	14	6	2	32
9	16	6	3	40
10	10	2	1	22
11	14	15	13	62
12	7	3	2	6
13	7	2	2	4
14	19	6	4	22
15	8	4	1	4
Média	17,5	7,4	5	46,8

ção superior ao método de Bray-1. Tentativa de incluir o EDTA 0,01M no método de Olsen foi feita por RAIJ & FEITOSA (107) na qual conseguiu-se grande aumento na extração de fósforo; todavia, foi também incluído  $\text{NH}_4\text{F}$  não permitindo assim identificar qual o maior responsável pelo aumento na extração; a inclusão do EDTA e outros compostos no Mehlich-1 para formar o Mehlich-3 não mostrou diferença na capacidade de extração como mostra HUERTAS (64), mas a concentração de EDTA usada é vinte vezes menor que o método de Olsen + EDTA proposto por MIYAKE et alii (80).

A resina trocadora de íons segundo a metodologia de RAIJ & QUAGGIO (109), foi a segunda maior na capacidade de extração de fósforo sendo superior ao método de Bray-1 e Mehlich-1. Resultados similares foram encontrados por GRANDE et alii (57) e HUERTAS (64). Outros trabalhos utilizando RTI com metodologia diferente da utilizada no IAC, também mostraram maior extração de fósforo que os demais métodos como é o caso de ROJAS (116), e menores como os trabalhos de ENWEZOR (46) e KADEBA & BOILE (66) onde o Bray-1 foi maior que a RTI e de MOSER et alii (84) onde o Olsen foi maior que a RTI. Estas metodologias diferem da atualmente usada no IAC por fazerem a extração com a RTA saturada com  $\text{Cl}^-$ , que tem menor poder de extração do que a RTA saturada com  $\text{HCO}_3^-$  usada no IAC, segundo SIBBESSEN (126) e também por utilizarem na extração somente a RTA, enquanto o IAC usa RTA misturada com RTC o que aumenta o poder de extração de fósforo segundo BACHE & IRELAND (10). Isto pode talvez justificar a maior extração da RTI em trabalhos no Brasil com uso da metodologia do IAC.

A superioridade na extração de fósforo pela RTI em re-

lação a metodologia de Mehlich-1 pode ser observada quando da comparação dos valores estabelecidos para os níveis de P propostos por RAIJ (111) para a resina, em comparação aos valores da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (34) para o Mehlich-1.

No trabalho de RAIJ (104), onde foram utilizados a RTI e  $H_2SO_4$  0,05N para a extração de P, constatou-se que para obter-se a produção relativa de 100%, o valor de P disponível pela resina foi superior em até 10 vezes ao valor necessário pelo  $H_2SO_4$  0,05N. Ainda segundo o mesmo autor, a extração pela resina é, em média, duas vezes superior ao método de  $H_2SO_4$  0,05N, que tem uma capacidade de extração muito semelhante ao Mehlich-1.

Os métodos de RTI e Olsen + EDTA que têm maior capacidade de extração, possuem como características em comum a presença de  $Na^+$  e  $HCO_3^-$  na solução e pH elevado, além de terem compostos que abaixam a atividade dos cátions em solução (como é o caso do EDTA e  $HCO_3^-$  para Olsen + EDTA e RTC e  $HCO_3^-$  para a resina) o que possibilita a maior extração destes métodos em relação aos métodos ácidos de Bray-1 e Mehlich-1. Neste trabalho o método ácido de Mehlich-1 teve capacidade de extração superior ao Bray-1, resultados estes normalmente encontrados em solos com pH inferior a 5,5, segundo CHAN & JUO (29). Como de um modo geral nossos solos são ácidos, resultados similares são facilmente observados (3,13, 43, 79, 124). Entretanto o inverso é observado nos trabalhos de NOVAIS & KAMPRATH (89) e BRAGA & DEFELIPO (20).

4.2. Correlações entre P disponível extraído pelos métodos utilizados

Os coeficientes de correlações entre fósforo extraído pelos métodos utilizados são apresentados no Quadro 5. As maiores correlações foram obtidas entre os dois extratores ácidos de Mehlich-1 e Bray-1 que também foram similares na capacidade de extração do fósforo (12, 13, 29, 43).

QUADRO 5 - Coeficientes de correlação entre P disponível extraído pelos métodos utilizados.

Métodos	Bray-1	Norte Carolina	RTI
Olsen + EDTA	0,72**	0,70**	0,60**
RTI	0,41	0,75**	-
Norte Carolina	0,82**	-	-

\*\* Valores significativos a 1% de probabilidade.

Entretanto, estes dois últimos autores observaram alta correlação entre os dois métodos citados e também entre os métodos de Mehlich e Olsen + EDTA, em solos com pH menor que 5,5, onde havia predomínio de P-Fe. Isto confirma os dados encontrados, onde a maioria dos solos tem pH menor que 5,5.

A correlação entre método básico de Olsen e ácido de

Bray-1 mostrou significância concordando com diversos estudos (13, 29, 66, 102).

Coefficientes de correlação significativa entre os métodos de Mehlich-1, Olsen + EDTA e Bray-1, podem ser atribuídos à extração preferencial de determinada forma de fósforo associada à maior atividade da forma preferencialmente extraída, segundo BAHIA FILHO et alii (12), o que possivelmente ocorreu nos solos ácidos utilizados.

A extração pela RTI se correlacionou significativamente com o método de Olsen, concordando com resultados já bastante conhecidos na literatura, como exemplo, trabalhos de ENWEZOR (46) e HISLOP & COOKE (63), sendo que o último trabalho contou com mais de 30.000 solos analisados. A correlação entre extração ácida e RTI mostrou-se significativa, concordando com resultados observados por ROJAS (116) e KADEBA & BOYLE (66); sendo que os últimos autores utilizaram o extrator ácido de Truog (0,02N  $H_2SO_4$ , pH3) conseguindo esta correlação superar a obtida com extração de Bray 1 e Olsen.

#### 4.3. Correlação entre produção relativa e P disponível extraído pelos métodos utilizados

As correlações entre produção relativa e P disponível nas condições de sequeiro e inundação estão mostradas no Quadro 6. A avaliação do nível de P nos solos pode ser feita através de cor

QUADRO 6 - Coeficiente de correlação entre a produção relativa (PR) e P disponível pelos métodos de Mehlich-1, resina trocadora de íons (RTI), Olsen + EDTA, Bray-1, nas condições de inundação e sequeiro.

Correlação	Coeficientes de correlação	
	Condição de inundação	Condição de sequeiro
Mehlich-1 x PR	0,69*	0,71*
RTI x PR	0,82**	0,75**
Olsen x PR	0,71*	0,74**
Bray-1 x PR	0,78**	0,67*

\* Significativo a 5%.

\*\* Significativo a 1%.

relação do P extraído com parâmetros da planta chamados de absolutos tais como produção de matéria seca, concentração do P na parte aérea e absorção de P pela planta; e o chamado relativo tal como produção relativa segundo KAMPRATH & WATSON (67). Entre os parâmetros da planta o que mais apresenta vantagens no estabelecimento de correlação é a produção relativa, pois a resposta às adubações minimiza os efeitos das condições climáticas e do solo, que afetam os fatores em termos absolutos, de acordo com RAIJ (103) e BACHE & ROGERS (11).

Ao se compararem as correlações entre o P disponível e produção relativa, nas condições de sequeiro e inundação, notam-se diferenças nos valores obtidos em cada condição. Estas diferen

ças entre a condição de sequeiro e inundação podem estar relacionadas com as mudanças que ocorrem quando da inundação, modificando as propriedades físicas, químicas e biológicas como foi mostrado por SANCHEZ (120) e PONNAMPERUMA (100), tendo como consequências modificações nas quantidades de nutrientes extraídas pelas plantas (33, 51, 70, 122, 125) na eficiência de uso do P aplicado, como foi obtido por SAVANT & ELLIS (125) e DAVIDE (41).

Estas modificações têm efeito sobre o crescimento, absorção de nutrientes e resposta das plantas a adição de nutrientes e extração de P pelos diferentes métodos, o que provoca mudanças nas correlações entre estes fatores.

Todos os extratores mostram significância, concordando com as conclusões das revisões feitas por CHANG (28, 30), sobre extração de P em solos inundados, onde observou-se boas correlações com todos os extratores testados em solos ácidos; o que é confirmado por trabalhos de EKPETE (44) e ROJAS (120) com arroz inundado em solos ácidos que também mostraram valores significativos para todos os extratores utilizados.

Na condição de sequeiro foram também encontrados coeficientes de correlação significativos para todos os extratores (17, 38, 40, 46, 107.).

Logo, todos os extratores podem, provavelmente, serem utilizados na avaliação do P disponível para cultura do arroz de sequeiro e inundado; mas os extratores de RTI e Bray-1 são os mais promissores para o cultivo inundado e Olsen para o de sequeiro sendo as várzeas mais frequentemente cultivadas na condição de

inundação, a escolha do extrator deve recair no que melhor resultado apresentar nesta condição, o que não limita o seu uso para a condição de sequeiro, pois as diferenças entre os coeficientes de correlação para as duas condições são pequenas. Assim o melhor extrator encontrado é a RTI, pois indica a maior correlação para a condição de inundação, concordando com resultado obtido por GRANDE et alii (57), que observaram a superioridade da RTI em relação ao extrator Mehlich-1. No entanto, a superioridade da RTI não foi constatada por ROJAS (116), onde a extração ácida de Mehlich-1 foi superior aos demais métodos testados.

A RTI também mostrou-se superior aos demais métodos testados na condição de sequeiro (23, 35, 46, 47, 60, 64, 66, 93, 105) e discordando dos trabalhos de DALAL & HALLSWORTH (39) e BLANCHARD & CALDWELL (17).

A RTI mostrou-se mais eficiente que os demais métodos na avaliação do P disponível, quando da correlação com P absorvido, na qual o coeficiente de correlação obtido é 0,76\*\* na condição de inundação, sendo este coeficiente somente inferior ao do Bray-1, e de 0,78\*\* na condição de sequeiro, sendo este superior aos demais métodos.

Mas, apesar do maior coeficiente de correlação da RTI, esta mostrou-se apenas um pouco superior ao método de Mehlich - 1 na condição de sequeiro, o que nos leva a ter cautela para propor a mudança no método de Mehlich-1 para a RTI, como é atualmente sugerida por diversos autores. Além disso, trabalhos de campo têm encontrado bons resultados com o extrator de Mehlich-1 (49, 85, 86, 107, 110).

A Figura 3 representa as regressões entre o P disponível pela RTI e produção relativa, onde os melhores ajustes dos dados para a condição de inundação foram a equação de 2º grau e de recíproca ( $y = a + \frac{b}{x}$ ) na de sequeiro. A equação de recíproca tem melhor expressado a correlação entre o P disponível e a resposta à adubação, segundo RAIJ (103). Verifica-se na Figura 3 que apesar do nível médio de P apresentado por alguns solos a produção relativa mantém-se baixa, principalmente na condição de sequeiro, mostrando que, possivelmente, as classes de teores para solos de várzeas sejam diferentes das atualmente utilizadas. Mas o número de solos com nível alto de P é muito pequeno, necessitando de outros trabalhos com maior variação no nível de P para comprovação dos resultados obtidos.

A extração pela RTI não foi influenciada pelo teor de matéria orgânica, concordando com KADEBA & BOYLE (66) e discordando de GRANDE et alii (57) que obtiveram pequenos aumentos no coeficiente de correlação.

Entretanto, constatou-se a influência do teor de argila na extração para a condição de inundação, sendo que a inclusão deste teor aumentou o coeficiente de correlação de 0,68\*\* para 0,73\*\*, concordando com trabalhos de GRANDE et alii (57) e KADEBA & BOYLE (66) que tiveram pequeno aumento no coeficiente de correlação.

A influência da argila e da matéria orgânica na extração do P pela RTI é nula ou muito pequena, sendo que o uso destas duas características não leva à melhoria da avaliação do P no solo, concordando com SIBBESSEN (127) que indica como vantagem da ex

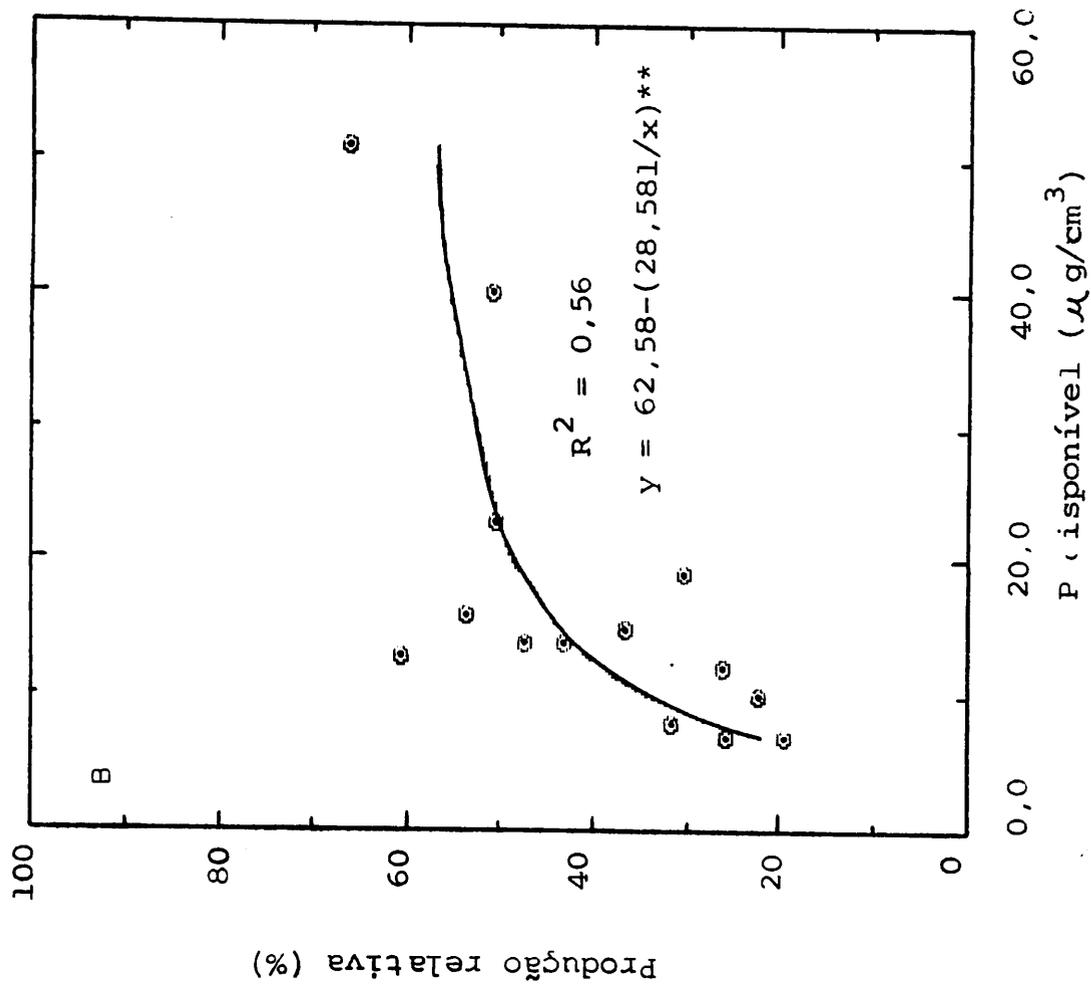
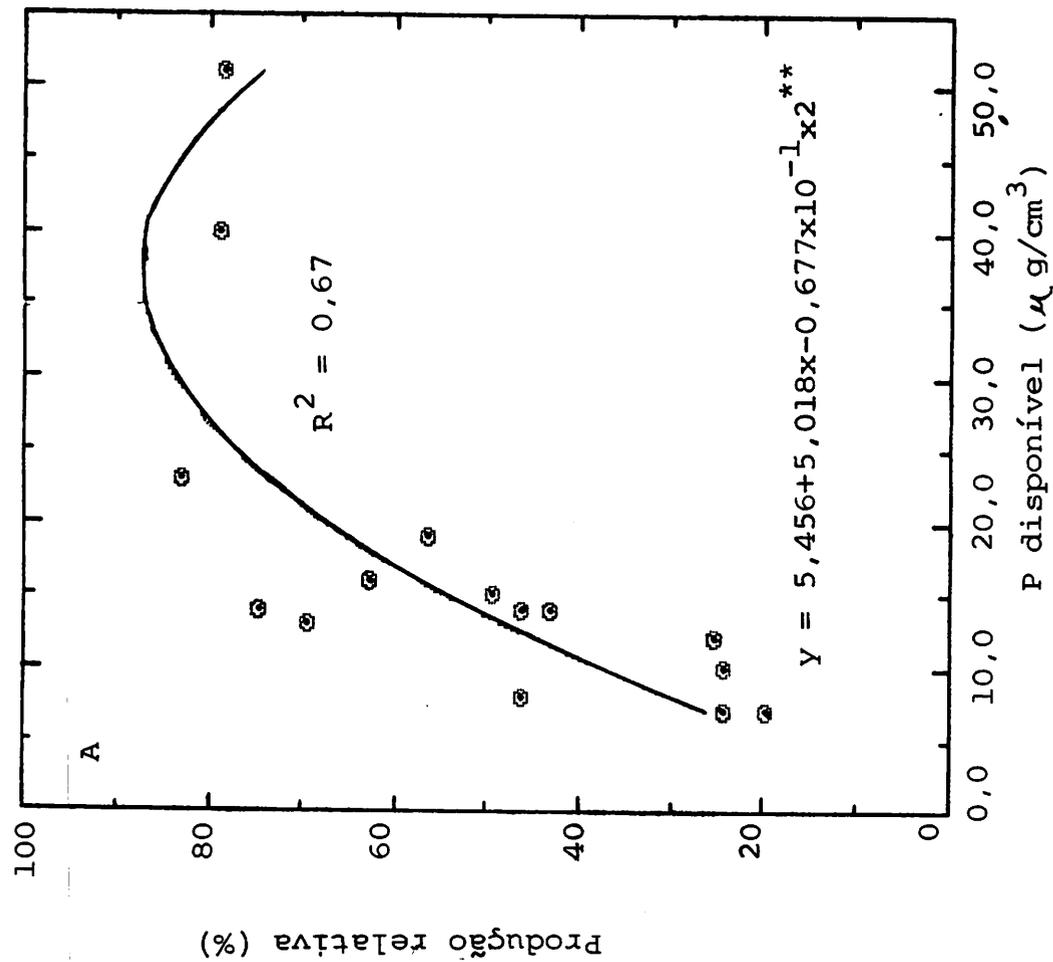


FIGURA 3 - Relação entre a produção relativa, e os teores de fósforo no solo extraído pela metodologia da RTI, em condição de inundação (A) e sequeiro (B).

tração a não interferência dos fatores do solo.

O método mais promissor após a RTI é o Bray-1 confirmando sua eficiência, para o arroz inundado como foi obtido por OKO & AGBOOLA (90) e CHANG (28). Segundo o último autor, o extrator de Bray-1 é utilizado como método da análise de rotina em Formosa. A eficiência do método do Bray-1 para a condição de inundação é confirmada com a obtenção do mais alto coeficiente de correlação com o P absorvido.

Apesar dos bons resultados alcançados pelo método de Bray-1 na condição de inundação, o mesmo não foi verificado na condição de sequeiro. Nesta condição obteve-se menor coeficiente de correlação, sendo este resultado confirmado pela correlação com o P absorvido, concordando com resultados de FONSECA et alii (48) e KADEBA & BOYLE (66).

O método de Bray-1 é muito utilizado na análise de rotina segundo WIETHOLTER (132), por apresentar bons resultados na avaliação do P disponível na condição de sequeiro. Entretanto, o extrator de Bray-1 pode ter baixa eficiência na avaliação da disponibilidade de P nos solos de várzeas, quando os mesmos são submetidos à rotação de cultura com arroz inundado.

As representações gráficas do extrator ácido de Bray-1 são mostradas na Figura 4, onde podemos observar que os melhores ajustes foram encontrados com a equação de 2º grau, que não atinge a 100% da produção relativa. Podemos observar também um grande decréscimo da produção relativa após um ponto de máximo, o que não ocorre na prática. Este decréscimo é devido aos solos 3 e 11

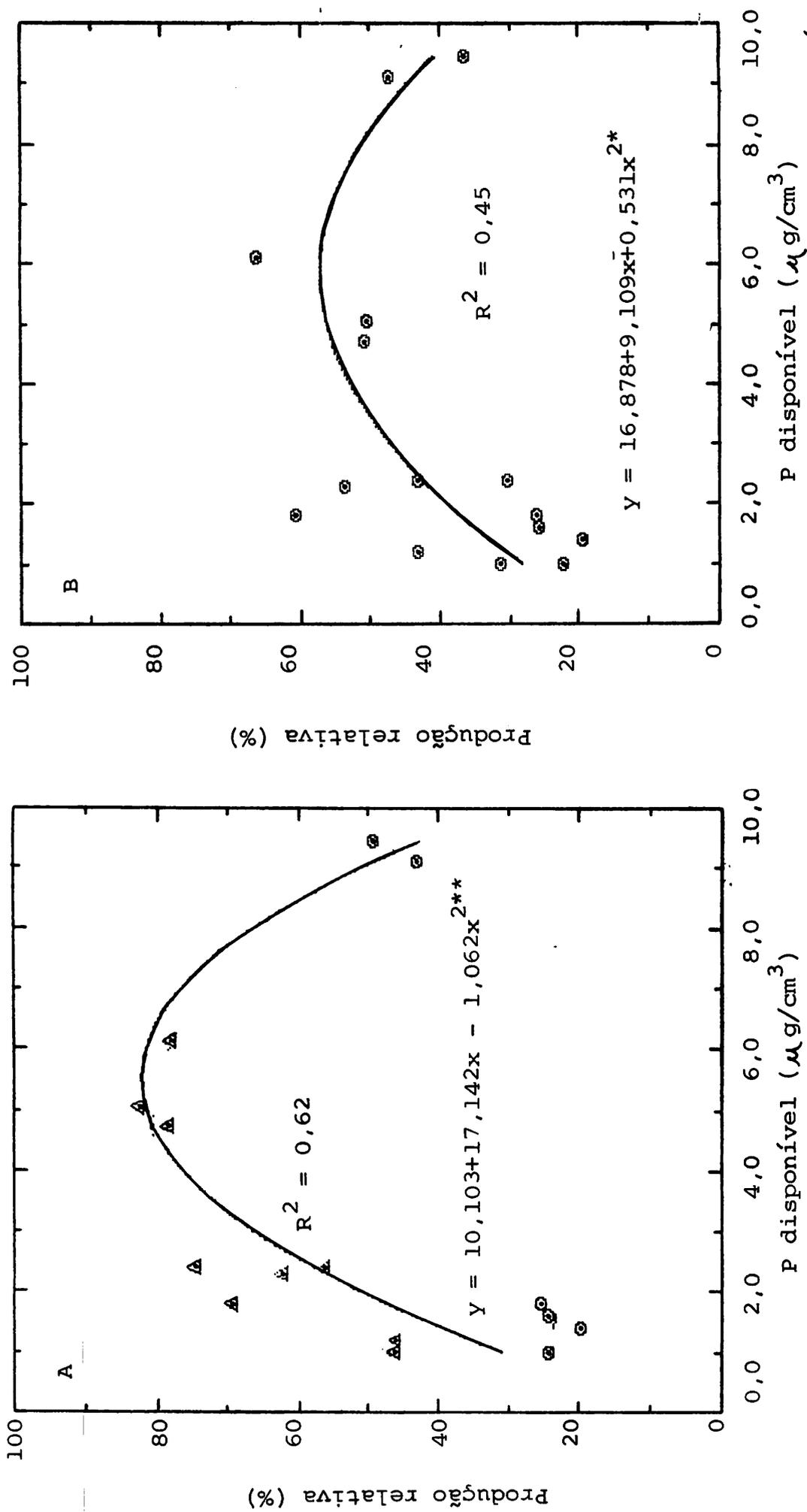


FIGURA 4 - Relação entre a produção relativa, e os teores de fósforo no solo extraído pela metodologia de Bray-1, em condições de inundação (A) e sequeiro (B).

que têm os maiores níveis de P disponível e matéria orgânica.

A maior extração do P nestes solos pode ser devido a decomposição da matéria orgânica, que ao liberar o P na forma inorgânica torna-o mais disponível segundo DAUGHTREY et alii (40).

Logo, o uso de solos com diferentes níveis de matéria orgânica, pode ocasionar uma superestimação para os solos com alto teor de matéria orgânica, como foi constatado por GRANDE et alii (57) para arroz inundado e BLANCO et alii (18) para arroz de sequeiro.

O teor de argila influenciou no aumento do P disponível gerado pela matéria orgânica, diminuindo o efeito da superestimação como é verificado com o solo 4 que, apesar de ter maior teor de matéria orgânica que o solo 3 não foi superestimado, observação feita também por BLANCO et alii (18).

A retirada dos solos 3 e 11 da correlação entre o P extraído pelo Bray-1 e a produção relativa, proporcionou um acréscimo no coeficiente de correlação da equação linear de 0,31 para 0,76\*\* na condição de inundação e de 0,41 para 0,69\*\* na condição de sequeiro; houve também um acréscimo para a correlação com P absorvido.

Assim, a retirada dos dois solos que tinham alto teor de matéria orgânica e baixo teor de argila melhorou a avaliação do P disponível nos solos de várzea pelo método de Bray-1. Mas, a verificação da influência da matéria orgânica por meio da regressão múltipla só foi constatada na condição de inundação, na qual o coeficiente de correlação passou de 0,31 para 0,42 com inclusão

da matéria orgânica.

A extração pelo Bray-1 também sofreu uma pequena influência do teor de argila na correlação para a condição de inundação, o mesmo não ocorrendo na condição de sequeiro, discordando de resultados obtidos por NOVAIS & KAMPRATH (89) e BAHIA FILHO (12).

Deve-se ter informações do tipo de argila e da influência desta na extração, pois isto pode ser uma das possíveis causas da pequena influência do teor de argila na extração pelo Bray 1.

A Figura 4 mostra haver uma estabilização da equação a níveis baixos de produção relativa, principalmente na condição de sequeiro, quando comparada ao trabalho de FONSECA et alii (48), que obteve produção relativa de 100% para a cultura do milho, com nível de 10 ppm de P disponível.

O método de Olsen que, pela boa performance em solos inundados, é utilizado como extrator de P na Índia e Filipinas, segundo CHANG (28), não se destacou como método de extração de P no presente trabalho, como foi também verificado por OKO & AGBOOLA (90) e ROJAS (116). Todavia, este método destacou-se na extração de P na condição de sequeiro, sendo que resultados semelhantes foram obtidos por MIRANDA & VOLKWEISS (79) e TANAKA et alii (130). Entretanto o uso do método de Olsen é problemático pela dificuldade encontrada na extração, principalmente em solos orgânicos onde ocorre uma grande dispersão de ácidos orgânicos dificultando a obtenção do extrato, sendo necessário a filtragem.

As correlações obtidas pelo método de Olsen + EDTA são mostradas na Figura 5, onde observa-se que estas têm certa semelhança com as obtidas pelo método de Bray-1, havendo um ponto de máxima um pouco acima de 80 ppm de P, surgindo um posterior decréscimo devido aos solos 3 e 2. Como já foi discutido anteriormente, o solo 3 tem como características o alto teor de matéria orgânica, influência esta notada principalmente na condição de inundação. Já o solo 2 tem como características baixo teor de argila, pH elevado e alto teor de Ca, que têm importância fundamental na extração de P, principalmente em relação ao teor de argila como é mostrado por ANGLINONE & BOHNEN (8) e PRATT & BARBER (102).

Logo, não só o método ácido provocou maior extração em solos com alto teor de matéria orgânica, como também foi verificado por OKO & AGBOOLA (90), sendo então necessário a observação deste fator na extração de P pelo método de Olsen + EDTA.

A retirada dos solos 3 e 11 das correlações do Bray-1 proporcionou um aumento do coeficiente de 0,53\* para 0,71\* para a condição de inundação e de 0,48 para 0,64\* na condição de sequeiro. Todavia, não foi constatada a influência da matéria orgânica na extração através da correlação múltipla, concordando com o trabalho realizado por KADEBA & BOYLE (66) utilizando o método de Olsen.

A argila também não mostrou influência na extração do método de Olsen + EDTA, embora muitos trabalhos mostrem ser o método de Olsen sensível ao efeito tampão, como verificou KADEBA & BOYLE (66) e ANGLINONE & BOHNEN (8), o que sugere ser o método de Olsen + EDTA menos sensível ao efeito tampão ou que outras variá-

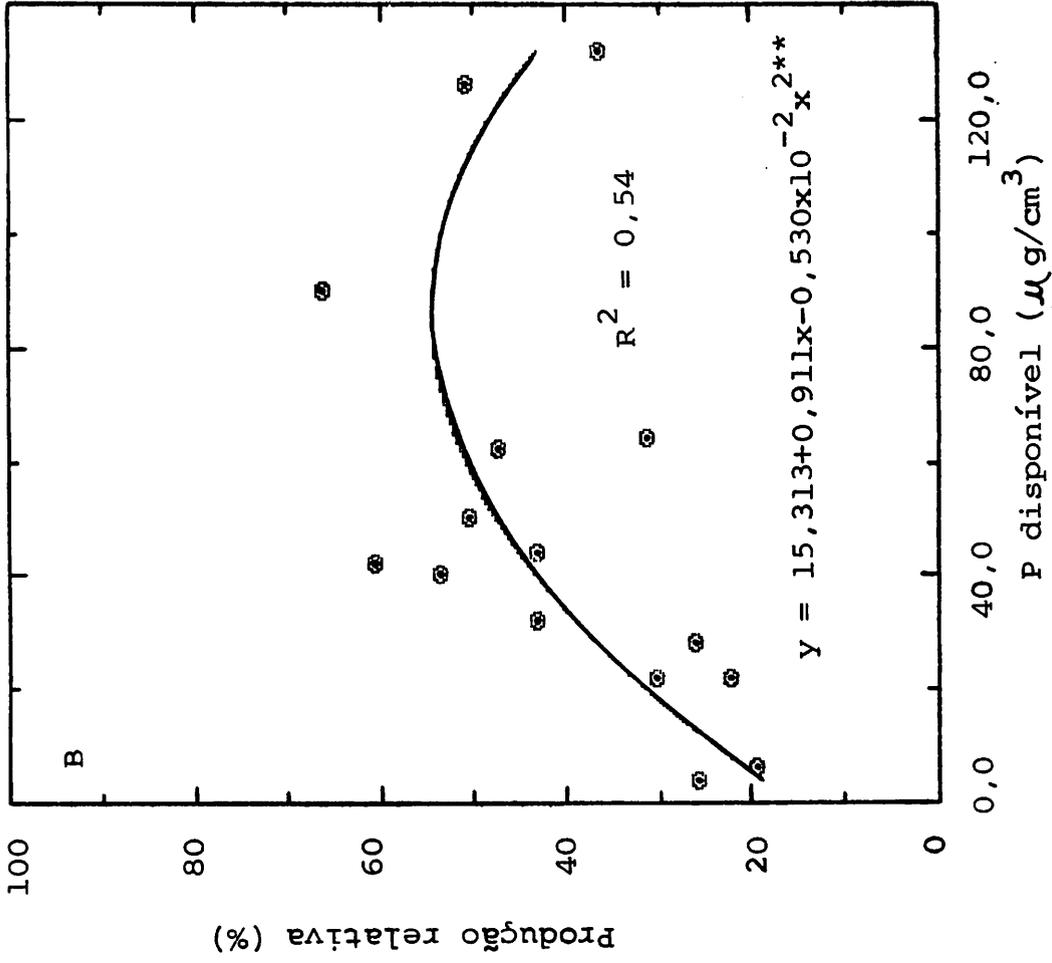
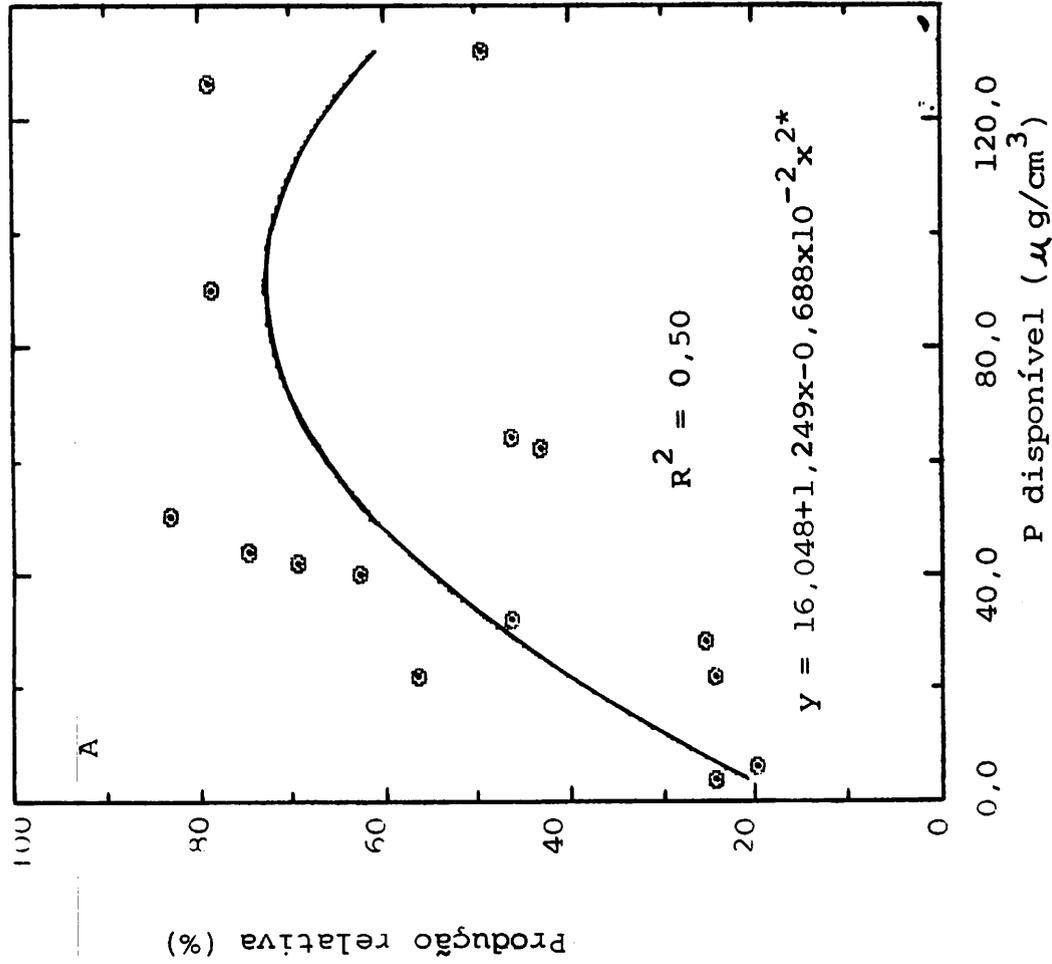


FIGURA 5 - Relação entre a produção relativa, e os teores de fósforo no solo extraído pela metodologia de Olsen + EDTA, em condições de inundação (A) e seca (B).

veis possam estar influenciando o efeito do teor de argila.

O nível de P extraído pelo método de Olsen + EDTA foi superior ao nível crítico do método de Olsen, que varia de 5 a 30 ppm segundo KAMPRATH & WATSON (67), indicando que o nível crítico de Olsen + EDTA deve estar muito acima destes valores e que as classes de teores do P disponíveis sejam mais amplas.

O método de Mehlich-1 teve o menor coeficiente de correlação na condição de inundação, concordando com trabalho de GRANDE et alii (57) e OKO & AGBOOLA (90), o menor coeficiente de correlação foi também obtido com uso da correlação com P absorvido, confirmando a baixa eficiência do método.

Os resultados obtidos são muito dependentes dos solos utilizados, pois de acordo com CHANG (28, 30), em trabalhos com solos ácidos é comum a obtenção de melhores resultados com extractores ácidos, superando até o método de Olsen considerado como padrão para solos inundados.

Trabalho de ROJAS (116) em solos ácidos com pequena variação na matéria orgânica confirma a eficiência do método ácido de Mehlich-1 sobre os demais métodos, entretanto GRANDE et alii (57) não observaram valores significativos em solos ácidos com grande variação no teor de matéria orgânica.

Logo, uma das possíveis consequências da baixa eficiência do método de Mehlich-1 é a variação no teor de matéria orgânica dos solos utilizados.

A correlação com o método de Mehlich-1 na condição de sequeiro mostrou-se significativa, concordando com TANAKA et alii

(130) e ANGLINONE & BOHNEN (8) e discordando do encontrado por CA BALA & WILD (23) e MIRANDA & VOLKWEISS (79).

Apesar do coeficiente de correlação obtido pelo método de Mehlich-1 ser ainda menor que os dos métodos da RTI e Olsen + EDTA, as diferenças entre os coeficientes são menores do que as obtidas na condição de inundação, mostrando um maior equilíbrio na capacidade de avaliação do P disponível na condição de sequeiro.

A Figura 6 representa as regressões entre a produção relativa e o P disponível pelo método de Mehlich-1, observa-se que a produção relativa não ultrapassou 70% na condição de sequeiro e 83% na condição de inundação, mesmo alguns solos apresentando níveis altos de P disponível, como estabelecido pela COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (34). O resultado fica ainda mais distante se comparado com o proposto por SIQUEIRA et alii (128) para solos inundados do RS e SC, onde o nível crítico é acima de 6 ppm, confirmando a dificuldade na interpretação da análise do solo de várzea para culturas de sequeiro (1, 14, 18, 24, 25, 50, 52, 81, 98) e inundado (21, 57, 71, 72, 98, 123).

A maior extração em solos de várzea pode ser devido a decomposição da matéria orgânica, que, liberando o P orgânico aumenta assim o P disponível segundo observou DAUGHTREY et alii (40) e ADEPETU & COREY (4).

Além da matéria orgânica outros fatores podem levar a uma super extração de P nos solos de várzea como foi observado por OKO & AGBOOLA (90) que responsabilizou a maior extração de P

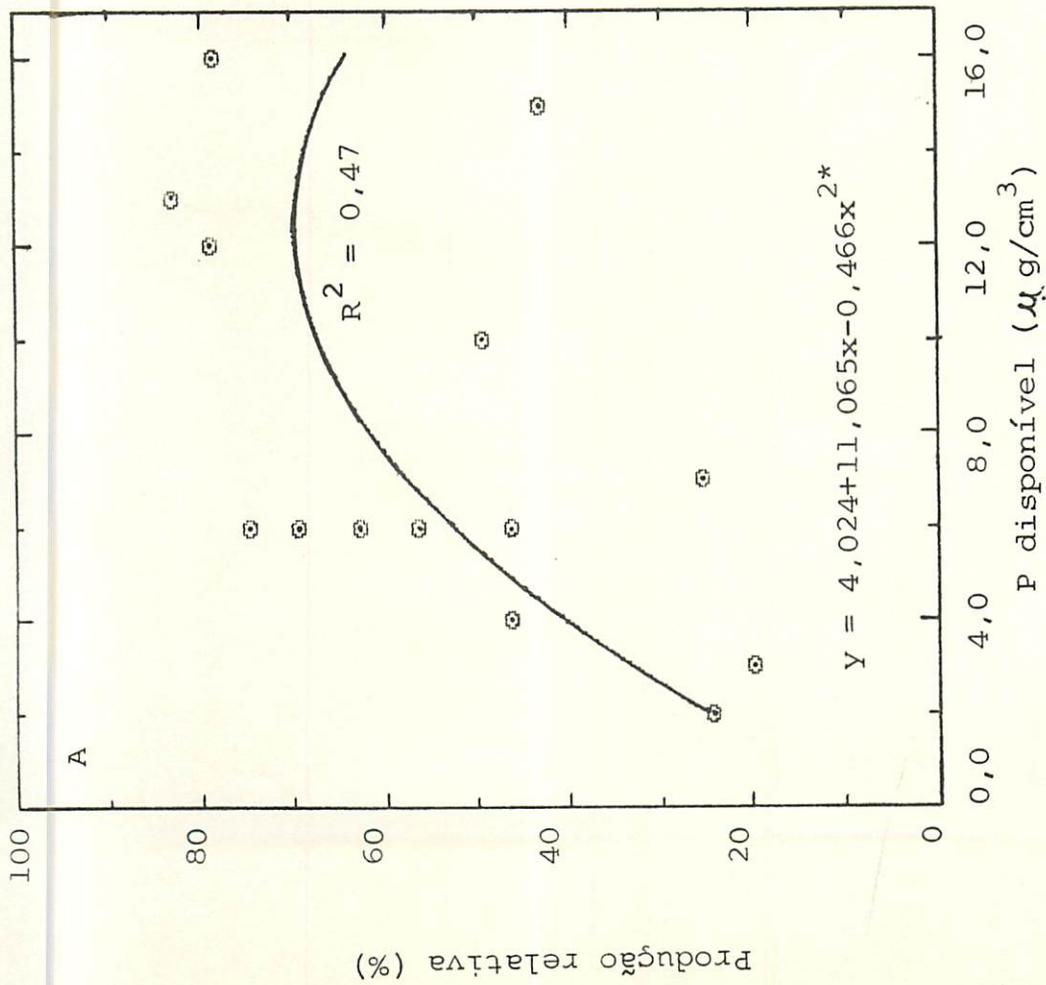
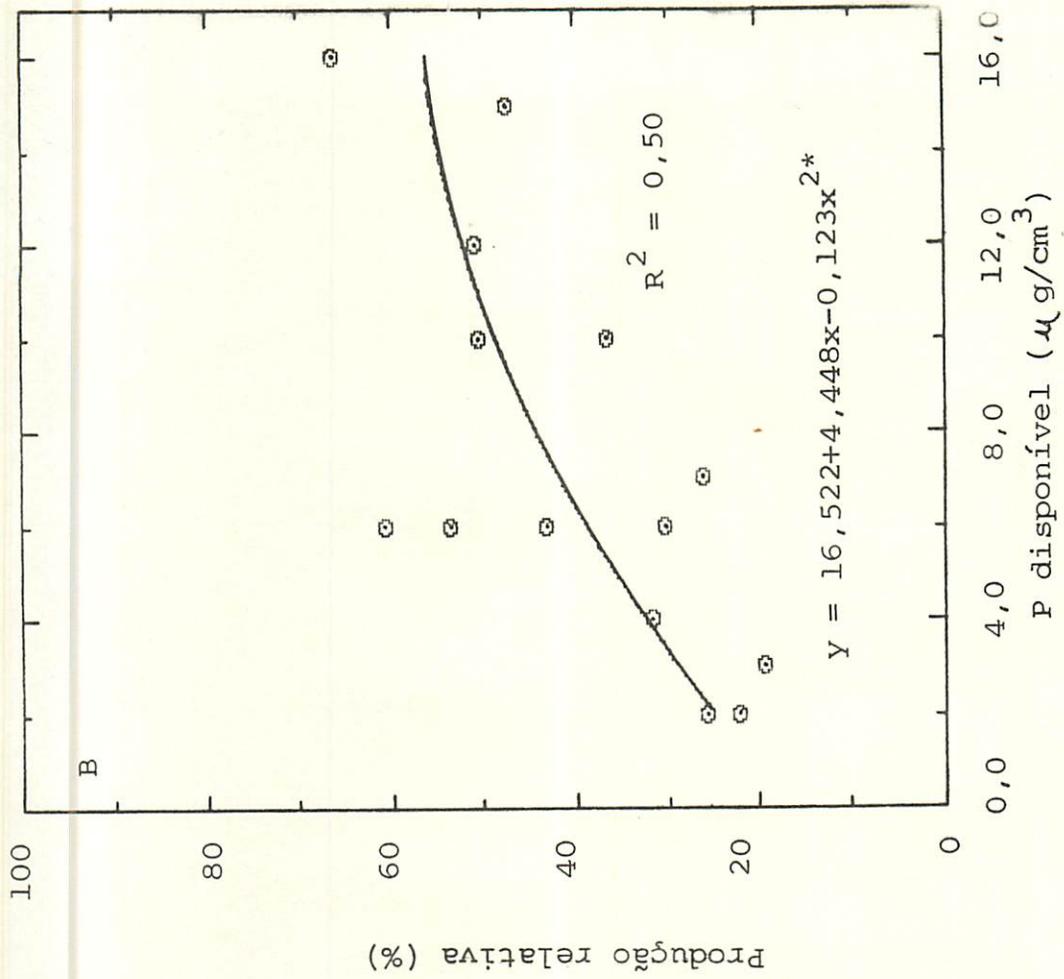


FIGURA 6 - Relação entre a produção relativa, e os teores de fósforo no solo extraído pela metodologia do Mehlich-1, em condições de inundação (A) e sequeiro (B).

em solos sujeitos a inundação à formação de compostos ferrosos ligados ao P. Pode ser esta a justificativa de maior extração de P em solos sujeitos a inundação, mesmo para solos com médio teor de matéria orgânica (18, 21, 98, 118).

A influência da matéria orgânica pode ser também observada principalmente na condição de inundação com os solos 3 e 11 que têm 10 e 15 ppm de P, respectivamente, e não atingiram produção relativa de 50% o que faz com que a produção relativa tenha uma estabilização ao nível de 70%, fato que não ocorre na prática como é observado por MUZILLI (85, 86), RAIJ et alii (108) e FONSECA et alii (48). A retirada dos solos 3 e 11 permitiu um aumento do coeficiente de correlação de 0,69\* para 0,82\*\* na condição de inundação e de 0,71\* para 0,77\*\* na condição de sequeiro.

Assim, a avaliação do P disponível pelo Mehlich-1 é dificultada quando se utiliza solos com diferentes teores de matéria orgânica como foi verificado por GRANDE et alii (57). O mesmo não ocorre quando se utiliza todos os solos com somente alto ou baixo teor como foi constatado por DAUGHTREY et alii (40) e ROJAS (116), respectivamente.

O extrator de Mehlich-1 foi o que apresentou maior influência da matéria orgânica na extração, sendo que a inclusão desta aumentou o coeficiente de correlação de 0,56\* para 0,75\*\* na condição de inundação e de 0,69\*\* para 0,74\*\* na condição de sequeiro, concordando com GRANDE et alii (57) para a condição de inundação e ADEPETU & COREY (4) para a condição de sequeiro.

O teor de argila não influenciou na extração de P pelo

Mehlich-1 na condição de inundação, concordando com GRANDE et alii (57) e SIQUEIRA et alii (128). Também não foi encontrada interferência do teor de argila na condição de sequeiro, porém este método tem se mostrado sensível à variação na textura (8, 12, 79, 89, 128).

Constata-se com o presente trabalho que há necessidade de mais estudos para verificar a influência do teor de matéria orgânica e argila na extração do P para os solos de várzea.

#### 4.4. Influência da aplicação de fósforo e da inundação sobre a produção de matéria seca, concentração de fósforo na parte aérea e quantidade de P absorvido

Os dados de matéria seca, concentração de fósforo na parte aérea, absorção de fósforo e produção relativa obtidos no trabalho, são mostrados no Quadro 7.

A aplicação de fósforo proporcionou aumento da produção de matéria seca para todos os solos na condição de sequeiro, como é observado na produção relativa. Em média, a produção relativa é de 40,56% o que indica um aumento na produção de matéria seca próximo a 150%, indicando assim o baixo nível de P nos solos de várzea (1, 14, 25, 50, 53, 81, 98).

Dos solos estudados os que mostraram maiores respostas foram os solos 6, 10, 12 e 13, que apresentam como características baixo valor de fósforo disponível pela RTI, textura muito ar-

gilosa e baixa saturação de base, sendo uma exceção o solo 10 quanto à textura.

Assim, o nível baixo de fósforo destes solos justificam as produções relativas obtidas; todavia, o solo 6 tem o teor médio de fósforo disponível na avaliação pelo método de Mehlich-1, o que pode sugerir alguma dificuldade na interpretação da análise. O mesmo pode ser observado para os solos 2, 3, 8, 11 e 14.

A resposta à aplicação na condição de inundação aumentou a produção em aproximadamente 92%, como mostra a produção relativa média, valor este menor que o obtido na condição de sequeiro, o mesmo foi obtido por SHAPIRO (125).

Logo a inundação apenas diminuiu a resposta a aplicação de fósforo, mostrando que ocorre a deficiência mesmo em condições de inundação, concordando com PATNAIK (94) e GOSWANIG & BANNERJEE (56), que indicam o fósforo como o elemento mais limitante a cultura do arroz inundado nos trópicos, sendo sua deficiência mais uma regra do que exceção; e discordando da hipótese de NELSON (88) e DEDATTA et alii (42) e de que a inundação torna incerta a resposta ao fósforo.

A menor resposta ao fósforo em solos inundados é possivelmente devida ao aumento do P com inundação, mas este aumento é muito dependente das características do solo. Sendo assim, são justificadas as variações observadas de respostas entre os solos com inundação, havendo grande decréscimo até pequeno aumento na resposta, concordando com trabalho de SHAPIRO (125).

Os solos 1, 2, 7, 14 e 15 foram os que apresentaram

maiores decréscimos na resposta com aplicação de P, apresentando estes solos textura média e alta CTC, o que é uma possível indicação da presença de argilas de alta atividade. Características estas que propiciam grandes aumentos de P com inundação, segundo PONNAMPERUMA (100).

Já os solos 6, 8, 10, 12 e 13 não modificaram ou tiveram pequeno decréscimo na produção relativa quando do cultivo inundado. Estes solos são muito argilosos e têm média CTC, apesar do alto teor de matéria orgânica, indicando uma possível predominância de argila de baixa atividade; características estas que são pouco favoráveis ao aumento do P disponível com a inundação.

Assim o maior aumento do fósforo com a inundação possivelmente pode justificar o maior acréscimo da produção relativa e vice-versa.

O solo 11 teve aumento da resposta ao P com a inundação, apesar de não ter as mesmas características dos solos 6, 8, 10, 12 e 13, devido possivelmente, à menor decomposição da matéria orgânica com a inundação, segundo SANCHEZ (120); e levando a uma menor liberação de fósforo para as plantas propiciando maiores respostas à adubação, pois este solo tem alto teor de matéria orgânica, sendo esta possivelmente sua principal fonte de fósforo. Pode também ser sugerido que ocorra menor imobilização do fósforo aplicado com a inundação levando a uma maior resposta à aplicação.

Os dados de produção de matéria seca sofreram grandes aumentos com a inundação, como mostra o Quadro 7.

QUADRO 7 - Dados da produção de matéria seca (MS), concentração de P na parte aérea, quantidade de P absorvido e produção relativa (PR).

Solo	MS (g/vaso)						Conc. de P na parte aérea (%)						Quantidade de P absorvido (mg/vaso)						PR (%)	
	Sequeiro		Inundado		Sequeiro		Inundado		Sequeiro		Inundado		Sequeiro		Inundado		Sequeiro	Inundado		
	Sem P	Com P	Sem P	Com P	Sem P	Com P	Sem P	Com P	Sem P	Com P	Sem P	Com P	Sem P	Com P	Sem P	Com P	Sem P	Com P		
1	3,52	6,96	9,78	11,81	0,10	0,17	0,21	0,23	8,35	22,74	17,63	23,73	50,57	82,81						
2	2,66	5,22	5,56	7,07	0,14	0,19	0,19	0,21	7,07	16,13	9,53	14,87	50,95	78,64						
3	2,95	8,02	4,51	9,12	0,14	0,15	0,11	0,23	7,17	22,43	5,00	18,47	36,73	49,45						
4	6,28	9,47	9,74	12,44	0,18	0,19	0,21	0,19	19,55	32,30	18,07	22,63	66,31	78,30						
5	4,47	7,39	6,68	9,62	0,10	0,17	0,13	0,19	11,57	24,12	7,93	18,07	60,49	69,44						
6	1,93	7,39	2,80	11,66	0,07	0,13	0,09	0,15	4,69	20,40	4,13	24,73	26,17	25,32						
7	3,18	7,36	6,96	9,32	0,08	0,14	0,23	5,89	5,89	18,92	12,13	18,93	43,21	74,68						
8	2,54	5,86	3,90	8,42	0,08	0,15	0,12	0,21	2,11	7,69	5,03	15,80	43,35	46,32						
9	4,64	8,65	7,45	11,90	0,10	0,32	0,17	0,24	4,62	22,07	12,07	26,70	53,64	62,60						
10	1,74	7,78	2,20	9,02	0,22	0,22	0,08	0,20	2,75	14,08	1,77	16,53	22,37	24,39						
11	3,75	7,92	5,34	12,37	0,21	0,14	0,10	0,18	6,31	9,40	5,73	23,40	47,35	43,17						
12	1,49	7,59	1,85	9,36	0,18	0,23	0,04	0,17	2,00	14,03	1,57	16,77	19,63	19,76						
13	1,78	6,94	2,32	9,56	0,15	0,19	0,03	0,15	1,70	11,37	2,43	16,10	25,65	24,27						
14	2,84	9,34	7,60	13,43	0,12	0,23	0,10	0,15	3,37	16,83	10,20	24,37	30,41	56,50						
15	3,05	9,63	6,02	12,95	0,11	0,36	0,06	0,13	4,60	24,97	7,07	21,80	31,67	46,49						
Média	3,12	7,70	5,38	10,49	0,13	0,19	0,12	0,18	6,11	18,54	7,97	20,19	40,56	52,14						

Em média, a inundação promoveu aumento na produção de matéria seca em 70% quando não se utilizou o fósforo, confirmando o grande benefício propiciado com a inundação como foi descrito por SANCHEZ (120) e SHAPIRO (125).

O aumento da produção de matéria seca variou de acordo com o solo, sendo que os solos 1, 2, 7, 14 e 15 são os que mostraram maiores aumentos com a inundação. Estes solos também mostraram maior decréscimo na resposta à aplicação de P, fortalecendo a hipótese que as menores respostas foram consequência do aumento da disponibilidade de P com inundação.

Já os solos 6, 10, 11, 12 e 13 mostraram menores aumentos com inundação concordando também com dados da produção relativa, mostrados anteriormente.

O aumento da produção de matéria seca com a inundação quando o solo recebeu fósforo foi de 36% baseando-se nas médias. Este menor valor em relação ao de sequeiro deve-se provavelmente ao aumento da disponibilidade de fósforo quando da inundação.

Contudo, os solos 6, 8, 10, 11, 12 e 13 mostraram acréscimo da produção de matéria seca muito próximo dos obtidos quando sem aplicação de fósforo e em alguns solos até valores maiores, mostrando uma possível maior eficiência do fósforo aplicado ou pequeno aumento do fósforo do solo quando inundado. Os dados de absorção de fósforo pela planta indicam um grande aumento quando da aplicação do fósforo tanto na condição de sequeiro como de inundação.

A inundação não promoveu aumento da absorção do fósfo-

ro em todos os solos como ocorreu com a matéria seca, havendo decréscimo na absorção em alguns solos com inundação, em solos que receberam ou não fósforo.

Assim como foi observado para as produções de matéria seca e absorção de fósforo, quando da sua aplicação, a concentração deste na parte aérea também teve aumentos, concordando com SHAPIRO (125). Todavia, a concentração de fósforo em média, decresceu com a inundação, tendo como possível causa o efeito diluição provocado pelo grande aumento da produção de matéria seca ou inundação.

Observa-se que, em geral, as produções relativas são baixas, principalmente na condição de sequeiro, indicando que os solos utilizados têm baixo nível de fósforo disponível e que possivelmente ocorre aumento de fósforo com a inundação, propiciando menor resposta nesta condição.

As maiores respostas ao fósforo são observadas em solos com textura média e com alta CTC, e baixas respostas ocorrendo em solos com textura argilosa e com baixa capacidade de troca de cátions.

A inundação teve efeito positivo sobre a produção de matéria seca e absorção de fósforo, o mesmo não ocorrendo para concentração de fósforo na parte aérea possivelmente pelo efeito diluição.

A aplicação de fósforo por sua vez, mostrou efeito positivo na sua concentração na parte aérea e absorção.

## 5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os extratores utilizados têm grande diferença na capacidade de extração, principalmente quando se comparam os métodos ácidos de Mehlich-1 e Bray-1, que têm baixa capacidade, com o método básico de Olsen + EDTA de alta capacidade. Esta variação possivelmente é devida a inclusão do EDTA ao método de Olsen, que tem a capacidade de aumentar a extração. Já a extração pela RTI tem capacidade intermediária entre os métodos ácido e básico. Sua maior capacidade em relação aos métodos ácidos de Mehlich-1 é bastante conhecida, como pode ser observado por comparação das classes de níveis de P utilizados em São Paulo e Minas Gerais.

Com exceção da correlação entre RTI e Bray-1, todas as demais são significativas, mostrando assim similaridade na extração do P, levando a menores diferenças entre extratores no estabelecimento das correlações com outras variáveis.

As correlações entre a produção relativa de P disponível pelos diversos métodos testados, constataram a superioridade da RTI tanto na condição de sequeiro como na de inundação, sendo que esta obteve bons ajustes na equação quadrática e na recíproca

o mesmo não ocorrendo com os demais métodos, que obtiveram melhor resultado com uso de equação quadrática.

As representações gráficas das correlações mostraram haver interferências dos solos 3 e 11, por estes possuírem baixa produção relativa, em relação aos demais solos no nível de P apresentado.

A retirada destes solos das correlações possibilitou a melhoria da representação gráfica dos dados, do coeficiente de correlação obtido e da significância na equação de 2º grau e recíproca, com exceção do método da RTI.

No entanto a influência da matéria orgânica só foi verificada para o método de Mehlich-1 e Bray-1, como foi observado com a correlação múltipla.

Assim, há necessidade de mais estudos para quantificar a interferência da matéria orgânica na extração do fósforo, para que se possa incluir este fator na determinação de suas classes, como ocorre atualmente com a textura, melhorando assim a avaliação de fósforo nos solos.

Apesar da grande diversidade na textura dos solos utilizados, não foi constatada sua influência na extração, tendo sido esta, possivelmente mascarada pela variação do tipo de argila.

Houve grandes respostas ao fósforo na maioria dos solos estudados, principalmente na condição de sequeiro, pois podem ter ocorrido aumentos do P com inundação diminuindo a resposta à aplicação. Mas a inundação não foi suficiente para que não mais

ocorresse resposta ao fósforo, mostrando assim a carência do mesmo em todos os solos utilizados.

O fósforo aplicado propiciou também grandes aumentos na absorção e concentração de P, todavia a inundação, apesar de aumentar a produção de matéria seca e absorção de fósforo, não conseguiu o mesmo com a concentração de fósforo na parte aérea, devido, possivelmente, ao efeito diluição.

## 6. RESUMO

As várzeas têm se mostrado uma ótima opção para a expansão da área cultivada no país, visando o aumento na produção de alimentos. Devido a facilidade de irrigação, as mesmas podem ser cultivadas tanto sob condições de inundação como de sequeiro sendo mais comum a cultura do arroz sob inundação.

Como na maioria dos solos da região tropical, nos solos de várzea também foi constatada a deficiência generalizada de fósforo. Existem também dificuldades na avaliação da disponibilidade desse nutriente através da análise química de solo pela metodologia atualmente utilizada. O presente trabalho visou comparar quatro extratores para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos de várzea do Estado de Minas Gerais.

O experimento foi instalado em casa de vegetação do Departamento de Solos da ESAL (onde foi cultivado arroz nas condições de sequeiro e inundação) por 54 dias, em 15 solos e utilizando dois níveis de P (0 e 200 ppm), sendo adotado o delineamento inteiramente casualizado com três repetições segundo esquema fatorial  $15 \times 2 \times 2$ .

Foram obtidos dados de matéria seca das plantas, quantidade de P absorvida por vaso. O fósforo foi extraído pelos métodos de Bray-1, Mehlich-1, Olsen + EDTA e RTI (Resina Trocadora de íons) em amostras secas ao ar.

A cultura de arroz mostrou resposta acentuada a aplicação de fósforo tanto na condição de sequeiro como de inundação, indicando baixa disponibilidade desse elemento nos solos estudados. Os resultados mostraram também um aumento de produção de matéria seca e quantidade de P absorvido com a inundação para todos os solos. Houve também um decréscimo na resposta à aplicação de P para a maioria dos solos, sugerindo um aumento na disponibilidade desse nutriente com a inundação.

O extrator de Olsen + EDTA apresentou maior capacidade na extração seguido da RTI, Mehlich-1 e Bray-1. Estes métodos correlacionaram significativamente entre si, com exceção da correlação entre Bray-1 e RTI.

Houve variação nas correlações entre o P disponível extraído pelos métodos utilizados e produção relativa, dependendo da condição de umidade utilizada no cultivo.

O extrator que mais se destacou na determinação do P disponível foi a RTI, tanto sob a condição de inundação como na de sequeiro, quando correlacionado com a produção relativa.

Houve incremento do coeficiente de correlação múltipla entre a produção relativa e o P disponível quando se considerou a variável matéria orgânica, sugerindo influência dessa variável na eficiência do método de P para os solos estudados.

## 7. SUMMARY

### PHOSPHORUS AVAILABILITY EVALUATION ON LOWLAND SOILS IN MINAS GERAIS STATE

Lowlands have been found to be a very good option for expansion of cultivated area in Brazil, aiming the increase in food production. Due to the easy of irrigation, these areas can be cultivated either under flooding or drying conditions, being more common the rice cultivation under the first circumstance.

As the majority of tropical soils, on lowland soils also was found a generalized phosphorus deficiency. There are also difficulties upon this nutrient availability evaluation through soil chemical analysis using the nowadays methodology. This work compared four extractors in terms of evaluating phosphorus availability on lowland soils in Minas Gerais State, Brazil.

The experiment was conducted in a greenhouse of Soil Science Department at Escola Superior de Agricultura de Lavras. Rice was cultivated under drying and flooding conditions

during 54 days in 15 topsoils at 2 P levels (0 and 200 ppm). A totally randomized design was adopted with 3 replications by according to a 15 x 2 x 2 scheme.

Data including plants dry matter and P absorbed quantity were obtained. The phosphorus was extracted by 4 methods: Bray-1, Mehlich-1, Olsen + EDTA and IER (ion-exchange resin).

The rice showed high response to phosphorus application either under drying or flooding conditions, indicating low availability of this element on studied soils. The results also showed an increase in dry matter production and P absorbed amount with flooding for all soils. There was also a decrease in response to P application for the majority of soils, suggesting an increase in this nutrient availability upon flooding.

The Olsen + EDTA presented greater extraction capacity followed by IER, Mehlich-1 and Bray-1. These methods had a significant correlation among themselves, with exception of the correlation between Bray-1 and IER.

There was variation in the correlations between available P extracted by the utilized methods and the relative production, depending upon the moisture condition utilized during cultivation.

The IER was the best extractor in the determination of available P, when correlated with relative production, under flooding as well as drying conditions.

There was increase in multiple correlation between relative production and available P, when it is included the

organic matter variable, suggesting influence of that parameter upon efficiency of P method for the studied soils.

## 8. CONCLUSÕES

- A inundação proporcionou um aumento na produção de matéria seca, P absorvido, sugerindo um aumento do P disponível com a inundação.
- As produções relativas médias para as condições de sequeiro e inundação foram de 40,56 e 52,14 respectivamente, sugerindo que os solos estudados apresentam baixa disponibilidade de P.
- Ocorrem variações na correlação entre a produção relativa e o P disponível, para as condições de sequeiro e inundação.
- O método da Resina de Troca Iônica (RTI), foi o que melhor analisou o P disponível nos solos estudados.
- O incremento do coeficiente de correlação múltipla entre a produção relativa e P disponível quando se considerou a variável matéria orgânica, sugere influência dessa variável na eficiência do método de extração de P para os solos estudados.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU, C.A. Identificação de deficiência de macronutrientes em três solos de várzeas de Minas Gerais. Lavras, ESAL, 1984. 96p. (Tese MS).
2. \_\_\_\_\_ & LOPES, A.S. Alterações físico-químicas e química dos solos inundados. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 13(152):14-21, 1988.
3. ACHÁ-PANOSO, L.; SANTANA, O.P.; SOUZA, C.C. de.; SANS, L.M.A.; AVELAG, B.C. & PACHECO, E.B. Levantamento de reconhecimento com detalhes dos solos do distrito agroindustrial de Jaíba - Minas Gerais. Belo Horizonte, EPAMIG, 1976. 242p. (Boletim Técnico, 54).
4. ADEPETU, J.A. & COREY, R.B. Organic phosphorus as a predictor of plant available phosphorus in soils of southern Nigeria. Soil Science, Baltimore, 122(3):159-64, July 1976.

5. ALMEIDA, J.R. de; BARUQUI, F.M.; BARUQUI, A.M. & MOTTA, P.F.F. da. Principais solos de várzeas do estado de Minas Gerais e suas potencialidades agrícolas. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 9(105):70-8, set. 1983.
6. ALVA, A.K.; LARSEN, S. & BILLE, S.W. The influence of thizosphere in rice crop on resin-extractable phosphate in flooded soil at various levels of phosphate applications. Plant and Soil, Hague, 56(1):17-25, 1980.
7. AMER, F.; BOULDIN, D.R.; BLACK, C.A. & DUKE, F.R. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin absorption and  $P^{32}$  equilibration. Plant and Soil, Hague, 6(4):391-408, 1955.
8. ANGLINONE, I. & BOHNEN, H. Avaliação da disponibilidade do fósforo para os solos do Rio Grande do Sul. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, 10(1):127-36, 1974.
9. \_\_\_\_\_ & VOLKWEISS, S.J. Recomendações de uso de fertilizantes no Brasil. In: ESPICCOSA, W.; OLIVEIRA, A.J. Anais do simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira. Brasília, EMBRAPA-DEP, 1984. 179-204p.
10. BACHE, B.W. & IRELAND, C. Desorption of Phosphate from soils using anion exchange resins. Journal of Soil Science, London, 31(2):297-306, June 1980.
11. \_\_\_\_\_ & ROGERS, N.E. Soil phosphate values in relation to phosphate supply to plants from some Nigerian soils. Journal Agricultural Science, Cambrid, 74(2):383-90, Apr. 1970.

12. BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RIBEIRO, A.C. & NOVAIS, R.F. Sensibilidade de extratores químicos a capacidade tampão de fósforo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 7(3):243-9, set./dez. 1983.
13. BARBOSA FILHO, Morel P. <sup>T 678.652  
GPK</sup> Transformações do fósforo em solos ácidos e sua disponibilidade para a cultura de arroz de sequeiro (Oryza sativa L.). Piracicaba, ESALQ, 1986. 104p. (Tese Doutorado).
14. BAUGARTNER, J.G.; LOPES, E.S.; DEMATTÊ, J.D.; MIYASAKA, S.; IGUE, T. & QUIMARÃES, G. Calagem e adubação mineral de soja (Glycine max (L.) Merril) variedade Santa Maria, em solo de várzea. Bragantia, Campinas, 33(1):1-9, jan. 1974.
15. BIGARELLA, J.J. Ambiente de fundo de vale. In: MAZUCHOWSKI, J.Z. et alii. SIMPÓSIO NACIONAL DE SOLOS ORGÂNICOS. Curitiba, MA/PROVÁRZEAS/EMBRATER, 1984. 49-54p.
16. BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A., Methods of soil analysis. 2.ed., Madison, American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.377-82.
17. BLANCHAR, R.W. & CALDWELL, A.C. Phosphorus uptake by plants and readily extractable phosphorus in soils. Agronomy Journal, Madison, 56(2):218-21, Mar./Apr. 1964.
18. BLANCO, H.G.; WUTKE, C.P.; AMARAL, A.J. dos.; IGUE, K. & VERDADE, F.C. Fertilidade de alguns solos de várzea do vale do Paraíba. Bragantia, Campinas, 23(6):55-63, fev. 1964.
19. BRAGA, J.M. Avaliação da fertilidade do solo; ensaios de campo. Viçosa, UFV, 1983. 101p.

20. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Relação entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material em solos sob a vegetação de cerrado: II - Trabalhos em estufa. Revista Ceres, Viçosa, 19(104):248-60, jul./ago. 1972.
21. BRANDON, D.M. & MIKKELSEN, O.S. Phosphorus transformations in alternately flooded California soils: I. Cause of plant phosphorus deficiency in rice rotation crops and correctional methods. Soil Science Society of America Journal, Madison, 43(5):989-94. Sept./Oct. 1979.
22. BRAY, R. & KURTZ, L.T. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. Soil Science, Baltimore, 59(1):39-45, Jan./June 1945.
23. CABALA; ROSAND, P. & WILD, A. Phosphate adsorption and immobilization characteristics of three soils from southern Bahia, Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 17(7):1007-12, Jul. 1982.
24. CAMARGO, C.E. de O. & ALVES, S. Adubação do trigo. III. Experiências com N, P, K e S, em solos de baixada, tipo massapé, de Monte Alegre do Sul. Bragantia, Campinas, 31(28):337-47, nov. 1972.
25. \_\_\_\_\_ & LEITE, N. Adubação do trigo VIII. Experiência com N, P, K e S em solos de várzea do Vale do Paraíba. Bragantia, Campinas, 35(18):87-94, mar. 1976.
26. CAMARGO, O.A. O papel do íon fluoreto na adsorção, dessorção e movimento de fósforo em anfiisol. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 3(3):141-4, set./dez. 1979.

27. CARVALHO, E.M.; PIRES, E.T.; SANTOS, M.M. dos.; FELIPE, M.P. & LAMSTER, E.C. Aproveitamento atual de várzeas sistematizadas. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Produção Agropecuária. Provárzea Nacional: 1 hectare vale por 10. Brasília, s.d. p.19-25. (Informação Técnica, 1).
28. CHANG, S.C. Evaluation of the fertility of rice soils. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Soil and rice. Los Bânos, Philippines, 1978. v.1, p.521-41.
29. \_\_\_\_\_ & JUO, S.R. Available phosphorus in relation forms of phosphates in soils. Soil Science, Baltimore, 95(2):91-6, Feb. 1963.
30. \_\_\_\_\_. Phosphorus and potassium tests for soils. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, Baltimore, J. Hopkins Press, 1964. p.373-81.
31. CHIANG, C.T. Changes in the state of fixation and availability of phosphorus. Soils and fertilizers in Taiwan, Loam, 49(1):62-3. 1963.
32. \_\_\_\_\_. The interrelationship between available phosphorus and soil pH, Eh. Soil and fertilizers in Taiwan, Loam, 49(1):61. 1963.
33. CLARK, F.; NEARPASS, O.C. & SPECHT, A.W. Influence of organic additions and flooding on iron and manganese uptake by rice. Agronomy Journal, Madison, 49(11):586-9, Nov. 1959.

34. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS.  
Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 3ª aproximação. Belo Horizonte, EPAMIG, 1976.  
80p.
35. COOKE, I.J. & HISLOP, J. Use of anion exchange resin for the assesment of available soil phosphate. Soil Science, Baltimore, 96(1):308-11, 1963.
36. \_\_\_\_\_. A kinetic approach to the description of soil phosphate status. Journal of Soil Science, London, 17(1):56-4, Mar. 1966.
37. CURI, N.; RESENDE, M. & SANTANA, O.P. Solos de várzeas de Minas Gerais. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 13(152): 3-10, 1988.
38. DALAL, R.C. Soil organic phosphorus. Advances in Agronomy, New York, 22:83-113, 1977.
39. \_\_\_\_\_ & HALLSWORTH, E.G. Evaluation of the parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and phosphorus uptake. Soil Science Society of American Journal, Madison, 40(4):541-6, July/Aug. 1976.
40. DAUGHTREY, I.W.; GILLIAM, J.W. & KAMPRATH, E.J. Soil test parameters for assessing plant-available P of acid organic soils. Soil Science, Baltimore, 115(6):438-46, June 1973.
41. DAVIDE, J.G. The time and methods of phosphate fertilizer application. In: SIMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT. Baltimore, John Hopkins Press, 1964. p.255-68.

42. DEDATTA, S.K.; MOOMAW, S.C.; RACHO, V.V. & SIMSIMA, G.V.  
Phosphorus supplying of low land rice soils. Soil Science Society of America Proceeding, Madison, 30(5):613-7, Sept./Oct. 1966.
43. DELAZARI, P.L.; BRAGA, J.M.; NOVAIS, R.F. & THIEBAUT, J.T.L.  
Disponibilidade de fósforo em solos do estado do Espírito Santo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 4(3):149-53, set./dez. 1980.
44. EKPETE, D.M. Evaluation of chemical methods for the determination of available phosphorus in Waterlogged soils. Soil Science, Baltimore, 121(4):217-21, Apr. 1976.
45. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento de Conservação de Solos. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1979. n.p.
46. 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, Baltimore, 123(1):48-53, Jan. 1977.
47. FOLE, D.A. & GRIMM, S.S. Avaliação do efeito residual do fósforo por meio de métodos de extração e modelos matemáticos no oxissolo Passo Fundo. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, 9(2):205-21, 1973.

48. FONSECA, R.; DIAS, A.C.; PINHO, A.; PIRES, E.; MIRANDA, E.; CABALA, P. & SANTANA, C. Correlações dos teores de fósforo nos solos com respostas de micro-parcelas de milho, na zona cacauzeira da Bahia. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 3:235-42, 1968.
49. FREIRE, F.M. & NOVAIS, R.F. Solos de várzea - característica e problemas relativos à fertilidade. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 6(65):24-34, maio 1980.
50. GARGANTINI, H.; NÓBREGA, S. de A.; HUNGRIA, L.S.; WUTKE, A.C. P. & SCIVITTARO, A. Adubação mineral de batatinha. II. Vale do Paraíba. Bragantia, Campinas, 24(3):29-40, jan. 1965.
51. GOEDERT, W.J. & LOBATO, F. Eficiência agrônômica de fosfatos em solos de cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 15(3):311-8, jul. 1980.
52. GOMES, A.G. & FREIRE, E.S. Adubação da batatinha no vale do Paraíba, experiências com adubos nitrogenados. Bragantia, Campinas, 21(14):241-55, fev. 1962.
53. \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_. Adubação da batatinha no vale do Paraíba, experiências com doses crescentes de N, P, K. Bragantia, Campinas, 21(10):123-41, fev. 1962.
54. \_\_\_\_\_ & VEIGAS, G.P. & FREIRE, E.S. Adubação do milho no Vale da Paraíba, experiências com N, P, K e Ca em solo da série tumirim. Bragantia, Campinas, 22(14):149-56, mar. 1963.

55. GONG, Ti-Tong. Pedogenesis of paddy soil and its significance in soil classification. Soil Science, Baltimore, 135 (1):5-10, Jan. 1983.
56. GOSWANI, N.N. & BANERJEE, N.K. Phosphorus, potassium and other macroelements. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Soils and rice. Los Bânos, Philippines, 1978, v.2, p.561-80.
57. GRANDE, M.A.; CURI, N. & QUAGGIO, J.A. Disponibilidade de fósforo pelos extratores de Mehlich e resina, em solos cultivados com arroz irrigado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 10(1):45-50, jan./abr. 1986.
58. GROHMANN, F. & RAIJ, B. van. Influência dos métodos de agitação e dispersão da argila do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14., Santa Maria, 1973. Anais... Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1974. p.123-32.
59. GUPTA, R.K. & SINGH, T.A. Interrelationships among labile phosphorus kinectes, phosphate potencial on fertilizer response of rice in subhemoloyan soil. Agrochimica, Pisa, 21 (12):123-33, Mar. 1977.
60. GURANY, D. & SUTTON, C.D. Soil factors affecting plant uptake phosphate. Journal of Soil Science, London, 18(1): 167-73, 1967.

61. HAYNES, R.J. & LUDECKE, T.E. Effect of lime and phosphorus applications on concentrations of available nutrients and on P, Al, Mn uptake by two pasture legumes in acid soil. Plant and Soil, Hague, 62:117-28, 1981.
62. HESSE, P.R. A textbook to soil chemical analysis. London, John Murray, 1971. 520p.
63. HISLOP, J. & COOKE, I.J. Anion resin as a means of assensing soil phosphate status: a laboratory technique. Soil Science, Baltimore, 105(1):8-11, Jan. 1968.
64. HUERTAS, R.E.O. Efeitos dos diferentes intervalos de aplicação de calcário e fosfatos na disponibilidade de fósforo em dois solos de cerrado. Lavras, ESAL, 1988. 101p. (Te se MS).
65. JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. New Jersey, Prentice Hall, 1968. 468p.
66. KADEBA, O. & BOYLE, J.R. Evaluation of phosphorus in forest soils: comparison of phosphorus uptake, extration method and soil properties. Plant and Soil, Hague, 49(2):285-97, 1978.
67. KAMPRATH, E.J. & WATSON, M.E. Couventiowal soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNEH, F.E. et alii. The role of phosphorus in agriculture, Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1980. Cap.16, p.433.
68. KLAMT, F.; KÄMPF, N. & SCHNEIDER, P. Solos de várzea no estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS, 1985. 42p. (Boletim Técnico de Solo, 4).

69. LAMSTER, E.C. Programa Nacional de aproveitamento residual de várzeas - PROVÁRZEAS Nacional. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Produção Agropecuária. Provárzeas Nacional; 1 hectare vale por 10. Brasília, s.d. p.7-11. (Informação Técnica, 1).
70. LARSEN, S.L. Value determination under paddy soil condition. Plant and Soil, Hague, 31(2):282-6, Oct. 1969.
71. LEITE, N.; GARGANTINI, H. & HUNGRIA, L.S. Efeitos das adubações nitrogenada e fosfatada em cultura de arroz, em arroz, em condições de várzea irrigada. Bragantia, Campinas, 29(11):115-25, abr. 1970.
72. LEITE, N.; GARGANTINI, H.; HUNGRIA, L.S. & IGUE, Toshio. Efeitos do nitrogênio, fósforo, calcário e micronutrientes em cultura de arroz irrigada no vale do Paraíba. Bragantia, Campinas, 29(25):273-85, ago. 1970.
73. LOPES, A.S. & ABREU, C. de A. Manejo de corretivos e fertilizantes sob condições de inundação. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 13(152):21-32, 1988.
74. MAGALHÃES, A.F. & GALLEGO, M.S. Uso de resina de troca aniônica na avaliação do "Fósforo disponível" para as plantas. I. Adaptabilidade do método para alguns solos do Rio Grande do Sul. Agrônômico Sulriograndense, Porto Alegre, 10(1):117-25, 1974.
75. MAHAPATRA, I.C. & PATRICK, W.H. Inorganic phosphate transformation in waterlogged soils. Soil Science, Baltimore, 107(4):281-8, Apr. 1969.

76. MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de planta. São Paulo, Ceres, 1980. 25lp.
77. MANDAL, L.N. & DAS, R.K. Transformation of applied water soluble phosphate in acidic Lowland rice soils. Soil Science, Baltimore, 110(4):263-7, Oct. 1970.
78. MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Switzerland, International Potash Institute, 1982. 653p.
79. MIRANDA, L.N. de. & VOLKWEISS, S.J. Relações entre a resposta da soja à adubação fosfatada e alguns parâmetros solo. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Campinas, 5(1):58-63, jan./apr. 1981.
80. MIYAKE, M.; ISMUNADJI, M.; ZULKARNAINI, T. & ROECHAN, S. Phosphate response of rice in Indonesian paddy fields. Japan, Tropical Agriculture Research Center. 78p. (Technical Bulletin, 17).
81. MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S.; SCHMIT, N.C. & LEITE, N. Adubação mineral do feijoeiro V. Efeitos de N, P, K, S e uma mistura de micronutrientes, em dois solos do vale do Paraíba. Bragantia, Campinas, 25(28):307-16, nov. 1966.
82. MORAES, J.F.V. Efeitos da inundação do solo. I. Influência sobre pH, o potencial de óxido-redução e a disponibilidade do fósforo no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 8(6):93-101, 1973.

83. MORAIS, O.P. de. Arroz nas várzeas. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Produção Agropecuária. Provárzea Nacional; 1 hectare vale por 10. Brasília, s.d. p.19-25. (Informação Técnica 1).
84. MOSER, V.S.; SUTHERLANO, W.H. & BLACK, L.A. Evaluation of laboratory indexes adsorption soil phosphorus by plants. I. Plant and Soil, Hague, 10:356-74, Apr. 1959.
85. MUZILLI, O. Como adubar milho e feijão sem usar tabelas de adubação. Londrina, IAPAR, 1982. 77p. (Circular, 28).
86. \_\_\_\_\_ & LLANILLO, R.F. Uso de fertilizante na cultura do milho. In: IAPAR. Uso de fertilizantes na agricultura paranaense. Londrina, IAPAR, 1978. 49p. (Circular IAPAR, 9).
87. NAGARAJAH, S.; POSNER, A.M. & QUIRK, J.P. Desorption of phosphate from by citrate and bicarbonate. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 32(5):507-10, Sept./Oct. 1968.
88. NELSON, L.E. Phosphorus nutrition of cotton, peanuts, rice, sugarcane and tobacco. In: KHASAWNEH, F.E. et alii. The role of phosphorus in agriculture. Madison, ASA, 1980. p.693-737.
89. NOVAIS, R.F. & KAMPRATH, E.J. Fósforo recuperado em três extratores químicos com função do fósforo aplicado no solo e do "fator capacidade". Revista Brasileira de Ciências do Solo, Campinas, 3(1):41-6, jan./abr. 1979.

90. OKO, B.F.O. & AGBOOLA, A.A. Comparison of different phosphorus extractants in soils of the western state of Nigeria. Agronomy Journal, Madison, 66(5):639-42, Sept./Oct. 1974.
91. OLSEN, S.R. & DEAN, L.A. Phosphorus. In: BLACK, C.A. et alii. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society Agronomy, 1965. p.1035-49.
92. \_\_\_\_\_ & KHASAWNEH, F.F. Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J. The role phosphorus in agriculture. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1980. cap.14. p.361-410.
93. PALMA, G. & FASSBERNDER, H.W. Estudio del fósforo en suelos de America Central V uso de resinas de intercambio para evaluar la disponibilidad de P. Turrialba, Costa Rica, 20(3):279-87, Jul./Set. 1970.
94. PATNAIK, S. Natural sources of nutrients in rice soils. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Soils and rice. Los Bânos, Philippines, 1978. v.2. p.501-20.
95. PATRICK, W.H. & KRALID, R.A. Phosphate release and sorption by soils and sediments: effect of aerobic and anaerobic conditions. Soil Science, Baltimore, 136(4):53-5, Oct. 1974.
96. \_\_\_\_\_ & MAHAPATRA, I.C. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. Advances in Agronomy, New York, 20:323-59, 1968.

97. PATRICK, W.H. & REDDY, C.N. Chemical changes in rice soils. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Soils and rice. Los Bânos, Philippines, 1978, v.2, p.361-79.
98. PEREIRA, L.F. Efeitos da aplicação de calcário, fósforo e zinco no crescimento e nutrição do trigo (*Triticum aestivum* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.) em dois solos de várzea do Estado de Minas Gerais. Lavras, ESAL, 1985. 135p. (Tese MS).
99. PESSENDA, L.C.R. Determinação espectrofotometria de baixa concentração de ortofosfato em águas naturais com emprego de resina de troca iônica em sistema de injeção em fluxo. Piracicaba, ESALQ, 1981. 73p. (Tese MS).
100. PONNAMPERUMA, F.N. Electrochemical changes in submerged soils and the growth of rice. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Soils and rice. Los Bânos, Philippines, 1978. v.2, p.422-41.
101. \_\_\_\_\_. The chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy, New York, 24:29-96, 1972.
102. PRATT, P.F. & BARBER, M.J. Correlations of phosphorus availability by chemical tests with inorganic phosphorus fractions. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 28(1):23-6, Jan./Fev. 1964.
103. RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato; Instituto da Potassa. 1981. 142p.

104. RAIJ, B. van. Fósforo: dinâmica e disponibilidade no solo. In: FERNANDES, F.M.; NASCIMENTO, V.M. do. Curso de atualização em fertilidade do solo. Ilha Solteira, Fundação Cargill, 1987. Cap.6, p.161-79.
105. \_\_\_\_\_. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 2(1):1-9, jan./abr. 1978.
106. \_\_\_\_\_. Vantagens de novos métodos de análise de solo para recomendação de corretivos e fertilizantes. In: SIMPÓSIO SOBRE RECICLAGEM DE NUTRIENTES E AGRICULTURA DE BAIXOS INSUMOS NOS TRÓPICOS, Ilhéus, 1984. Anais... Ilhéus, CEPLAC/SBCS, 1985. p.149-60.
107. \_\_\_\_\_ & FEITOSA, C.T. Correlação entre o P extraído de solos por diversos extratores químicos e os absorvidos pelo milho. Bragantia, Campinas, 37(7):51-7, maio 1980.
108. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_ & SILVA, N.M. Comparação de quatro extratores de fósforo. Bragantia, Campinas, 43(1):17-29, 1984.
109. \_\_\_\_\_ & QUAGGIO, J.A. Método de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo, 1985. 107p. (Boletim Técnico, 81).
110. \_\_\_\_\_; ROSANO, P.C. & LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil: apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S. & GOEDERT, W.J. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.9-28.

111. RAIJ, B. van; SILVA, N.M. da; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINALLI Jr. R.; DECHEN, A. R. & TRANI, P.E. Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico, 1985. 107p. (Boletim Técnico, 100).
112. REIS, A.E.G. & RASSINI, J.B. Aproveitamento de várzeas. In: GOEDERT, W. et alii. Solos dos cerrados. Brasília, EMBRAPA, 1986. p.353-84.
113. RESENDE, M. & REZENDE, S.B. Levantamento de solos: uma estratificação de ambientes. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 9(105):3-25, set. 1983.
114. RILEY, D. & BARBER, S.A. Bicarbonato accumulation on Ph changes of the soybean (Glycine max (L.) Merr.) root-soil interface. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 33(6):905-8, Nov./Dec. 1969.
115. \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_. Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root induced Ph changes at the root soil interface. Soil Science Society America Proceedings, Madison, 35(2):301-6, Mar./Apr. 1971.
116. ROJAS, C. Selección de métodos para la evaluación de fósforo disponible en suelos agroceros. Agricultura Técnica, Chile, 36:5-13, ene./mar. 1976.
117. RUSSEL, E.W. Condiciones del suelo y crecimiento de las plantas. 9.ed. Madrid, Aguilar, 1968. 80lp.

118. SAH, R.N. & MIKKELSEN, D.S. Sorption and bioavailability of phosphorus during the drainage period of flooded-drained soils. Plant and Soil, Hague, 92(2):265-78, 1986.
119. \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_. Transformation of inorganic phosphorus during the flooding and draining cycles. Soil Science Society of America Journal, Madison, 50(1):62-7, Jan./Feb. 1986.
120. SANCHEZ, P.A. Suelos del trópico; características y manejo. San José, Costa Rica, IICA, 1981. 634p.
121. SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análise química de plantas. Piracicaba, ESALQ, 1974. 56p.
122. SAVANT, N.K. & ELLIS Jr., R. Changes in the redox potencial and phosphorus availability in submerged soil. Soil Science, Baltimore, 98(1):388-94, 1964.
123. SCHMIDT, N.C. & GARGANTINI, H. Efeito da aplicação de calcário, matéria orgânica e adubos minerais em culturas de arroz, em solo de várzea irrigada. Bragantia, Campinas, 29(27):293-9, set. 1970.
124. SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; CORDEIRO, D.S.; PALHANO, J.B. & DITTRICH, R.C. Comparação de cinco extratores de fósforo do solo, considerando-se o tempo de incorporação de três adubos fosfatados. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Campinas, 3(2):111-15, maio/ago. 1979.

125. SHAPIRO, R.E. Effects of flooding on availability of phosphorus and nitrogen. Soil Science, Baltimore, 85(4):190-7, Apr. 1958.
126. SIBBESSEN, E. An investigation of the anion exchange, resin method for soil phosphate extraction. Plant and Soil, Hague, 50(2):305-21, 1978.
127. \_\_\_\_\_. A simples ion exchange resin procedure for extracting plant-available elements from soil. Plant and Soil, Hague, 46(3):664-9, 1977.
128. SIQUEIRA, O.J.F. de; SCHEDER, E.E.; TASSINARI, G.; ANGLINONI, I.; PATELLA, J.F. & TEDESCO, M.J. Recomendação de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 1987. 100p.
129. SOARES, A.A. A cultura do arroz nas várzeas. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 13(152):36-9, 1988.
130. TANAKA, R.T.; BAHIA, V.G.; COELHO, A.M. & FREIRE, J.C. Seleção de extratores de fósforo em função das respostas das plantas de milho (Zea mays) e da adubação com fosfato Patos-de-Minas em condições de casa de vegetação. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Campinas, 5(1):38-42, jan./abr. 1981.
131. VAIDYANATHAN, L.V. & TALIBUDEEN. Rate processes in the desorption of phosphate from soils by ion-exchange resins. Journal of Soil Science, London, 21(1):173-83, Mar. 1970.

132. WIETHOLTER, S. Conceitos de disponibilidade de nutrientes no solo. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Piracicaba, SP, 06 a 09 de outubro de 1986. (Separata).
133. YOSHIDA, T. Microbial metabolism in rice soils. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Soils and rice. Los Bânos, Philippines. 1978, v.2. p.445-65.
134. YOST, R.S.; NADERMAN, R.S.; KAMPRATH, E.J. & LOBATO, E. Availability of rock phosphate as measured by an acid tolerant grass and extractable phosphorus. Agronomy Journal, Madison, 74(3):462-8, May/June 1982.