FATORES QUE AFETAM A DETERMINAÇÃO DO FÓSFORO ISOTOPICAMENTE TROCÁVEL EM SOLOS

LUIS EDUARDO MORALES MORALES

Engenheiro Agrônomo
Instituto de Assuntos Nucleares (Colômbia)

Orientador: Prof. Dr. ANDRÉ MARTIN LOUIS NEPTUNE

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Energia Nuclear na Agricultura.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Junho, 1981

*À minha mãe (in memoriam),
Aos meus irmãos e familiares*

OFEREÇO.

*A minha esposa
e meus filhos*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha sincera gratidão às instituições ou pessoas que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho, em especial as relacionadas a seguir:

- Instituto de Asuntos Nucleares (Colômbia), Agência Internacional de Energia Atômica, Comissão de Energia Nuclear, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) e Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", que possibilitaram minha participação no curso de pós-graduação.
- Aos Drs. Ernesto Villarreal Silva e Jaime Toro Gutierrez, diretor e subdiretor técnico do Instituto de Asuntos Nucleares respectivamente, pelo apoio e incentivo.
- Ao Prof. André Martin Louis Neptune pela sugestão do assunto e segura orientação desta pesquisa.
- Ao Dr. Takashi Muraoka pela constante colaboração, incentivo e amizade.
- Aos Profs. Drs. Klaus Reichardt, Paulo Libardi e Virgílio F. Nascimento, pelo apoio e incentivo concedidos durante meu estágio no CENA.
- Ao Eng. Agr. Gonzalo Bastidas pelo auxílio na instalação, condução, análise dos experimentos e sugestões apresentadas.
- Ao Dr. Peter Vose da Agência Internacional de Energia Atômica.

- Ao Dr. Marco A. Perdomo C. pelo apoio e amizade.
- Ao Dr. Ricardo B. Sgrillo responsável pela divisão de ensino e extensão, pela colaboração e amizade.
- Aos Engs. Agrs. Pablo Guzman e Jairo Jimenez pelo auxílio e sugestões apresentadas.
- Aos Drs. Carlos C. Cerri e Reinaldo Victoria pelo apoio e amizade.
- Ao Sr. José Osório da Seção de Dosimetria e proteção radiológica do CENA.
- Às srtas. Marileusa A. Bassi, Sandra Teresa Pereira, Silvia R.C. Prates e Sandra Maria G. Nicoletti da Seção de Fertilidade do Solo.
- Aos Srs. João O. Salvador, Rudinei Romani, Anderson Forti e Dacir Bartoleto da Seção de Fertilidade do Solo.
- À sra. Janeti L.B. de Moura e às srtas. Rosa Maria V.B. Oliveira, Pedrila de Fatima Pellegreinotti e Marcia A. Leiteda biblioteca do CENA.
- Aos srs. Luis C. Veríssimo, Eurice A. Mello e Moacir P. de Oliveira da biblioteca da ESALQ.
- À sra. Diva Athié da Agência Internacional de Energia Atômica.
- Aos srs. Ariovaldo M. Carvalho e Francisco C. Pellegrino do Centro de Processamento de Dados do CENA.
- Ao sr. Jorge Luiz Diorio, pelo trabalho datilográfico.

ÍNDICE

	Página
AGRADECIMENTOS	iii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xi
SUMMARY	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Princípios e equações	3
2.2. Fatores que afetam a determinação do fósforo iso- topicamente trocável	8
2.2.1. Planta	8
2.2.2. Solo	11
2.2.3. Outros fatores	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1. Solos	16
3.2. Adubos	18
3.3. Metodologia	18
3.3.1. Primeiro ensaio	18
3.3.1.1. Delineamento experimental	18
3.3.1.2. Tratamentos	19
3.3.1.3. Procedimento	19

3.3.2. Segundo ensaio	21
3.3.2.1. Delineamento experimental	21
3.3.2.2. Tratamentos	21
3.3.2.3. Procedimento	22
3.3.3. Terceiro ensaio	23
3.3.3.1. Delineamento experimental	23
3.3.3.2. Procedimento	23
3.3.4. Quarto ensaio	23
3.3.4.1. Delineamento experimental	23
3.3.4.2. Tratamentos	24
3.3.4.3. Procedimento	24
3.4. Cálculo do Valor 'L'	25
3.5. Análise estatística	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. Primeiro ensaio	27
4.1.1. No solo podzólico (PVA)	27
4.1.2. No latossolo (LE)	33
4.2. Segundo ensaio	37
4.2.1. No solo podzólico	37
4.2.2. No latossolo	42
4.3. Terceiro ensaio	45
4.4. Quarto ensaio	47

4.4.1. Efeito dos níveis de P nas duas culturas em condições de sequeiro	47
4.4.2. Efeito dos níveis de P no arroz cultiva- do na condição de submersão	53
5. CONCLUSÕES	63
LITERATURA CITADA	63
APÊNDICE	76

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Características químicas, físicas e mineralógicas dos solos estudados	17
TABELA 2. Ensaio 1. Quantidade de Material Vegetal seco (MVS), porcentagem de fósforo (%P), fósforo total, atividade específica (sp) e valor 'L' dos tratamentos no solo podzolizado	29
TABELA 3. Ensaio 1. Quantidade de Material Vegetal seco (MVS), porcentagem de fósforo (%P), fósforo total, atividade específica (sp) e valor 'L' dos tratamentos no latossolo	35
TABELA 4. Ensaio 2. Quantidade de Material Vegetal seco (MVS), porcentagem de fósforo (%P), fósforo total, atividade específica (sp) e valor 'L' dos tratamentos no solo podzolizado	39
TABELA 5. Ensaio 2. Quantidade de Material Vegetal seco (MVS), porcentagem de fósforo (%P), fósforo total, atividade específica (sp) e valor 'L' dos tratamentos no latossolo	43

TABELA 6. Ensaio 3. Quantidade de Material Vegetal seco (MVS), porcentagem de fósforo (%P), fósforo total, atividade específica (sp) e valor 'L' dos tratamentos	48
TABELA 7. Ensaio 4. Quantidade de Material Vegetal seco (MVS), porcentagem de fósforo (%P), fósforo total, atividade específica (sp) e valor 'L' dos tratamentos	50
TABELA 8. Ensaio 4. Quantidade de Material Vegetal seco (MVS), porcentagem de fósforo (%P), fósforo total, atividade específica (sp) e valor 'L' dos tratamentos	54

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Distribuição dos vasos na casa de vegetação: a) primeiro ensaio, colheita aos 50 dias; b) quarto ensaio	30
FIGURA 2. Valor 'L' em função dos níveis do carregador: a) no solo podzólico; b) no latossolo	32
FIGURA 3. Valor 'L' em função dos níveis de carregador: a) no solo podzólico; b) no latossolo	40
FIGURA 4. Valor 'L' em função dos níveis de carregador: solo podzolizado.	
FIGURA 5. Valor 'L' em função dos níveis de carregador: a) nas duas culturas; b) nas duas condições de cultivo	52

RESUMO

FATORES QUE AFETAM A DETERMINAÇÃO DO FÓSFORO
ISOTOPICAMENTE TROCÁVEL EM SOLOS

Luis Eduardo Morales Morales

André Martin Louis Neptune

Para avaliar os fatores que afetam a determinação do fósforo isotopicamente trocável em solos (Valor 'L'), realizaram-se diversos ensaios em casa de vegetação. Foram considerados os seguintes fatores: níveis de carregador (0,1 - 1,3 - 5 - 10 - 11 - 22 - 33 - 66 - 99 e 220 ppm de fósforo), espécie vegetal (arroz e feijoeiro), épocas de colheita (30 e 50 dias), doses de nitrogênio (50 e 100 kg N/ha), fontes de nitrogênio (uréia e sulfato de amônio), condições de cultivo (sequeiro e submersão) e tipo de solo (Podzólico vermelho amarelo equivalente eutrófico e Latossol vermelho escuro).

Uma solução radioativa com uma atividade aproximada de 10 $\mu\text{Ci } ^{32}\text{P}$ /3 kg de solo, com diversos níveis de carregador segundo o tratamento, foi colocada em camadas ou misturada completamente com o solo segundo o ensaio. Dos resultados obtidos, foram tiradas as seguintes conclusões:

1. Os valores 'L' foram mais altos quando foram utilizados baixos níveis de carregador nos dois solos.

2. Os valores 'L' dependem da espécie vegetal. Foram maiores para o feijoeiro do que para o arroz.
3. Os valores 'L' no latossolo variaram com a época de colheita.
4. A dose e fonte de nitrogênio não afetaram os valores 'L'. Porém, o sulfato de amônio causou um efeito sinérgico na absorção de P quando a dose de carregador foi de 220 ppm no solo podzolizado.
5. No latossolo, a condição de submersão aumentou a produção de material vegetal seco e o teor de fósforo total, porém, os valores 'L' permaneceram constantes.
6. Os valores 'L' obtidos com níveis de carregador de 1,3 a 11 ppm de P, com arroz aos 30 dias, foram semelhantes aos obtidos com H_2SO_4 0.05 N no solo podzolizado. No latossolo foram completamente diferentes.

SUMMARY

FACTORS AFFECTING THE DETERMINATION OF THE
ISOTOPICALLY EXCHANGEABLE PHOSPHORUS IN SOILS.

Luis Eduardo Morales Morales

André Martin Louis Neptune

In order to evaluate the factors that affect the determination of the isotopically exchangeable phosphorus in soils ('L' value), various greenhouse experiments were carried out. The following factors were considered: carrier level (0.1 - 1.3 - 5 - 10 - 11 - 22 - 33 - 66 - 99 and 220 ppm phosphorus); plant species (rice - *Oryza sativa*, L. and bean - *Phaseolus vulgaris*, L.); harvest time (30 and 50 days); nitrogen doses (50 and 100 kg N/ha); nitrogen sources (urea and ammonium sulfate); culture conditions (upland and flooded conditions) and soil type (red-yellow podzolic and dark red Latosol).

A radioactive solution with an activity level of approximately 10 $\mu\text{Ci } ^{32}\text{P}$ /3 kg soil with different carrier levels was located in layers or mixed completely with the soil depending upon the experiment. The results obtained allowed us to draw the following conclusions:

1. The 'L' values were higher when low carrier levels were used in both soils.

2. The 'L' values were dependent upon the plant species. They were higher with beans than with rice.
3. The 'L' values in the latossol varied depending upon the harvest time.
4. Neither the nitrogen dose nor the nitrogen source affected the 'L' values. Nevertheless, ammonium sulfate caused a synergic effect upon the P uptake when the carrier dose was 220 ppm in the podzolic soil.
5. In the latossol, flooded conditions increased the dry matter production and the total phosphorus level, however the 'L' values remained constant.
6. The 'L' values obtained in rice of 30 days with carrier levels from 1.3 to 11 ppm P were similar to those obtained in the Podzolic soil with H_2SO_4 0.05N. In the latossol, they were completely different.

1. INTRODUÇÃO

A possibilidade de desenvolver técnicas mais exatas na pesquisa em Fertilidade do Solo pelo uso dos isótopos radioativos dos elementos nutritivos da planta foi reconhecida e demonstrada por STOUT e HOAGLAND, 1939, porém, foi somente a partir de 1946 que surgiu a oportunidade de analisar cuidadosamente esta nova e promissória ferramenta (ENSMINGER e PEARSON, 1957).

A mudança na atividade específica do nutriente aplicado como resultado da diluição isotópica na planta ou no solo é a base dos experimentos realizados em laboratório (valor 'E') e em casa de vegetação (valor 'L') para avaliar o estado nutricional do solo.

O fósforo isotopicamente trocável do solo (valor 'L') é uma medida quantitativa que representa a quantidade de P disponível para o cultivo sob condições particulares de crescimento (WILLIAMS e KNIGHT, 1963).

Mas apesar das altas correlações obtidas por inúmeros pesquisadores entre o valor 'L' e o fósforo disponível ou 'Pool' de fosfato do solo, esta metodologia, da mesma maneira que os métodos convencionais de análise, tem sérias limitações (RUSSELL et alii, 1954 e OZBEK e AYDENIZ, 1965).

O objetivo deste trabalho é então avaliar com base nos princípios da diluição isotópica, o fósforo isotopicamente trocável em dois solos do Estado de São Paulo, usando para este propósito o isótopo radioativo (^{32}P) com diferentes níveis de carregador, espécies de planta, época de colheita, doses e fontes de nitrogênio, e duas condições de cultivo (submersão e sequeiro).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. PRINCÍPIOS E EQUAÇÕES

Segundo McAULIFFE et alii (1948), foi Paneth em 1922 quem fazendo uso dos traçadores isotópicos estudou as reações de troca entre sais de chumbo de uma superfície sólida e uma solução contendo o isótopo radioativo $^{212}_{86}\text{Pb}$. A reação básica é:

como a constante de equilíbrio é igual a (1), então:

$$\frac{\text{Pb}^*(\text{superfície})}{\text{Pb}^*(\text{solução})} = \frac{\text{Pb}(\text{superfície})}{\text{Pb}(\text{solução})}$$

Este princípio pode ser aplicado a reações no solo que envolvem fósforo

Assumindo que em equilíbrio a relação dos dois isótopos na fase sólida é igual a sua relação na fase líquida (SPINKS e BARBER, 1947), o ^{31}P na fase sólida pode ser calculado da seguinte maneira:

$$\frac{^{32}\text{P}(\text{sup})}{^{32}\text{P}(\text{sol})} = \frac{^{31}\text{P}(\text{sup})}{^{31}\text{P}(\text{sol})} \text{ ou } ^{31}\text{P}(\text{sup}) = \frac{^{32}\text{P}(\text{sup})}{^{32}\text{P}(\text{sol})} \times ^{31}\text{P}(\text{sol.})$$

O termo $^{31}\text{P}(\text{sup.})$ tem sido chamado frequentemente como fósforo de superfície (McAULIFFE et alii, 1948), ou fosfato isotopicamente trocável na fase sólida (ULRICH, et alii 1962).

Hevesy, 1923 citado por LARSEN (1952) introduziu o uso de isótopos radioativos na pesquisa de fisiologia de plantas e animais. O mesmo autor em 1936 iniciou os estudos sobre absorção de fósforo pelas plantas utilizando o isótopo ^{32}P , obtido pela irradiação de ^{31}P com neutrons de uma fonte de radio-berílio (MATTINGLY, 1957).

Segundo NEPTUNE e MURAOKA (1978) a lei de diluição isotópica de Hevesy afirma que em condições de equilíbrio isotópico, a atividade ou a percentagem de átomos de isótopos estáveis é constante através do sistema. Para HENDRICKS e DEAN (1948), a mudança na atividade específica que resulta da diluição é a base da maioria de experimentos com fertilizantes.

Se um adubo marcado é adicionado a um solo sobre o qual uma cultura está crescendo, a radioatividade de uma

quantidade unitária de fosfato encontrada nas plantas, indicará a quantidade de fosfato derivado do fertilizante (HENDRICKS e DEAN, 1948). A determinação deste fósforo pela diluição com fosfato radioativo se chama diluição isotópica direta (MEKHAEL et alii, 1965) e segundo CHASE e RABINOWITS (1967) pode ser representada por:

Se: R' = atividade (c/min) da amostra no estoque utilizado

m' = massa da amostra estoque

m = massa da substância inativa desconhecida usada então a atividade específica S' do padrão é:

$$S' = \frac{R'}{m'} \quad (1)$$

e a atividade específica da substância isolada em forma pura da mistura é:

$$S = \frac{R'}{m' + m} = \frac{Rr}{mr} \quad (2)$$

Então dividindo a equação (1) pela equação (2) fica:

$$\frac{S'}{S} = \frac{R' / m'}{R' / (m' + m)} = \frac{m' + m}{m'} = 1 + \frac{m}{m'} \quad \text{ou} \quad \frac{m}{m'} = \frac{S'}{S} - 1$$

$$\text{e } m = m' \left(\frac{S'}{S} - 1 \right) \quad (3)$$

(3) é a mesma equação que utilizou LARSEN (1952) para estimar o valor 'L', mas ele a representou

$$Y = \left(\frac{C_o}{C} - 1 \right) X \quad (4)$$

onde: Y = quantidade de fósforo trocável presente no solo

C_o = conteúdo de radiofósforo de x(³²P)

C = quantidade de radiofósforo absorvido pela planta

X = quantidade de fósforo adicionado

RUSSELL et alii (1957) a modificaram, ficando:

$$L = \frac{Y_f (X_p - D)}{Y_p} - X_f \quad (5)$$

onde: Y_f e Y_p = radioatividade do adubo e da planta respectivamente

X_f e X_p = fósforo-32 (radioatividade) e fósforo total na planta respectivamente

D = conteúdo de fósforo da semente

Na equação (5) considerando D igual a zero (ou descontando previamente) e o nível de carregador muito baixo, tendendo a zero obtêm-se:

$$L = \frac{Y_f \cdot X_p}{Y_p} = \frac{X_p \times 100}{Y_p/Y_f \times 100}$$

e fazendo-se $X_p = P$ e $\frac{Y_p}{Y_f} \times 100 = K$

$$\text{tem-se } L = 'x' = \frac{P \times 100}{K} \quad (6)$$

onde: 'x' = quantidade de fosfatos assimiláveis do solo

P = quantidade de ^{31}P absorvido pelas plantas

K = porcentagem de ^{32}P absorvido pelas plantas ou
"coeficiente de utilização".

A equação (6) é a expressão usada por SOKOLOV (1955, 1958) para calcular o fósforo disponível do solo.

A equação de Sokolov reduz-se à de Larsen, quando a dose do carregador é suficientemente baixa, porque todo o ^{31}P absorvido vem do nativo do solo (VOLK e McLEAN, 1963).

Para o propósito agronômico de comparar o estado relativo do fósforo nos solos os valores 'E' e 'L' são suficientemente semelhantes para apreciá-los como medidas alternativas aos processos químicos convencionais (RUSSELL, et alii, 1957). Também o método pode ser utilizado para comparar diferentes adubos fosfatados aplicados somente a um solo. O valor 'E' é obtido pela agitação do solo como uma solução de P marcado; a quantidade de fosfato trocável no solo é calculada pelas mudanças na atividade específica da solução. Para estimar o valor 'L' o nutriente marcado é adicionado ao solo e permite-se que as plantas se desenvolvam.

RUSSELL et alii (1957) modificaram o método de Larsen e mostraram que 'L' é independente da quantidade do carregador e do tempo da amostragem se o fósforo foi completamente misturado com o solo. Esse autor concluiu que era melhor utilizar ^{32}P livre de carregador para prevenir reações químicas entre o carregador e o solo que podem reduzir a diluição isotópica. Previamente FRIED e DEAN (1952), definiram o valor 'L' como a quantidade de P no solo e na solução do solo que é trocável com íons ortofosfato adicionados ao solo como medida de um sistema com plantas. Esta definição requer equilíbrio isotópico; se este não for atingido o valor 'L' não é único, e se for pode ser um índice do P disponível no solo (IAEA, 1976).

2.2. FATORES QUE AFETAM A DETERMINAÇÃO DO FÓSFORO ISOTOPICAMENTE TROCÁVEL

Considera-se que o valor 'L' é afetado por alguns fatores entre os quais destacam-se: a espécie vegetal, as características do solo e outros fatores que dependem da metodologia utilizada.

2.2.1. Planta

Segundo ANDERSEN e THOMSEN (1979) a eficiência de utilização do P do solo e do fertilizante depende das características das plantas. É bem conhecido o fato de que es-

pêcies de plantas e ainda dentro de variedades da mesma espécie, diferem na sua habilidade para absorver P do solo pouco solúvel e na sua resposta à adubação. Isso pode ser devido principalmente à extensão de seu sistema radicular e a diferenças fisiológicas no mecanismo de absorção de nutrientes. NELSON et alii (1948) relataram diferença na absorção de P por duas culturas em solos com teores similares de P e supuseram que se devia a diferenças na extensão do seu sistema radicular. Resultados semelhantes tem sido citados por outros autores (SCHEFFER e ULRICH, 1958; SCHENK e BARBER, 1979).

Os experimentos realizados por MARAIS e FOURIE (1956), com centeio, cevada, tomate e pepino tem mostrado que o valor 'L' de um solo permanece igual independentemente destas espécies cultivadas. Outros pesquisadores, porém, tem encontrado valores 'L' diferentes concluindo que determinadas espécies de plantas são mais eficientes que as outras na absorção de P do solo de baixo potencial (NYE e FOSTER, 1958; RUSSELL, 1963). PROBERT (1972) obteve valores 'L' mais altos para trevo do que para rye grass no terceiro corte e atribuiu, esse fato, a maior absorção de cálcio por trevo. Resultados semelhantes foram encontrados por USBEK e AYDENIZ (1967) que relataram variações do valor 'A' com o tipo de cultura, com valores altos para milho e baixos para millet.

RUSSELL et alii (1957) consideram que se comete um erro quando não se desconta o fósforo da semente. NYE e FOSTER (1958) encontraram diminuição nos valores 'L' quando o

P da semente era uma apreciável fração do P absorvido pelas plantas, devido a trocas entre o P da semente e o ^{32}P adicionado ao solo. Para LARSEN e COOKE (1961), os valores 'L' baseados nos dois primeiros cortes aos 15 e 31 dias após o plantio, são influenciados pelo P da semente. Em trabalho semelhante PROBERT (1972) notou que os valores 'L' para trevo eram superestimados no primeiro e segundo cortes pelo P da semente. SPINKS e BARBER (1947) e MALEINA (1958) subtraíram do P total absorvido o P da semente. SCHEFFER e ULRICH (1958) encontraram que mais de 80% do P da semente se intercambia com o P marcado de uma solução dentro das primeiras semanas de crescimento. Para NEPTUNE (1964), 65% do P da semente de arroz de transloca para a parte aérea. Segundo RUSSELL (1963) o P da semente pode ser ignorado quando é uma pequena porção do P absorvido.

Quanto à época de colheita, LARSEN e SUTTON (1963) concluíram que a variação do valor 'L' com o tempo segue um padrão definido: o valor 'L' pode aumentar devido ao P da semente ou pode diminuir devido à que o equilíbrio isotópico não tenha sido atingido. ANDERSEN et alii (1961) relataram incrementos substanciais do valor 'L' através do período de crescimento, porém, MARAIS e FOURIE (1956) e RUSSELL et alii (1958) encontraram valores 'L' constantes através do tempo; enquanto PROBERT (1972) notou que os valores 'L' aumentavam com o decorrer do experimento e o atribuiu a falta de equilíbrio e mineralização do P orgânico não lábil. Para VOSE (1980), um experimento de longa duração é desejável para permitir que o

equilíbrio isotópico seja atingido e os valores 'L' fiquem constantes.

2.2.2. Solo

Segundo LARSEN (1964) o tamanho do 'pool' de P lábil do solo é primeiramente determinado pelas propriedades do solo e não pelo teor total de P inorgânico. AMER et alii (1969) encontraram que o P lábil do solo aumentou com o teor de óxidos de ferro. DALAL e HALLSWORTH (1977) encontraram que o valor 'L' se correlacionava significativamente com o cálcio e o magnésio trocáveis, pH do solo, carbono orgânico e ferro do solo. Então o valor 'L' é um parâmetro composto que toma em conta um grande número de características do solo, o que dá a melhor estimativa do P disponível.

MALEINA (1958) encontrou que quando existe uma grande reserva de P no solo, o grau de utilização do P do adubo é bastante baixo e vice-versa. Para RUSSELL et alii (1957) a ocorrência de altos valores 'L', em solos nos quais as plantas absorveram relativamente pequenas quantidades de fosfato, é um indício de que o fenômeno de fixação está presente nos solos. NEPTUNE e CAMPANELLI (1961) consideram que em solos bem ricos em P, é menor o efeito do P da semente e vice-versa.

LARSEN e SUTTON (1963), em um experimento para analisar o efeito do volume do solo sobre os valores 'L', constataram que a absorção de P por quilograma de solo e o valor

'L' aumentaram com a diminuição do volume de solo. Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores (MALEINA, 1958; ANDERSEN et alii, 1961 e CARMELLO, 1980), que atribuíram a maior atividade radicular nos vasos pequenos a causa dos valores 'L' altos. LAMM (1962), porém, encontrou diminuições na atividade específica do ^{32}P quando reduziu o tamanho do vaso.

SHAPIRO e ARMIGER (1958) em um experimento com rochas fosfatadas e ^{32}P em dois solos, concluíram que as condições de submersão aumentaram o P disponível dos solos. Resultados semelhantes foram obtidos por LARSEN (1964). OLSEN et alii (1961) consideraram que com maior umidade do solo, mais rápida é a velocidade de difusão dos íons fosfato. PATNAIK et alii (1979) constataram que a absorção do P do adubo foi maior em solos inundados. LARSEN (1969) obteve valores 'L' constantes em condições de inundação, indicando equilíbrio isotópico entre o P adicionado e o P do solo, possivelmente devido a um incremento no P lábil do solo por redução do íon férrico. ABDEL SALAM et alii (1962) relataram maior absorção de P com aumento de umidade do solo de 11 para 28%.

2.2.3. Outros fatores

LARSEN (1952) em seu experimento para determinar o fósforo trocável do solo utilizou fosfatos de cálcio de diferentes solubilidades, marcados com ^{32}P . Misturou completamente com o solo (25 kg) níveis de PO_4^{3-} de 1 até 8 mmoles/

kg de solo e plantou cevada. Os cortes em várias épocas até a colheita, mostraram que quando uma fração definida do P do solo toma parte na diluição isotópica o valor do termo $Y=(C_0/C-1) \times$ será independente da quantidade de fosfato adicionado, mas dependente da sua solubilidade.

GUNARY e SUTTON (1967) em um experimento com três níveis de P (0, 500 e 1000 kg/ha aproximadamente) encontraram altas correlações entre os valores 'L' e o nível zero de P, e menores correlações entre valores 'L' e altas doses de P. Resultados semelhantes foram obtidos por MARAIS e FOURIE (1956) que constataram também que o nível carregador tem pouca influência sobre os valores 'L'. As iguais conclusões chegaram outros autores (GRUNES et alii, 1955; MATTINGLY, 1957; RUSSELL et alii, 1958; ANDERSEN et alii, 1961 e MARAIS et alii, 1969).

Alguns autores, porém, relatam aumentos do valor 'L' com o incremento do nível de carregador (SOKOLOV, 1958; MALEINA, 1958; VOLK e McLEAN, 1963 e USBEK e AYDENIZ, 1965). NYE e FOSTER (1958) encontraram que um aumento do nível de carregador causou uma diminuição nos valores 'L' em aproximadamente 40%. AMER et alii (1969) consideram que o método livre de carregador superestima os valores 'L'. Para IAEA (1976) e VOSE (1980) os valores 'L' devem ter pequenas quantidades de carregador (a mínima possível).

Quanto as formas de aplicação do P ao solo, LARSEN (1967), considera que em experimentos em vasos o fosfato

pode ser adicionado igualmente em forma líquida ou sólida, misturado ou na superfície ou variando a solubilidade e tamanho das partículas. Para RUSSELL et alii (1958) o fato de não misturar o ^{32}P completamente com o solo também não explica os diferentes valores 'L' entre espécies. MALEINA (1958) considera que o ^{32}P deve ser misturado uniformemente com o solo e deve ser solúvel em água. Para MARAIS et alii (1969) os valores 'L' contrastantes são causados pelo uso de adubos pulverosos onde é difícil obter uma mistura completa, por isso recomenda a aplicação em forma líquida. CARMELLO (1980) não encontrou diferença em valores 'L' quando aplicou a solução com ^{32}P em camadas ou completamente misturada com o solo.

RUSSELL et alii (1958) observaram que os valores 'L' não são afetados pelo enriquecimento anterior dos solos com P. Para ANDERSEN et alii (1961), o armazenamento afetou os valores 'L' para cevada, trevo vermelho e ryegrass. Um aumento de 60% foi encontrado para um período de incubação de 81 dias no ryegrass, devido a que ocorreu diluição e algum fosfato adicionado foi convertido em outros compostos de menor solubilidade. Segundo LARSEN e GUNARY (1964) o pré-tratamento do solo com fosfato marcado até dois meses antes do plantio, tem pouca influência sobre a mudança do valor 'L' com o tempo. Isso quer dizer que o tempo não foi suficiente para atingir o equilíbrio completo. A diluição, então, é acelerada durante o período de crescimento e com plantas em desenvolvimento.

Normalmente nos experimentos para determinação

de valor 'L', a adubação com nitrogênio e potássio é feita, porém, resultados mostrando efeito do N sobre os valores 'L' tem sido relatados. ESSAFI *et alii* (1962) e CALDWELL e BLANCHAR (1965), constataram um aumento na absorção do P do adubo com a aplicação de N como NH_4 . Rennie (1960) citado por RENNIE e SPRATT (1962) também obtiveram incremento na absorção de P pela adição de NH_4 , mas não houve efeito do íon NO_3^- . Para ANDERSEN *et alii* (1961), porém, a adição de N não afetou os valores 'L'.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados quatro ensaios, em casa de vegetação em diferentes épocas do ano, no período de setembro/79 a abril/81.

3.1. SOLOS

Utilizaram-se dois tipos de solo: Latossol vermelho escuro (LE) e Podzólico Vermelho Amarelo (PVA) equivalente eutrófico. As suas características químicas, físicas e mineralógicas aparecem na tabela 1.

Para a análise química visando avaliar a fertilidade dos solos, seguiu-se a metodologia descrita por CATANI et alii (1955). Na análise física, seguiu-se o método de pipeta, descrito por KILMER e ALEXANDER (1949). A classificação textural foi determinada de acordo com o descrito por MEDINA (1972).

Tabela 1. Características químicas, físicas e mineralógicas dos solos estudados

a) Análise química

Solo	pH (H ₂ O)	C (%)	PO ₄ ³⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺
emg/100g terra								
PVA (tropudalf)	4,8	0,12	0,116	0,19	1,6	0,56	0,16	2,88
LE (Acrohumox)	5,6	1,08	0,139	0,49	5,4	1,31	0,08	3,44

b) Análise física

Solos	Areia	Limo	Argila	Classificação Textural
PVA	82,4	11,5	6,1	Areia barrenta
LE	39,3	24,3	36,4	Barro argiloso

c) Análise mineralógica da fração argila ^{a/}

Solos	Horizonte	Caulinita	Gibbsita	Mica	Vermiculita	Montmorilonita	Alófana
PVA	Ap	61,5	14,5	9,9	6,2	2,4	6,8
	A ₃	47,0	8,0	10,3	18,0	4,6	5,7
	B ₂₂	54,5	15,0	8,9	12,0	2,7	5,9
LE	Ap	79,5	15,5	0,4	0,6	0,0	5,1
	B ₂₂	78,0	15,0	0,8	1,4	0,0	5,0

^{a/} Fonte: ALOISI et alii (1975)

Estes solos apresentam teores médios de fósforo. Fertilidade média (LE) e baixa (PVA) e teores médio e baixo de óxidos de ferro (2.5% e 0.86%) respectivamente.

3.2. ADUBOS

Em todos os ensaios, uma adubação com NPK foi aplicada. Como fontes de fósforo foram utilizados o fosfato monopotássico e o fosfato monocálcico como fontes de ^{31}P e o fosfato monosódico como fonte de ^{32}P . Como fontes de nitrogênio foram usadas a uréia e o sulfato de amônio. Como fonte de potássio foi usado o cloreto de potássio. Todos foram aplicados na forma líquida.

3.3. METODOLOGIA

3.3.1. Primeiro ensaio

3.3.1.1. Delineamento experimental

O ensaio obedeceu a um delineamento experimental inteiramente casualizado e o esquema de análise foi do tipo fatorial ($3 \times 2 \times 2$) com 12 tratamentos, para cada solo, e três repetições tendo como variáveis:

- 1) Três níveis de carregador: 0,0 - 0,13 e 1,33 ppm de P.

- 2) Duas espécies de plantas: feijão cv. Carioca; arroz cv. IAC-25
- 3) Duas épocas de colheita: 30 e 50 dias após o plantio.

3.3.1.2. Tratamentos

- 1) Arroz - 30 dias - sem fósforo (P_0)
- 2) Arroz - 30 dias - 0.13 ppm de fósforo ($P_{0.13}$)
- 3) Arroz - 30 dias - 1.33 ppm de fósforo ($P_{1.33}$)
- 4) Arroz - 50 dias - sem fósforo (P_0)
- 5) Arroz - 50 dias - 0.13 ppm de fósforo ($P_{0.13}$)
- 6) Arroz - 50 dias - 1.33 ppm de fósforo ($P_{1.33}$)
- 7) Feijão - 30 dias - sem fósforo (P_0)
- 8) Feijão - 30 dias - 0.13 ppm de fósforo ($P_{0.13}$)
- 9) Feijão - 30 dias - 1.33 ppm de fósforo ($P_{1.33}$)
- 10) Feijão - 50 dias - sem fósforo (P_0)
- 11) Feijão - 50 dias - 0.13 ppm de fósforo ($P_{0.13}$)
- 12) Feijão - 50 dias - 1.33 ppm de fósforo ($P_{1.33}$)

3.3.1.3. Procedimento

Foram preparadas três soluções contendo cada uma 0,5 mCi de ^{32}P /litro. A seguir adicionou-se na primeira solução 20 mg de ^{31}P e na segunda 200 mg de ^{31}P a partir de fosfato monopotássico. A terceira solução ficou livre de carregador.

Os vasos de barro, impermeabilizados com neu-

trol, tinham capacidade para 3 kg de terra. Esta foi separada em quatro porções aproximadamente iguais de 700 g. Sobre a primeira porção ou camada, aplicou-se 5 ml de uma das 3 soluções preparadas anteriormente de acordo com o esquema experimental. Sobre a segunda porção ou camada aplicou-se mais 5 ml e sobre a terceira porção ou camada mais 10 ml. A seguir colocou-se a quarta porção ou camada. Sobre essa última camada foram colocadas 15 sementes de arroz e 7 de feijão, nos vasos respectivos. O restante do solo (200 g) foi colocado sobre as sementes. Estas operações foram repetidas 108 vezes. Cada solo foi logo umedecido à 75% da sua capacidade de embebição. No dia seguinte adicionou-se a cada vaso uma solução contendo sulfato de amônio e cloreto de potássio, equivalente a 80 e 60 kg/ha de N e K₂O respectivamente.

Oito dias após o plantio, foi feito o desbaste deixando-se 10 plantas de arroz e 4 de feijão por vaso. Foram feitos tratamentos fitossanitários com produtos livres de fósforo e regas periódicas. Os vasos foram trocados de posição na estufa cada oito dias.

Na época de colheita (30 e 50 dias após o plantio), cortou-se a parte aérea das plantas, 1 cm acima do solo, as quais foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa a 65°C, durante 72 horas. A seguir as amostras foram pesadas e moídas no moinho Willey malha nº 20. Posteriormente, uma grama de cada foi digerida por digestão nitroperclórica, levando-se a um balão volumétrico de 50 ml com água destila-

da, guardando-se a seguir, o substrato obtido em frascos de vidro. Tomou-se alíquotas de 20 ml para a determinação da radioatividade do ^{32}P no contador de cintilação líquida Beckman LS-230, pelo efeito Cerenkov. Também foram tomadas alíquotas de 2 ml para a determinação do P-total pelo método do vanadato-molibdato no colorímetro Klett Summerson com filtro nº 42, de acordo com o método descrito em LOTT et alii (1956).

3.3.2. Segundo ensaio

3.3.2.1. Delineamento experimental

O ensaio obedeceu a um delineamento experimental inteiramente casualizado e o esquema de análise foi do tipo fatorial ($3 \times 3 \times 2$) com 18 tratamentos para cada solo e três repetições tendo como variáveis:

- 1) Três níveis de carregador: zero (0); 22 e 220 ppm de P.
- 2) Três níveis de nitrogênio: zero (0); 50 e 100 kg N/ha.
- 3) Duas fontes de nitrogênio: uréia e sulfato de amônio

3.3.2.2. Tratamentos

1) Sem N-uréia - sem fósforo	(P ₀)
2) Sem N-uréia - 22 ppm de fósforo	(P ₂₂)
3) Sem N-uréia - 220 ppm de fósforo	(P ₂₂₀)

4) 50 kg N-urêia - sem fósforo	(P ₀)
5) 50 kg N-urêia - 22 ppm de fósforo	(P ₂₂)
6) 50 kg N-urêia - 220 ppm de fósforo	(P ₂₂₀)
7) 100 kg N-urêia - sem fósforo	(P ₀)
8) 100 kg N-urêia - 22 ppm de fósforo	(P ₂₂)
9) 100 kg N-urêia - 220 ppm de fósforo	(P ₂₂₀)
10) Sem N-sulfato Am. - sem fósforo	(P ₀)
11) Sem N-sulfato Am. - 22 ppm de fósforo	(P ₂₂)
12) Sem N-sulfato Am. - 220 ppm de fósforo	(P ₂₂₀)
13) 50 kg N-sulfato Am. - sem fósforo	(P ₀)
14) 50 kg N-sulfato Am. - 22 ppm de fósforo	(P ₂₂)
15) 50 kg N-sulfato Am. - 220 ppm de fósforo	(P ₂₂₀)
16) 100 kg N-sulfato Am. - sem fósforo	(P ₀)
17) 100 kg N-sulfato Am. - 22 ppm de fósforo	(P ₂₂)
18) 100 kg N-sulfato Am. - 220 ppm de fósforo	(P ₂₂₀)

3.3.2.3. Procedimento

As soluções com diferentes níveis de carregador foram preparadas como no ensaio 1. Usou-se o fosfato mono cálcio como carregador e a atividade final aplicada foi de 10,4 μ Ci por vaso. As soluções de urêia e sulfato de amônio em dose segundo o tratamento e o cloreto de potássio em dose de 60 kg K₂O/ha foram aplicadas na superfície do solo.

As plantas foram colhidas aos 35 dias após o plantio, secas, pesadas, moídas, digeridas e analisadas como indicado no item 3.3.1.3.

3.3.3. Terceiro ensaio

3.3.3.1. Delineamento experimental

Ensaio com um delineamento experimental e esquema de análise inteiramente casualizado com 5 tratamentos (5,5 - 11 - 33 - 66 e 99 ppm de P) e três repetições. O solo podzolizado e o arroz foram utilizados.

3.3.1.2. Procedimento

As soluções foram preparadas como no experimento nº 1. Usou-se fosfato monocálcico como carregador. A radioatividade aplicada foi de 6,76 μ Ci por vaso. Os controles fitossanitários, colheita e análise foram feitos como no item 3.3.1.3.

3.3.4. Quarto ensaio

3.3.4.1. Delineamento experimental

O ensaio obedeceu a um delineamento experimental inteiramente casualizado e o esquema de análise do tipo fatorial ($3 \times 3 \times 2$) com 18 tratamentos e três repetições com as seguintes variáveis:

- 1) Três níveis de carregador: 0,1 - 5 e 10 ppm de P.
- 2) Duas espécies de plantas e duas condições para a cultura de arroz (submersão - sequeiro).
- 3) Dois solos: PVA e LE:

3.3.4.2. Tratamentos

a) Ensaio no PVA	Ensaio no LE
1) Arroz-sequeiro - P _{0.1}	1) Arroz-sequeiro - P _{0.1}
2) Arroz-sequeiro - P ₅	2) Arroz-sequeiro - P ₅
3) Arroz-sequeiro - P ₁₀	3) Arroz-sequeiro - P ₁₀
4) Arroz-submersão - P _{0.1}	4) Arroz-submersão - P _{0.1}
5) Arroz-submersão - P ₅	5) Arroz-submersão - P ₅
6) Arroz-submersão - P ₁₀	6) Arroz-submersão - P ₁₀
7) Feijão-sequeiro-P _{0.1}	7) Feijão-sequeiro-P _{0.1}
8) Feijão-sequeiro-P ₅	8) Feijão-sequeiro-P ₅
9) Feijão-sequeiro-P ₁₀	9) Feijão-sequeiro-P ₁₀

3.3.4.3. Procedimento

Foram preparadas três soluções que continham os níveis de carregador acima citados a partir de fosfato monopotássico as quais foram marcadas com ^{32}P para dar uma atividade final de 6 $\mu\text{Ci/ml}$. Logo depois foram adicionados 2 ml destas soluções a porções de solo de 50 g que atravessaram peneira nº 18 as quais foram secas em estufa a 65°C por duas horas. A seguir foram adicionadas à outra porção de solo (2,950 kg) que já estavam em sacos plásticos. As duas porções de solo foram misturadas, manualmente, até obter uma mistura tão homogênea possível, e a seguir colocadas nos vasos respectivos e tratadas como no item 3.3.1.3. No dia seguinte, aplicaram-se soluções contendo o equivalente a 100 kg de N e 100 kg de K_2O nas formas de uréia e cloreto de potássio respectivamente.

Após o desbaste, a metade dos vasos plantados com arroz foram inundados com uma lâmina de água de 1-2 cm e assim mantidos até a colheita. Foram feitos controles fitossociológicos e análises como no ensaio nº 1, item 3.3.1.3.

3.4. CÁLCULO DO VALOR 'L'

O cálculo do valor 'L', quando foi usado carregador, foi feito de acordo com a equação 5, pág. 6, de RUSSELL *et alii* (1957):

$$L = \frac{Y_f (X_p - D)}{Y_p} - X_f$$

onde: L = fósforo isotopicamente trocável (mg P/kg solo)

Y_f = ^{32}P aplicado ao solo (c/min/kg solo)

Y_p = ^{32}P nas plantas (c/min)

X_f = ^{31}P aplicado ao solo como carregador (mg P/kg solo)

X_p = ^{31}P nas plantas (mg)

D = ^{31}P nas sementes (mg)

$$\text{ou seja: } \frac{\text{mg P}}{\text{kg solo}} = \frac{\text{c/min}}{\text{kg solo}} \times \frac{(\text{mgP} - \text{mgP})}{\text{c/min}} - \frac{\text{mgP}}{\text{kg solo}}$$

Para estimar o valor de D, considerou-se que 65% e 20% do fósforo do endosperma das sementes de arroz e feijão, respectivamente, translocaram-se à parte aérea.

Quando não foi usado carregador, o cálculo do

valor 'L' foi feito de acordo com a expressão de SOKOLOV (1958) modificada por NEPTUNE e CAMPANELLI (1961)

$$L = \frac{Y_f}{s_p} \quad \text{onde } s_p = \frac{Y_p}{X_p - D}$$

s_p = atividade específica na planta (c/min/g)

3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística dos esquemas fatoriais foi interpretada de acordo com CALZADA (1964). Somente foram analisadas as seguintes variáveis: produção de material vegetal seco, fósforo total e valor 'L'.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PRIMEIRO ENSAIO

Avaliação do efeito de baixos níveis de carregador, da espécie de planta e da época de colheita na determinação do valor 'L' nos solos PVA e LE.

4.1.1. No solo Podzolizado

As análises de variância dos resultados, revelaram através do teste F, serem significativos ao nível de 1% de probabilidade, os efeitos da espécie de planta (C), da época de colheita (E) e da sua interação C X E sobre os parâmetros analisados: material vegetal seco (MVS) fósforo total e valor 'L'; interação níveis de fósforo (P) por espécie de planta (C) por época de colheita (P X C X E) no teor de P to-

tal e os efeitos de níveis de P e as interações P X C e P X E sobre o valor 'L'. (Veja-se no apêndice 1 e 4).

Na tabela 2, observa-se que os baixos níveis de carregador não causaram nenhum efeito sobre as produções de material vegetal seco (M.V.S.) obtidos dos tratamentos; houve diferença entre estes, no que diz respeito às épocas de colheita no arroz e às duas espécies de plantas na colheita feita aos 50 dias. A semelhança nas produções de M.V.S. entre as duas épocas no feijoeiro deve-se provavelmente à perda de folhas velhas depois dos 25 dias de idade. Na figura 1a, observa-se a distribuição dos vasos para a colheita de 50 dias e o feijoeiro quase só com as folhas mais novas.

O teor de P total nas plantas foi similar para os três níveis de P dentro de cultura e época. Dados mostrando resultados semelhantes tem sido relatados por MALEINA (1958). Este pesquisador não encontrou efeito na absorção de P quando aplicou doses pequenas de carregador. Porém, os teores de P total foram significativamente diferentes entre as duas épocas no arroz e entre as duas culturas na colheita aos 50 dias. De fato, o pequeno incremento do M.V.S. no feijoeiro aos 50 dias causou também pequeno aumento nos teores de P total.

A semelhança entre os valores de M.V.S. e P total pode ser devida a que os baixos níveis de P não alteraram o sistema fósforo do solo porque o aporte do P aplicado não foi significativo. Não entanto a diferença na absorção de P e na produção de M.V.S. das espécies de plantas tem sido reco-

Tabela 2. Ensaio 1. Quantidade de material vegetal seco (MSV), porcentagem de fósforo (%), fósforo total, atividade específica (sp) e valor 'L' dos tratamentos no solo podzolizado

TRATAMENTO							
Cultura	Idade de Colheita	Níveis de carregador	MVS (g/vaso)	%P	P-total (mg/vaso)	sp (c/min/g)	Valor L (mg P/kg solo)
1) Arroz	- 30 dias	P ₀	2,92	0,268	5,56	22721	23,00
2) Arroz	- 30 dias	P _{0.13}	2,01	0,254	4,62	31154	18,33
3) Arroz	- 30 dias	P _{1.33}	1,90	0,237	4,04	46368	11,33
4) Arroz	- 50 dias	P ₀	8,06	0,107	8,08	9071	26,33
5) Arroz	- 50 dias	P _{0.13}	7,72	0,127	9,21	11930	21,33
6) Arroz	- 50 dias	P _{1.33}	7,79	0,135	9,98	15644	16,66
7) Feijão	- 30 dias	P ₀	3,25	0,116	2,88	4995	103,66
8) Feijão	- 30 dias	P _{0.13}	3,00	0,120	2,71	11698	51,66
9) Feijão	- 30 dias	P _{1.33}	3,00	0,120	2,73	24490	25,00
10) Feijão	- 50 dias	P ₀	3,62	0,123	3,57	4321	55,33
11) Feijão	- 50 dias	P _{0.13}	4,75	0,094	3,63	6691	39,00
12) Feijão	- 50 dias	P _{1.33}	3,93	0,104	3,23	11694	23,00
d.m.s. (Tukey 5%)			1,54		1,94		15,98
C.V. %			12,09		13,00		15,56

a)

b)

Figura 1. Distribuição dos vasos na casa de vegetação: a) primeiro ensaio, colheita aos 50 dias; b) quarto ensaio.

nhecida por muitos pesquisadores (DEAN *et alii*, 1948; NELSON *et alii*, 1948; MATTINGLY e TALIBUDEEN, 1960; RUSSELL, 1963 e EID *et alii*, 1965) segundo NYE e FOSTER (1958), BAKER (1964) e KALRA e SOPER (1968) a quantidade de fósforo absorvido do fertilizante depende da idade e do tipo de cultura.

As porcentagens de P nas duas plantas, de maneira geral, foram baixas no feijoeiro (0.115) e medios no arroz (0.253), diminuindo com a idade da planta até o nível de deficiência no arroz (0.123), devido provavelmente ao efeito de diluição.

As atividades específicas nas plantas, em todos os casos, aumentaram com o incremento nos níveis de carregador e foram maiores para o arroz do que para o feijoeiro. O que sugere que de um lado o equilíbrio isotópico não foi atingido o que de outro as plantas absorveram P de outras fontes não disponíveis nos primeiros trinta (30) dias.

Os valores 'L' diminuíram com o incremento no nível de carregador nas duas épocas e nas duas culturas (Fig. 2a). Estes resultados não concordam com os obtidos por outros pesquisadores que tem encontrado efeitos não significativos de níveis baixos de carregador (SOKOLOV, 1958; MALEINA, 1958; MARAIS *et alii*, 1969). Embora, SELVARATNAM *et alii* (1981) encontraram diminuição dos valores 'L' com aumento do nível de carregador.

Os níveis baixos de carregador e a época da colheita não causaram nenhum efeito sobre os valores 'L' quando

Figura 2. Valor 'L' em função dos níveis do carregador: a) no solo latossolo; b) no latossolo.

a cultura utilizada foi o arroz, mas ocorreu o contrário com o feijoeiro, onde apresentou-se diferenças entre os tratamentos em cada época e entre as épocas quando o tratamento ficou livre de carregador. RUSSELL *et alii* (1958) encontraram que os valores 'L' permanecem constantes com espécies de plantas, ao longo do experimento (até 56 dias) mas os valores 'L' entre as espécies foram diferentes segundo sua capacidade para absorver fósforo.

Comparando os valores 'L' com os dados obtidos pelo método de extração química, utilizando H_2SO_4 0.05 N de acordo com CATANI *et alii* (1955), Tabela 1 página 17, nota-se que o valor 'L' obtido com 1,33 ppm de P como carregador aos 30 dias e com a cultura do arroz foi idêntico ao obtido quimicamente (11.6 ppm). De outro lado, os valores 'L' foram maiores quando o nível de carregador foi quase insignificante e principalmente quando a cultura utilizada foi o feijoeiro. Para MEKHAEL *et alii* (1965) e AMER *et alii* (1969), o método de SOKOLOV (livre de carregador) superestima o fósforo isotopicamente trocável.

4.1.2. No Latossolo

A análise de variância dos resultados mostrou, através do teste F, o efeito significativo a 1% das doses de P na cultura de arroz, da época de colheita (E), da espécie de planta (C) e da interação C X E no M.V.S. e teor de P total, e

dos níveis de P, da espécie de planta, da época de colheita e das interações P X C e C X E sobre os valores 'L'. (Veja-se no apêndice 1 e 4).

Segundo a tabela 3, verifica-se que a produção de M.V.S. das plantas foi similar nos três níveis de P. Como no solo podzólizado, houve diferença significativa entre as duas épocas de colheita somente no arroz. A semelhança entre as produções de M.V.S. nas duas épocas no feijoeiro foram devidas, provavelmente as folhas velhas que caíram a partir dos 25 dias, as quais não foram computadas para evitar maior diminuição nos cálculos das atividades específicas. A fig. 1 b mostra as folhas velhas completamente secas e prontas a cair.

Na mesma tabela nota-se que o teor de P total nas plantas foi semelhante para os três níveis de P. Porém, houve diferença significativa entre as duas épocas de colheita para os tratamentos que receberam zero e 0.13 ppm de P no arroz. Estes resultados eram esperados, se considerarmos que o aumento de P do solo pelos tratamentos foi quase insignificante. Porém, os teores de P total encontrados neste solo foram menores que no P.V.A.

Embora a análise química mostrara que este solo tem teor médio de fósforo (13,9 ppm), nas duas espécies de plantas foram encontradas porcentagens de P baixas, sendo muito menores no arroz colhido aos 50 dias. As duas espécies de plantas apresentaram coloração verde-amarelada quando quando deixadas até os 50 dias. Para NYE e FOSTER (1958) a dife-

Tabela 3. Ensaio 1. Quantidade de material vegetal seco (MVS), porcentagem de fósforo (%P), fósforo total, atividade específica (sp) e valor 'L' dos tratamentos no latos-solo

TRATAMENTO			MVS (g/ vaso)	%P	P-total (mg/ vaso)	sp (c/ min/g)	Valor L (mg P/ kg solo)
Cultura	Idade de Colheita	Níveis de carre- gado ^r					
1) Arroz	- 30 dias	P ₀	1,12	0,118	0,85	12351	42,66
2) Arroz	- 30 dias	P _{0.13}	1,50	0,127	1,41	13898	42,00
3) Arroz	- 30 dias	P _{1.33}	1,46	0,153	1,80	42349	14,00
4) Arroz	- 50 dias	P ₀	4,18	0,079	2,84	3895	61,00
5) Arroz	- 50 dias	P _{0.13}	4,83	0,077	3,24	5281	49,33
6) Arroz	- 50 dias	P _{1.33}	4,99	0,070	2,94	14830	17,66
7) Feijão	- 30 dias	P ₀	3,01	0,101	2,18	1838	287,00
8) Feijão	- 30 dias	P _{0.13}	2,92	0,097	1,98	2297	253,33
9) Feijão	- 30 dias	P _{1.33}	3,03	0,097	2,09	3931	157,00
10) Feijão	- 50 dias	P ₀	2,95	0,116	2,60	2074	116,33
11) Feijão	- 50 dias	P _{0.13}	2,89	0,101	2,04	2634	99,33
12) Feijão	- 50 dias	P _{1.33}	2,97	0,108	2,35	5971	46,33
d.m.s. (Tukey 5%)			0,95		1,62		56,92
C.V. %			10,83		24,85		19,37

rença de absorção de fósforo, especialmente em solos muito pobres, sugere que certas espécies são mais eficientes que outras na absorção de P do solo de baixo potencial neste elemento.

Como no solo podzolizado, houve um aumento nas atividades específicas nas plantas com o incremento no nível de P, nas duas culturas e nas duas épocas.

Quanto aos valores 'L' não foram diferentes para os tratamentos em que o arroz foi utilizado como planta indicadora, mas totalmente diferentes para o feijoeiro. Os valores 'L' diminuíram com o incremento no nível de carregador nas duas culturas e nas duas épocas de colheita (Fig. 2b). Dados semelhantes tem sido observados na literatura (AMER **et alii**, 1969 e SELVARATNAM **et alii**, 1981). Para RUSSELL **et alii** (1957), os altos valores 'L' obtidos com pequenas quantidades de P adicionado são devidas a fixação do P pelo solo.

Os valores 'L' foram diferentes entre as duas espécies de planta, sendo maiores para o feijoeiro do que para o arroz, e, entre as duas épocas de colheita para todos os níveis de P no feijoeiro. Foram semelhantes para o arroz independentemente da época de colheita. Muitos pesquisadores relataram o efeito da espécie de planta nos valores 'L', assim foram encontradas entre gramíneas diferenças na resposta aos fosfatos (MITCHELL, 1957).

4.2. SEGUNDO ENSAIO

Avaliação do efeito de três níveis de carregador, três doses e duas fontes de Nitrogênio na determinação do valor 'L' usando arroz como planta indicadora.

4.2.1. No Solo Podzolizado

A análise de variância dos resultados revelou, através do teste F, serem significativos ao nível de 1% de probabilidade os efeitos de níveis de P sobre os três parâmetros analisados: M.V.S., P total e valor 'L'. Da interação P X N sobre os teores de P total e valor 'L'; e as doses e fontes de N e a interação P X F sobre os teores de P total (Veja-se no apêndice 2 e 5).

Na tabela 4, encontram-se os dados da produção de M.V.S. para os tratamentos. Houve aumento no M.V.S. com o incremento nas doses de N e de P. Não houve efeito dos níveis de P quando os tratamentos não receberam Nitrogênio ou quando a fonte foi o sulfato de amônio. Houve efeito dos níveis 22 e 220 ppm de P quando o nível de N foi de 50 kg/ha e a fonte a Uréia; e do nível 22 ppm de P só, quando a dose foi de 100 kg de N-Uréia. Houve efeito da dose 100 kg de N no nível zero ppm de P quando a fonte foi o sulfato de amônio e nos níveis 22 e 220 ppm de P quando a fonte foi a Uréia.

Este efeito do aumento de produção de M.V.S.

com o carregador até 20 ppm foi mencionado por MEKHAEL *et alii* (1965). É importante salientar que houve uma diminuição na produção de M.V.S. quando o nível de carregador foi 220 ppm e o nível de N foi de 50 kg/ha e maior quando a fonte foi o sulfato de amônio. As plantas de arroz, adubadas com sulfato de amônio, apresentaram uma coloração grisácea e encarquilhamento semelhante ao produzido pela seca embora tiveram suficiente umidade.

É de se acreditar que esse sintoma seja devido a um excesso de fósforo no solo. De fato a dose de 220 ppm de P corresponde aproximadamente a uma quantidade de 500 kg P/ha ou 1.265 kg P_2O_5 /ha. Por outro lado, a porcentagem de fósforo na planta de alguns destes tratamentos foi acima de 1% quando o teor de uma planta normal é de 0.25%. Igualmente foram observados altos teores de Potássio (3.13%), Magnésio (0.6 %), Manganês (800 ppm) e Zinco (77 ppm).

Segundo a tabela 4, os teores de P total aumentaram com o incremento nos níveis de P e de N. Houve efeito significativo do nível de 220 ppm de P independente da dose e fonte de N e do nível de 22 ppm de P na dose de 100 kg de N-Urêia. Não houve efeito das doses nem das fontes de N nos níveis zero e 22 ppm de P, mas sim no nível de 220 ppm de P onde apresentou-se diferença entre os níveis de 50 e 100 kg de N-Urêia; entre cada um dos níveis de N-sulfato de Am; e entre as duas fontes no nível de 100 kg de N.

Deve-se salientar que a maior absorção de P pe

Tabela 4. Ensaio 2. Quantidade de Material Vegetal seco (MVS), porcentagem de fósforo (%P), fósforo total, atividade específica (sp) e valor 'L' dos tratamentos no solo podzolizado

TRATAMENTO		MVS	%P	P-total	sp	Valor L
Nível de carregador	Fonte e dose de N	(g/vaso)		(mg/vaso)	(c/min/g)	(mg P/vaso)
1) P ₀	- Uréia ₀	3,54	0,218	7,23	12725	20,66
2) P ₀	- Ureia ₅₀	4,04	0,208	7,67	11198	24,33
3) P ₀	- Ureia ₁₀₀	4,97	0,178	8,28	10645	25,66
4) P ₀	- sulfato am. ₀	3,53	0,213	6,78	11978	22,66
5) P ₀	- sulfato am. ₅₀	5,31	0,167	8,36	11678	23,33
6) P ₀	- sulfato am. ₁₀₀	5,71	0,176	9,54	10727	25,00
7) P ₂₂	- Uréia ₀	4,72	0,390	17,82	7886	15,33
8) P ₂₂	- Uréia ₅₀	6,07	0,314	18,51	8176	14,00
9) P ₂₂	- Uréia ₁₀₀	7,65	0,270	20,16	8001	14,33
10) P ₂₂	- sulfato am. ₀	5,34	0,342	17,75	7700	16,33
11) P ₂₂	- sulfato am. ₅₀	6,26	0,295	17,97	8088	14,66
12) P ₂₂	- sulfato am. ₁₀₀	6,99	0,303	20,69	7305	18,66
13) P ₂₂₀	- Uréia ₀	4,67	0,854	39,43	1258	12,00
14) P ₂₂₀	- Uréia ₅₀	6,34	0,779	48,73	1233	16,00
15) P ₂₂₀	- Uréia ₁₀₀	6,63	0,954	63,15	1269	13,00
16) P ₂₂₀	- sulfato am. ₀	4,65	0,929	42,81	1225	16,33
17) P ₂₂₀	- sulfato am. ₅₀	5,69	1,061	59,61	1246	14,00
18) P ₂₂₀	- sulfato am. ₁₀₀	6,25	1,302	79,82	1249	12,66
d.m.s. (Tukey 5%)		1,82		11,65		5,78
C.V. %		10,84		13,77		10,60

Figura 3. Valor 'L' em função dos níveis de carregador: a) no solo podzolizado; b) no latossolo.

lo arroz pode ser atribuída ao cátion NH_4 ou ao ânion SO_4 . Muitos pesquisadores, porém, tem achado efeitos sinérgicos do cátion NH_4 na absorção de P (RENNIE e SPRATT, 1962; ESSAFFI et alii, 1962 e CALDWELL e BLANCHAR, 1965). Por sua vez, IAEA (1970) encontrou efeitos quase insignificantes do sulfato de amônio, aumentando ou diminuindo a absorção de P, dependendo do método de colocação do superfosfato no solo.

As porcentagens de P aumentaram com os incrementos no carregador. Foram um pouco mais altos nos tratamentos sem N e muito maiores nos tratamentos com 220 ppm de P onde atingiram níveis de 1.3%. As atividades específicas desceram com o incremento no carregador.

O valor 'L', de maneira geral, diminuiu com o aumento na dose de P (Fig. 3a). Houve diferença significativa entre P_0 e P_{22} e a diferença entre P_{22} e P_{220} dependeu do nível de N. Não houve diferença entre as doses nem entre fontes de N. Houve incremento, não significativo, nos valores 'L' na dose de P_0 (livre de carregador) com as doses de nitrogênio, mas este efeito cessou quando o nível de P foi 22 ou 220 ppm. Os valores 'L' foram significativamente diferentes em todos os níveis de P quando a fonte foi o sulfato de amônio na dose de 100 kg N/ha. Este fato pode estar relacionado com as altas porcentagens de P nas plantas tratadas com sulfato de amônio, cujo efeito já foi mencionado.

4.2.2. No Latossolo

A análise de variância dos resultados, mostrou serem significativos ao nível de 1% os efeitos de níveis de P, doses de N e da interação P X N sobre as produções de M.V.S. e de P total. Igualmente, níveis de P, fontes de N e as interações P X N e P X F sobre os valores 'L' (Veja-se apêndice 2 e 5).

De acordo com a tabela 5, a produção de M.V.S. aumentou com os níveis de P e de N. Houve diferença significativa entre os níveis de P, com exceção dos tratamentos com 22 e 220 ppm de P sem N. Houve diferenças na produção de M.V.S. entre as doses zero e 100 kg de N; entre as doses de zero e 50 kg de N-sulfato de Am e entre 50 e 100 kg de N-Urêia no nível de 220 ppm de P.

Porém, as quantidades de M.V.S. foram inferiores neste solo às do podzólico nos níveis P_0 e P_{22} , embora fossem maiores quando o nível de P foi 220 ppm. No Latossolo houve um aumento contínuo da produção de M.V.S., enquanto que no Podzólico diminuiu quando o nível de carregador foi o máximo usado.

Com a exceção já citada, o sulfato de Amônio deu maiores produções de M.V.S. Resultados semelhantes tem sido relatados por IAEA (1970, 1978), que atribuíram o efeito ao sulfato de Am o qual promove mais rapidamente o desenvolvimento foliar.

Tabela 5. Ensaio 2. Quantidade de Material Vegetal seco (MVS), porcentagem de fósforo (%P), fósforo total, atividade específica (sp) e valor 'L' no latossolo.

TRATAMENTO		MVS (g/ vaso)	%P	P-total (mg/ vaso)	sp (c/min /g)	Valor L (mg/ vaso)
Nível de carre- gador	Fonte e dose de N					
1) P ₀	- Uréia 0	3,20	0,100	2,71	3765	72,00
2) P ₀	- Uréia 50	3,33	0,099	2,81	3882	70,33
3) P ₀	- Uréia 100	3,35	0,096	2,82	3811	72,66
4) P ₀	- sulfato am. 0	2,58	0,089	1,80	4212	64,33
5) P ₀	- sulfato am. 50	3,28	0,091	2,50	3868	70,00
6) P ₀	- sulfato am. 100	3,77	0,098	3,22	4268	64,00
7) P ₂₂	- Uréia 0	4,54	0,168	7,22	8583	13,00
8) P ₂₂	- Uréia 50	5,35	0,164	8,28	10273	6,66
9) P ₂₂	- Uréia 100	5,81	0,145	7,9	7712	17,00
10) P ₂₂	- sulfato am. 0	4,88	0,176	8,08	8110	15,00
11) P ₂₂	- sulfato am. 50	5,27	0,155	7,70	9718	8,66
12) P ₂₂	- sulfato am. 100	5,94	0,136	7,56	7609	17,00
13) P ₂₂₀	- Uréia 0	5,50	0,300	16,01	1182	30,33
14) P ₂₂₀	- Uréia 50	6,49	0,248	15,70	1206	25,33
15) P ₂₂₀	- Uréia 100	8,02	0,280	21,78	1187	29,33
16) P ₂₂₀	- sulfato am. 0	5,81	0,303	17,11	1184	34,00
17) P ₂₂₀	- sulfato am. 50	7,62	0,291	21,67	1063	58,33
18) P ₂₂₀	- sulfato am. 100	8,08	0,259	20,42	1138	40,00
d.m.s. (Tukey 5%)		1,42		3,65		15,84
C.V. %		8,98		12,17		13,07

Na tabela 5, observa-se que os teores de P total aumentaram significativamente com o incremento nos níveis de carregador. Não houve efeito das doses nem das fontes do N nos níveis de zero e 22 ppm de P. Houve, porém, efeito das doses de 50 kg de N-sulfato de Am e de 100 kg de N-Urêia no nível somente de 220 ppm de P. Neste caso as quantidades de P total absorvido pelo arroz foram significativamente menores que as absorvidas pela mesma cultura no solo podzolizado.

As porcentagens de P na planta de arroz (Tabela 5), aumentaram com os níveis de carregador, sendo baixos nos níveis zero e 22 ppm de P e médios no nível de 220 ppm. Ao contrário do solo podzolizado, neste solo houve menor absorção de P com a adição de 220 ppm de P. Isso mostra que no latossolo, o P foi menos disponível para as plantas devido provavelmente a fixação deste elemento.

Segundo BITTENCOURT e ZAMBELLO (1975), o latossolo por conter alta porcentagem de argila, é considerado de alto poder de fixação de fosfato, enquanto o Podzolizado é tido como capaz de reter apenas baixas quantidades.

As atividades específicas mostraram uma tendência diferente que no solo PVA: enquanto foram similares nos níveis de 22 e 220 ppm de P, foram muito menores quando não houve carregador devido possivelmente a adsorção de ^{32}P pelo solo.

De acordo com os dados da tabela 5, os valores 'L' variaram significativamente em forma hiperbólica (Fig. 3b) com o incremento nos níveis de carregador, tendo um ponto de

minímo no nível de 22 ppm de P. Não houve efeito da dose nem da fonte de N nos níveis zero e 22 ppm de P. Houve efeito de sulfato de Am nas três doses de N somente no nível de 220 ppm de P. Segundo Larsen, 1957 citado por MATTINGLY (1957), a fonte de N afetou a produção de M.V.S. e a absorção de P, mas não alterou o fósforo lábil do solo.

4.3. TERCEIRO ENSAIO

Avaliação do efeito de cinco níveis de carregador no valor 'L' usando o solo podzolizado e o arroz como planta indicadora.

A análise de variância de acordo com PIMENTEL GOMES (1978) ao nível de 1% de probabilidade, revelou efeitos significativos dos tratamentos na produção de M.V.S., P total em plantas e valor 'L'.

Segundo a tabela 6, a produção de M.V.S., o teor de P total e o valor 'L' aumentaram com o incremento nos níveis de carregador. Porém, houve efeito significativo somente dos níveis de P iguais ou maiores de 33 ppm sobre a produção de M.V.S. e os teores de P total; porém, ao igual que no ensaio 2 as produções de M.V.S. diminuíram com os níveis muito altos de P, neste caso 99 ppm. Com relação ao valor 'L' somente o nível de 99 ppm de P causou efeito significativo segundo o teste de Tukey a 5% (Fig. 4).

Resultados semelhantes tem sido reportados por

Figura 4. Valor 'L' em função dos níveis de carregador no solo podzolizado.

MARAIIS et alii (1969) que encontraram que o incremento no nível de carregador até determinado ponto não afetou o valor 'L', mas houve diferenças marcadas na produção de matéria seca e na absorção de P pelas plantas. EID et alii (1965) relataram aumento do M.V.S. e da absorção de P com incremento na dose de P aplicado. MEKHAEL et alii (1965) encontraram aumentos contínuos no teor de P nas plantas, mas a produção de matéria seca só respondeu a dose de 20 ppm de P.

Por outro lado, os incrementos nos níveis de carregador causaram aumentos nas porcentagens de fósforo encontrado nas plantas até níveis considerados muito altos (0.649) e que provavelmente afetaram a produção de M.V.S. As atividades específicas diminuíram com o aumento dos níveis de carregador.

4.4. QUARTO ENSAIO

Avaliação do efeito de três níveis de P e duas espécies de plantas (feijoeiro e arroz), cultivadas em condições de sequeiro e submersão, em dois solos sobre o valor 'L'.

Neste ensaio apenas o arroz foi cultivado em condições de submersão.

4.4.1. Efeito dos níveis de P nas duas culturas em condições de sequeiro

Segundo a análise de variância dos resultados,

Tabela 6. Ensaio 3. Quantidade de material vegetal seco (MVS), porcentagem de fósforo (%P), fósforo total, atividade específica (sp) e valor 'L' dos tratamentos

Tratamento	M.V.S. (g/vaso)	%P	P-total (mg/vaso)	sp (c/min/g)	Valor L (mg P/kg solo)
1) 5,5 ppm de P	4,59	0,227	9,94	23935	10
2) 11 ppm de P	4,94	0,273	13,00	17324	10
3) 33 ppm de P	5,24	0,440	23,19	8053	13
4) 66 ppm de P	5,31	0,547	28,62	4447	18
5) 99 ppm de P	4,83	0,649	30,92	3098	22
F	8,00**		83,24**		7,52**
d.m.s. (Tukey 5%)	0,49		4,75		8,55
C.V. %	3,65		8,37		21,51
Atividade do padrão:	373.820 c/min				

houve efeito significativo ao nível de 1% dos níveis de P, do tipo de solo, da espécie de planta ou cultura e da interação solo por cultura SxC sobre os parâmetros analisados: produção de M.V.S., teor de P total e valor 'L'. Houve efeito significativo igualmente da interação níveis de fósforo por solo PxS sobre os teores de P total e da interação níveis de fósforo por espécie de planta ou cultura PxC sobre o valor 'L' (veja no apêndice 3 e 6).

Observa-se na tabela 7, que as produções de M.V.S. aumentaram com o nível de carregador, sendo maiores no solo P.V.A. que no L.E. e maiores para o feijoeiro do que para o arroz. Foi diferente entre as culturas em todos os níveis de P no solo L.E. Embora o latossolo apresente mais alto teor de fósforo solúvel (H_2SO_4 0.05 N) e soma de bases maior que 5 emg/100g, as produções de M.V.S. foram menores que no solo podzolizado.

Na tabela 7, nota-se que os teores de P total incrementaram-se com os níveis de carregador sendo muito maiores para o arroz do que para o feijoeiro no solo podzolizado. Houve diferença significativa entre as duas culturas em todos os níveis de P e entre os níveis 0.1 e 10 ppm para as duas culturas no solo podzolizado. Acredita-se que o "carregador" de P da raiz do arroz é mais eficiente do que aquele do feijoeiro (MALAVOLTA, 1980).

Para RUSSELL (1963) as plantas em solos basálticos absorveram diferentes quantidades de fosfato. Por exem-

Tabela 7. Ensaio 4. Quantidade de material vegetal seco (M.V.S.), porcentagem de fósforo (%P), fósforo total, atividade específica (sp) e valor 'L' dos tratamentos, nos solos PVA e LE

TRATAMENTO							
Solo	Cultura	Nível de Carregador	MVS (g/vaso)	%P	P-total (mg/vaso)	sp (c/min/g)	Valor L (mg P/kg solo)
1) PVA	- Arroz	P _{0.1}	2,20	0,220	4,36	14783	16,66
2) PVA	- Arroz	P ₅	2,91	0,191	5,09	11057	11,33
3) PVA	- Arroz	P ₁₀	2,91	0,265	7,24	8913	10,33
4) PVA	- Feijão	P _{0.1}	2,29	0,103	1,72	4372	57,33
5) PVA	- Feijão	P ₅	2,64	0,126	2,69	5165	30,33
6) PVA	- Feijão	P ₁₀	3,52	0,119	3,57	5650	22,33
7) LE	- Arroz	P _{0.1}	1,43	0,112	1,10	5915	31,00
8) LE	- Arroz	P ₅	1,63	0,132	1,66	7130	20,33
9) LE	- Arroz	P ₁₀	1,95	0,140	2,23	5492	23,00
10) LE	- Feijão	P _{0.1}	2,59	0,098	1,84	1208	150,33
11) LE	- Feijão	P ₅	2,98	0,099	2,35	1823	97,00
12) LE	- Feijão	P ₁₀	2,81	0,099	2,14	1647	101,66
d.m.s. (Tukey 5%)			0,66		1,37		21,37
C.V. %			8,92		15,41		15,08

plo, o azevem absorveu 5 vezes mais P do que a cevada nos primeiros 28 dias, mas logo os valores foram similares (56 dias). Segundo ZELLER (1963) em certos solos, diferentes plantas podem absorver diferentes frações de seu fósforo requerido e isso significa que as plantas têm diferentes capacidades de absorver nutrientes (feeding power); essa capacidade das plantas vai ser diferente em diferentes solos. Algumas propriedades das plantas podem influenciar sua habilidade de absorção, tais como: a) diferente mecanismo de absorção; b) sistema radicular de diferente tamanho; c) diferentes excreções radiculares; d) diferentes reservas de nutrientes nas sementes.

Para NEPTUNE (1963), a espécie vegetal deve ser tomada em consideração principalmente em experimentos de curta duração e quando um solo com baixo teor de fosfato é utilizado.

As porcentagens de P foram maiores nas plantas no solo podzolizado e ao igual que no primeiro ensaio foram mais altos para arroz do que para o feijoeiro. As atividades específicas foram maiores para o arroz do que para o feijoeiro nos dois solos e não tiveram uma tendência definida.

Na tabela 7, observa-se que os valores 'L' decresceram significativamente nos dois solos quando o nível de carregador aumentou de 0.1 para 5 ppm (Fig. 5a). Foram diferentes entre as duas culturas em todos os níveis de P no solo L.E. e no nível de 0.1 ppm de P no solo podzolizado; entre os níveis 0.1 e 5 ppm de P nos dois solos para o feijoei-

Figura 5. Valor 'L' em função dos níveis de carregador: a) nas duas culturas; b) nas duas condições de cultivo.

ro. Não houve diferença entre os valores 'L' obtidos com 5 e 10 ppm de carregador.

4.4.2. Efeito dos níveis de P no arroz cultivado na condição de submersão

A análise de variância dos resultados, mostrou efeito significativo ao nível de 1% dos níveis de P, do tipo de solo, das condições e da interação solo por umidade ou condição de cultivo SxU sobre os três parâmetros analisados: produção de M.V.S., P total e valor 'L'. Também houve efeito das interações PxS e PxSxU sobre o valor 'L' (veja-se no apêndice 3 e 6).

A produção de M.V.S. aumentou com o incremento no carregador (Tabela 8) e foi maior na condição de submersão em todos os casos. Foi diferente entre as duas condições de cultivo em todos os níveis de P para o solo L.E. e nos níveis 0.1 e 10 ppm no solo podzolizado; entre os níveis 10 ppm de P e os outros dois na condição de submersão e entre 0.1 ppm de P e os outros na condição de sequeiro no solo podzolizado; e entre os níveis 10 ppm e os outros na condição de sequeiro no Latossolo. Os níveis de P não causaram nenhum efeito sobre a produção de M.V.S. no Latossolo na condição de submersão.

Na tabela 8, observa-se que os teores de P aumentaram com o incremento no nível de carregador, sendo sempre maiores na condição de submersão. Os teores de P total fo-

Tabela 8. Ensaio 4. Quantidade de Material Vegetal seco (MVS), porcentagem de fósforo (%P), fósforo total, atividade específica (sp) e valor 'L' dos tratamentos nos solos PVA e LE

TRATAMENTO		Nível de carregador	MVS (g/vaso)	%P	P-total (mg/vaso)	sp (c/min/g)	Valor L (mg P/kg solo)
Solo	Condição de cultivo						
1)	PVA - submersão	P _{0.1}	3,13	0,227	6,63	13493	18,66
2)	PVA - submersão	P ₅	3,39	0,236	7,50	11295	11,00
3)	PVA - submersão	P ₁₀	3,65	0,250	8,33	9163	10,33
4)	PVA - sequeiro	P _{0.1}	2,20	0,220	4,36	14783	16,66
5)	PVA - sequeiro	P ₅	2,91	0,191	5,09	11057	11,00
6)	PVA - sequeiro	P ₁₀	2,91	0,265	7,24	8913	10,33
7)	LE - submersão	P _{0.1}	2,58	0,175	4,00	5588	32,66
8)	LE - submersão	P ₅	2,65	0,201	4,83	5597	27,66
9)	LE - submersão	P ₁₀	2,99	0,206	5,67	4110	34,33
10)	LE - sequeiro	P _{0.1}	1,43	0,112	1,10	5915	31,00
11)	LE - sequeiro	P ₅	1,63	0,132	1,66	7130	20,33
12)	LE - sequeiro	P ₁₀	1,95	0,140	2,23	5492	23,00
d.m.s. (Tukey 5%)			0,48		1,88		5,19
C.V. %			6,15		12,94		8,47

ram diferentes entre as duas condições de cultivo nos dois solos e em todos os níveis de P, com exceção do nível de 10 ppm de P no P.V.A. Foram diferentes entre os níveis 0.1 e 10 ppm de P no P.V.A. na condição de sequeiro.

Segundo SALAM e HASHISH (1962) o aumento da absorção de ^{32}P quando a umidade se aproxima à umidade equivalente é provavelmente devido à liberação de P do solo presumivelmente fixado em menores níveis de umidade. Para LARSEN (1967) a condição de submersão dos solos causa mobilização dos fosfatos de ferro. Para OLSEN et alii (1948; 1961), há maior absorção de P do adubo em solos em condições de submersão. Para PONNAMPERUMA (1977) nas condições de submersão aumenta a disponibilidade de alguns nutrientes entre eles o P.

Os teores de P total nas plantas, como as produções de M.V.S., foram significativamente menores no Latossolo na condição de sequeiro, devido possivelmente a fixação do P adicionado pelo solo. Resultados semelhantes tem sido reportados por muitos autores (MALEINA, 1958; MACHADO GRÁCIO, 1961; VOLK e McLEAN, 1963 e NEPTUNE, 1964).

As porcentagens de P foram mais altas na condição de submersão nos dois solos, principalmente no L.E. Aumentaram muito pouco com os níveis de carregador. As atividades específicas diminuíram com os níveis de P, foram maiores para o P.V.A. e foram semelhantes entre as duas condições de cultivo para cada solo.

De acordo com os dados da tabela 8, Fig. 5b, os

valores 'L' diminuíram com o nível de carregador nos dois solos, com exceção do solo L.E. na condição de submersão. Foram diferentes entre os níveis 0.1 ppm e os outros dois no P.V.A. e entre 5 e 10 ppm no L.E. sob submersão. Os valores 'L' foram diferentes entre as duas condições de cultivo nos níveis de 5 e 10 ppm de P no Latossolo.

LARSEN (1969) relatou que as determinações do valor 'L' com arroz, indicam que em condições de submersão, o equilíbrio isotópico entre o ^{32}P adicionado e o fósforo lábil do solo foi atingido em 24 dias.

Fazendo uma avaliação conjunta dos quatro ensaios verifica-se que as produções de M.V.S. permaneceram constantes com baixos níveis de carregador, até 5 ppm. Houve um ligeiro aumento no M.V.S. com o incremento nas doses de N, em cada nível de fósforo e um aumento maior com a época de colheita. As culturas no Latossolo deram sempre menor M.V.S. A condição de submersão causou incremento no M.V.S. nos dois solos.

Os teores de fósforo total nas plantas não sofreram nenhum efeito do incremento nos níveis de carregador menores de 5 ppm. Aumentaram rapidamente com os incrementos maiores no carregador, principalmente, no solo podzolizado e maior ainda quando foi aplicado sulfato de amônio. Houve aumento dos teores de P total com as doses de nitrogênio, com a época de colheita e com a condição de submersão.

As porcentagens de P nas plantas tiveram com-

portamento semelhante aos teores de P total nos dois solos. Apesar de serem solos com teores médios de P, as duas culturas, nas duas épocas, apresentaram níveis deficientes de P, com exceção do arroz no P.V.A. na época de 30 dias, quando baixos níveis de carregador foram aplicados.

Quando altos níveis de carregador foram adicionados, houve maior absorção de P pelas plantas. O arroz no P.V.A. apresentou porcentagens de P até de 1.3%, considerado excessivo enquanto, no L.E. estas não foram além de 0.3%. Isso indica que o P aplicado permaneceu mais disponível no P.V.A. causando consumo de luxo por parte do arroz, enquanto no L.E. foi fixado. De fato este solo apresenta teores mais altos de óxidos de ferro e de caulinita que o solo podzolizado.

Para AMER (1962) parte do P adicionado, no método livre de carregador, pode ser fixado por reações com compostos altamente fixadores de P de modo que os produtos de reação não atinjam o equilíbrio com a solução. O uso de carregador diminui as perdas, mas ao aumentar a quantidade de carregador, aumenta a quantidade de P adsorvido pelo solo, afetando a velocidade de troca isotópica.

As atividades (^{32}P) adicionadas aos vasos em cada ensaio foram semelhantes independentemente do nível de carregador, dando diferente atividade específica para cada tratamento. Nas plantas as atividades específicas foram diminuindo com o nível de carregador. Iguais resultados foram relatados por BAKER (1964). Porém, no ensaio 1, a tendência foi con-

trária e as atividades específicas aumentaram com os incrementos de carregador menores de 1.33 ppm.

Os valores 'L' mudaram com os níveis de carregador, com a espécie vegetal e com a época de colheita. Foram afetados pela condição de submersão no Latossolo e foram independentes das doses e fontes de nitrogênio.

Em todos os casos, os valores 'L' foram mais altos quando determinados com muito baixos ou muito altos níveis de carregador, menores de 1.33 ppm e maiores ou iguais a 33 ppm, respectivamente. Para AMER (1962) a determinação do valor 'L' sem carregador (carrier-free) superestima o P trocável. Três razões podem ser dadas: a) há uma lenta troca isotópica do ^{32}P livre de carregador com o P do solo (LARSEN e SUTTON, 1963); b) há adsorção do ^{32}P às paredes dos vidros e materiais usados para preparar e aplicar o P marcado (McAULIFFE et alii, 1948); c) o fósforo adicionado reage com o P do solo para formar por exemplo fosfatos de alumínio que logo impedem o equilíbrio (LARSEN e GUNARY, 1964). Segundo SOKOLOV (1955) a dose de ^{31}P adicionada ao solo não deve ser muito alta para evitar alguma influência do P sobre o teor de P disponível do solo.

A determinação do valor 'L' depende da espécie vegetal utilizada. Resultados semelhantes tem sido relatados por NELSON et alii (1948), RUSSELL et alii (1955), NYE e FOSTER (1958), ANDERSEN et alii (1961), BAKER (1964) e KALRA e SUPER (1968). Segundo RUSSELL (1963), este fato pode ser devido

a que a atividade específica do fosfato ($^{32}\text{P}/^{31}\text{P}$) não foi totalmente constante na fração lábil do solo que as plantas absorveram. Para ZELLER (1963), as plantas tem diferente capacidade para absorver nutrientes, neste caso, o feijoeiro tem menor capacidade de absorver P que o arroz. Como os ensaios foram feitos em vasos, descarta-se a possibilidade de que seja devido a maior ou menor tamanho do sistema radicular.

Apesar que a análise estatística tenha mostrando que a época de colheita não afetou o valor 'L', os valores obtidos na segunda colheita foram apreciavelmente diferente dependendo do tipo de cultura. É provável que o fato de se fazer análise conjunta de duas culturas com amplas diferenças, faz com que o d.m.s. fosse alto demais para permitir observar efeito da época de colheita no arroz. Para LARSEN e SUTTON (1963) o aumento linear dos valores 'L' durante o período de crescimento pode ser devido a uma mobilização constante do fósforo não lábil previamente, de acordo com o consumo de P pela cultura.

Quanto as doses e fontes de N, elas não causaram nenhum efeito sobre o valores 'L'. Embora o sulfato de amônio tenha dado resultados diferentes no Latossolo, afetando a produção de M.V.S. e a absorção de P.

A condição de submersão do solo estabilizou os valores 'L' no latossolo evitando o efeito dos níveis crescentes de carregador, porém, aumentou o P disponível dos solos. Resultados semelhantes tem sido relatados por SHAPIRO e

ARMIGER (1958), OLSEN *et alii* (1961), LARSEN (1964, 1969) e PATNAIK *et alii* (1979).

De maneira geral, considera-se que o valor 'L' deve ser determinado utilizando-se níveis de P próximos ao P do solo (AMER, 1962). O fósforo extraído com H_2SO_4 0,05 N acusou 11,6 ppm de P para o solo podzolizado e 13,9 ppm para o Latossolo. Neste trabalho obteve-se boa repetibilidade nos valores 'L' obtidos com níveis de carregador de 1.33 a 11 ppm de P como carregador, no solo P.V.A.

Finalmente, segundo SCHEFFER e ULRICH (1958), sendo o solo um material heterogêneo, não se pode esperar que o fósforo isotopicamente trocável, como um todo, seja uma medida exata do fósforo disponível para as plantas.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados deste trabalho podemos concluir que:

1. Os valores 'L' foram mais altos quando foram utilizados baixos níveis de carregador nos dois solos.
2. Os valores 'L' dependem da espécie vegetal. Foram maiores para o feijoeiro do que para o arroz.
3. Os valores 'L' no Latossolo variaram com a época de colheita.
4. A dose e fonte de nitrogênio não afetaram os valores 'L'. Porém, o sulfato de amônio causou um efeito sinérgico na absorção de P quando a dose de carregador foi de 220 ppm no solo podzolizado.

5. No Latossolo, a condição de submersão aumentou a produção de material vegetal seco e o teor de fósforo total, porém, os valores 'L' permaneceram constantes.
6. Os valores 'L' obtidos com níveis de carregador de 1.33 a 11 ppm de fósforo, com arroz aos 30 dias, foram semelhantes aos obtidos com H_2SO_4 0.05 N no solo Podzolizado. No Latossolo foram completamente diferentes.

Em vista da variabilidade encontrada nos valores 'L', julgamos que esta técnica não pode ser considerada adequada para aconselhar os agricultores a respeito das necessidades em fósforo de seu solo. É preciso continuar com as pesquisas nesse sentido a fim de estabelecer os parâmetros que permitam a universalidade do valor 'L'.

LITERATURA CITADA

ABDEL SALAM, M.A.; S.A. SABET e S. HASHISH, 1964. Patterns of fixation of P^{32} -Labelled phosphate by some soil minerals. *Plant and Soil*. The Hague, xx 2: 241-249.

ALOISI; R.R.; G. RANZANI, J.L.I. DEMATTÊ e C.C. CERRI. 1975. Mineralogia da fração argila de alguns solos do município de Jaboticabal, S.P. Anais do XV Congresso Brasileiro de Ciência do solo. Campinas, 457-460.

AMER, F.; S. MAHDI, e A. ALRADI, 1969. Limitations in isotopic measurements of labile phosphate in soils. *J. Soil Sci. Oxford* xx: 91-99.

ANDERSEN, A.J.; B. GREGERS-HANSEN e G. NIELSEN, 1961. Determination of the phosphate condition of soils by means of

Radioactive phosphorus in pot experiments. **Acta Agric. Scand.** Stockholm, XI: 270-290.

ANDERSEN, A.J. e J.D. THOMSEN, 1979. Efficiency in absorption and utilization of phosphorus of four plant species. In: IAEA-Isotopes and Radiation in Research on soil-plant Relationships. Viena 499-512.

BAKER, D.E., 1964. A study of isotopic dilution as a method for relating phosphorus retention to availability of Phosphorus in widely different soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** Madison, 28: 511-516.

BITTENCOURT, V.C. e E. ZAMBELLO, 1975. Comportamento do fósforo em solos tropicais. I. Isotermas de adsorção. **Pesq. agropec. bras., sér. Agron., Embrapa Brasília** 10: 59-64.

CALDWELL, A.C. e R.W. BLANCHARD, 1965. Phosphorus uptake by plants and ion concentrations in fertilizer zones as affected by ammonium, potassium and dilution. In: IAEA-Isotopes and radiation in soil-plant nutrition studies. Viena, 413-424.

CALZADA, B.J., 1964. Métodos estadísticos para la investigación. 2a. ed, Lima, Distribuidor J. Calzada, B., 494p.

- CARMELLO, C.Q.A., 1980. Fatores que afetam a determinação do valor 'L' e sua comparação com a capacidade de adsorção de fósforo e o valor 'E' em dois solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP, 72p. (dissertação de mestrado).
- CATANI, R.A.; J.R. GALLO e H. GARGANTINI, 1955. Amostragem do solo, métodos de análise, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Boletim, IAC-CAMPINAS, nº 69, 29p.
- CHASE, E.D. e J.L. RABINOWITS, 1967. Radioisotopes in chemistry. Principles of radioisotopes methodology. Minneapolis, Burgess Publishing, p. 420-423.
- DALAL, R.C. e E.G. HALLSWORTH, 1977. Measurement of isotopic exchangeable soil phosphorus and interrelationship among parameters of quantity, intensity and capacity factors. *Soil Sci. Amer. J.*, Chicago, 41: 541-546.
- DEAN; L.A.; W.L. NELSON; A.J. MACKENZIE; W.H. ARMIGER e W.L. HILL, 1948. Application of tracer technique to studies of phosphatic fertilizer utilization by crops: 1. Greenhouse experiments. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 12: 107-112.
- EID, M.T.; M.F. HADIDI; Y. BARRADA e M.J. SHAWARBI, 1965. Study

of phosphorus uptake on soils of the United Arab Republic.
In: IAEA. **Isotopes and Radiation in soil-plant nutrition studies**. Viena, 590-599.

ENSMINGER, L.E. e R.W. PEARSON, 1957. Uses of macronutrient Isotopes in soil fertility research. In Atomic Energy and Agriculture Washington, D.C., American Association of Advancement of Science Publ., Washington D.C., 49: 1-18.

ESSAFI, A.; J. CLINE e A. MATHIEU, 1962. Utilisation du phosphore-32 dans l'étude de l'assimilation par la plant de l'acide phosphorique selon sa localisation dans le sol et selon son association ou non à l'Azote. In: IAEA **Radioisotopes in soil-plant nutrition studies**. Viena, 443-452.

FRIED, M. e L.A. DEAN, 1952. A concept concerning the measurement of available soils nutrients. **Soil Sci.** Baltimore 73: 263-271.

GRUNES, D.L.; H.J. HAAS e S.H. SHIH, 1955. Effect of Long-time dryland cropping on available phosphorus of Cheyenne fine sandy loam. **Soil Science**. Baltimore, 80: 127-137.

GUNARY, D. e C.D. SUTTON, 1967. Soil factors affecting plant uptake of phosphate. **J. Soil Sci.** Oxford, 18: 167-173.

HENDRICKS, S.B. e L.A. DEAN, 1948. Basic concepts of soil and fertilizer studies with radioactive phosphorus. **Soil Science Soc. Amer. Proc.** (1947) Madison, **12**: 98-100.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1970. Rice Fertilization. (Technical Reports Series n° 108). Viena, 177p.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1976. Measurement of soil and fertilizer phosphorus availability to plants. In: **Tracer manual on crops and soils**. (Technical Reports Series n° 171). Viena, 129-137.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1978. Isotope studies on rice fertilization (Technical reports series n° 181), Viena, 134p.

KALRA, Y.P. e R.J. SOPER, 1968. Efficiency of rape, oats, soy beans and flax in absorption soil and fertilizer phosphorus at seven stages of growth. **Agronomy J.**, Madison, **60**: 209-212.

KILMER, V.J. e L.T. ALEXANDER, 1949. Methods of making mechanical analysis of soils. **Soil Sci.**, Baltimore, **68**: 15-26.

LAMM, C.G., 1962. Factors affecting the ratio in the plants of a nutrient derived from the fertilizer and the soil.

In: IAEA Radioisotopes in soil-plant nutrition studies, Vienna, 343-352.

LARSEN, S., 1952. The use of ^{32}P in studies on the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*. The Hague, **IV**: 1-10.

LARSEN, S. e I.J. COOKE, 1961. The influence of radioactive phosphate level on the absorption of phosphate by plants and on the determination of labile soil phosphate. *Plant and Soil*. The Hague, **xiv**: 43-47.

LARSEN, S. e C.D. SUTTON, 1963. The influence of soil volume on the absorption of soil phosphorus by plants and on the determination of labile soil phosphorus. *Plant and Soil*. The Hague, **xviii** 1: 77-84.

LARSEN, S., 1964. On the relationship between labile and non labile phosphate in soils. *Act Agr. Scand.* Stockholm, **14**: 249-253.

LARSEN, S. e D. GUNARY, 1964. The determination of labile soil phosphate as influenced by the time of application of labeled phosphate. *Plant and Soil*. The Hague, **xx**, 2: 135-142.

LARSEN, S., 1967. Isoionic exchange of phosphate in paddy Soils. *Plant and Soil*. The Hague, **xxvii**, 3: 401-407.

- LARSEN, S., 1969. L value determination under paddy soil conditions. **Plant and Soil**. The Hague, **xxi**, 2: 282-286.
- LOTT, W.L.; J.P. NERY; J.R. GALLO; J.C. MEDCALF, 1956. **A técnica da análise foliar aplicada ao cafeeiro**. Campinas, Instituto Agrônômico, 29p. (Boletim 79).
- MACHADO GRÁCIO, J.T., 1961. Phosphorus fixation in acid soils. I. Identification of the phosphorus fixing soils. **Agronomia Lusitana**, Lisboa, **23**: 103-116.
- MALAVOLTA, E., 1980. Elementos de Nutrição Mineral de Plantas. Ed. Agronômica Ceres Ltda. São Paulo, 253p.
- MALEINA, A.A., 1958. A method of determining the reserve of available soil phosphates. **Soviet Soil Sci**, Washington, **4**: 450-454.
- MARAIS, P.G., e S.F. FOURIE, 1956. Can we determine the quantity of phosphate available to plants in particular soils? **The deciduous fruit grower**, Stellenbosch sept., p. 193-196. (popular Article).
- MARAIS, P.G.; J. DEIST e C.F.G., HEYNS, 1969. Relative uptake of fertilizer and soil P by rye plants in pot experiments. **Agroplantae**. Pretoria, **1**: 67-76.

MATTINGLY, G.E.G., 1957. The use of the isotopes ^{32}P in recent work on soil and fertilizer phosphorus. **Soil and Fertilizers**. Bucks, xx: 59-68.

MATTINGLY, G.E.G. e O. TALIBUDEEN, 1960. Isotopic exchange of phosphates in soil. In: **Report of the Rothamsted Experimental station**. Harpenden Herts: 246-265.

McAULIFFE, C.D.; N.S. HALL; L.A. DEAN e S.B. HENDRICKS, 1948. Exchange reactions between phosphates and soils: hidroxyllic surface of soil minerals. **Soil Sci. Amer. Proc.**, Madison, 12: 119-123.

MEDINA, H.P., 1972. Classificação textural. In: MONIZ, A.C., Coord., **Pedologia**, São Paulo, Ed. USP, Polígono, p. 21-28.

MEKHAEL, D.; FATHI AMER; e L. KADRY, 1965. Comparison of isotope dilution methods for estimation of plant-available soil phosphorus. In: **IAEA Isotopes and Radiation in soil-plant, nutrition studies**. Viena, 437-448.

MITCHELL, J., 1957. A review of tracer studies in Saskatchewan on the utilization of phosphates by grain crops. **J. Soil Sci**, Oxford 8: 73-85.

NELSON, W.L.; B.A. KRANTZ; W.E. COLWELL; W.G. WOLTZ, ARTHUR

- HAWKINS, L.A.; DEAN, A.L. MACKENSIE e E.J. RUBINS, 1948. Application of radioactive tracer technique to studies of phosphatic fertilizer utilization by crops: III. Field experiments. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, **12**: 113-118.
- NEPTUNE, MENARD, L., 1963. *Isotope techniques for the determination of phosphorus in soils*. Seminar given at the unit of agriculture. IAEA. Viena, mimeografado, 15p.
- NEPTUNE, A.M.L., 1964. A técnica do Valor A na determinação do fósforo disponível do solo e do fertilizante utilizando o arroz (*Oryza sativa* L.). Piracicaba, ESALQ/USP, 74p. (Tese de Livre docência).
- NEPTUNE MENARD, L. e A. CAMPANELLI, 1961. Determinação e comparação dos valores M_i , A, Y, e S, em dois tipos de solo do Estado de São Paulo. *Anais da ESALQ*, Piracicaba, **18**: 349-359.
- NEPTUNE, A.M.L. e T. MURAOKA, 1978. Uso de isótopos em química e fertilidade do solo-Revisão. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, **2**: 151-163.
- NYE, P.H. e W.N.M. FOSTER, 1958. A study of the mechanism of soil-phosphate uptake in relation to plant species. *Plant and Soil*. The Hague, **ix**: 338-352.

- OLSEN, S.R.; F.S. WATANABE e R.E. DANIELSON, 1961. Phosphorus absorption by corn roots as effected by moisture and phosphorus concentration. **Soil Sci. Soc. Proc.**, Madison, 25: 289-294.
- UZBEK, N. e AYDENIZ, 1965. Factors affecting the amount of available soil phosphorus, A-value. In: **Isotopes in plant nutrition and physiology**. Viena, 35-46.
- PATNAIK, S.; S.K. MOHANTY e R.N. DASH, 1979. Isotope Technology as applied to studies of soil fertility nutrient availability and fertilizer use on flooded rice soils. In: **IAEA Isotopes and Radiation in Research on soil-plant relationships**. Viena, 583-606.
- PIMENTEL GOMES, F., 1975. **Curso de Estatística Experimental**, 7a. ed., São Paulo, Livraria Nobel, 430p.
- PONNAMPERUMA, F.N., 1977. The physical-chemical properties of the submerged soils in relation to fertility. IRRI Research Paper series. Manila, 5: 30p.
- PROBERT, M.E., 1972. The dependence of isotopically exchangeable phosphate (L-Value) on phosphate uptake. **Plant and Soil**. The Hague, 36: 141-148.

- RENNIE, D.A. e E.D. SPRATT, 1962. Factors affecting and the significance of 'A' values using band placement. In: IAEA **Radioisotopes in soil-plant nutrition studies**. Viena, 329-342.
- RUSSELL, R.S.; J.B. RICKSON e S.N. ADAMS, 1954. Isotopic equilibria between phosphates in soil and their significance in the assessment of fertility by tracer methods. **J. Soil Sci.** Oxford, 5: 85-105.
- RUSSELL, R.S.; E.W. RUSSELL e P.G. MARAIS, 1957. Factors affecting the ability of plants to absorb phosphate from soils. I. The relationships between labile phosphate and absorption. **J. Soil Sci.**, Oxford, 8: 248-267.
- RUSSELL, R.S.; E. W. RUSSELL e P.G. MARAIS, 1958. Factors affecting the ability of plants to absorb phosphate from soils: II. A comparison of the ability of different species to absorb labile soil phosphate. **J. Soil Sci.**, Oxford, 9: 101-108.
- RUSSELL, R.S., 1963. Relationship between the exchange-ability of nutrient ions in the soil and absorption of plants. **J. Sci. Food Agric.**, London, 14: 449-457.
- SCHEFFER, F. e B. ULRICH, 1958. Use of ^{32}P for investigations

in the system: soil/soil, solution/plant. **Proc. 2nd., U.N. Int. Conf. on the peaceful uses of atomic energy.** Geneva, 27: 149-151.

SCHENK, M.K. e S.A. BARBER, 1979. Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 43: 880-883.

SELVARATNAM, V.V.; S. SUMER; A.J. ANDERSEN; J.D. THOMSEN; GISSEL-NIELSON, G., 1981. **Risoe National Lab.** Roskilde. Denmark, Vol. 12, 04, 0388-1.

SHAPIRO, R.E. e W.H. ARMIGER, 1958. Effect of flooding on plant availability of phosphorus from various phosphate Rocks. **Agricultural and Food Chemistry**. Beltsville, 6: 453-455.

SOKOLOV, A.V., 1955. Determination of availability of soil phosphates and fertilizers with the aid of radioactive isotopes of phosphorus. In: IAEA. **Proc. Un. Int. Conf. Peaceful uses atomic energy.** Geneva, 12: 118-122.

SOKOLOV, A.V., 1958. Supply of available soil phosphates and their accumulation when phosphorus fertilizers are applied. **Soviet Soil Sci.**, Washington, 2: 117-123.

SPINKS, J.W.T. e S.A. BARBER, 1947. Study of fertilizer

uptake using radioactive phosphorus: I. **Scientific Agriculture**. Ottawa, **27**: 145-156.

ULRICH, B.; H. LINE e H. KARAPARKAR, 1962. Kinetics of isotopic exchange between soil phosphates, soil solution and plant. In: IAEA **Radioisotopes in soil plant nutrition studies**. Vienna, 59-74.

VOLK, V.V. e E.O. McLEAN, 1963. The fate of applied phosphorus in four ohio soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, Madison, **27**: 53-58.

VOSE, P.B., 1980. **Introduction to nuclear techniques in agronomy and plant biology**, Oxford, Pergamon Press, 390p.

WILLIAMS, E.G. e A.H. KNIGHT, 1963. Evaluations of soil phosphate status by pot experiments, conventional extraction methods, and labile phosphate values estimated with the aid of phosphorus-32. **J. Sci. Fd. Agric.**, London, **14**: 555-563.

ZELLER, A., 1963. The feeding power of plants. Seminar given at the unit of agriculture - IAEA. Viena, Mimeografado, 9p.

APENDICE

APÊNDICE 1. Ensaio 1 - Valores de F calculado dos fatores analisados e das suas interações para a produção de M.V.S., P-total e valor 'L' nos solos PVA e LE

Causas de Variação		M.V.S.		P-total		Valor 'L'	
		PVA	LE	PVA	LE	PVA	LE
P	2	1,08	2,72	0,01	0,33	114,80**	41,48**
C	1	71,28**	0,24	303,45**	0,01	282,29**	366,14**
P * C	2	3,21	3,20	0,34	2,10	53,80**	8,83**
C D P 1	1	46,34**	3,14	90,92**	2,97	312,04**	183,75**
C D P 2	1	10,68**	2,03	98,76**	1,02	67,48**	139,74**
C D P 3	1	20,67**	1,47	114,46**	0,22	10,37**	60,30**
P D C 1	2	2,95	5,77**	0,12	1,70	5,92**	6,06**
P D C 2	2	1,33	0,15	0,23	0,73	162,68**	44,24**
F	1	357,21**	227,42**	134,63**	27,34**	22,78**	112,43**
P * F	2	2,70	0,40	4,85*	0,63	16,23**	1,24
E D P 1	1	83,01**	64,27**	18,10**	14,60**	52,53**	47,48**
E D P 2	1	152,04**	77,94**	53,44**	9,00**	2,42	44,01**
E D P 3	1	127,55**	86,01**	72,78**	4,99*	0,28	23,42**
P D E 1	2	2,70	0,51	2,54	0,92	108,14**	28,51**
P D E 2	2	1,08	2,61	2,32	0,03	22,88**	14,21**
C * F	1	170,16**	241,93**	69,97**	15,09**	48,21**	147,27**
E D C 1	1	510,23**	469,24**	199,36**	41,53**	2,35	1,17
E D C 2	1	17,14**	0,11	5,24*	0,90	68,65**	258,53**
C D F 1	1	10,58**	113,32**	40,99**	8,08**	281,92**	488,92*
C D F 2	1	230,85**	128,85**	332,43**	7,02*	48,58**	24,49**
P*C*F	2	0,75	0,42	5,75**	0,54	14,40**	2,91

P = níveis de fósforo; C= cultura ou espécie de planta; E = época de colheita.

APÊNDICE 2. Ensaio 2 - Valores de F calculado dos fatores analisados e suas interações para a produção de MVS, P-total e valor 'L' nos solos PVA e LE

Causa de Variação	G.L.	M.V.S.		P-total		Valor 'L'	
		PVA	LE	PVA	LE	PVA	LE
P	2	37,27**	283,21**	783,60**	869,51**	135,73**	538,52**
N	2	49,98**	41,93**	42,99**	10,31**	1,27	0,76
P * N	4	0,67	5,64**	27,76**	6,23**	4,31**	5,18**
N D P 1	2	14,20**	3,15	0,38	0,61	5,77**	0,27
N D P 2	2	22,41**	9,47**	0,83	0,13	2,09	5,15*
N D P 3	2	14,72**	40,60**	97,31**	22,03**	2,03	5,71**
P D N 1	2	10,34**	54,95**	127,50**	222,49**	26,36**	172,41**
P D N 2	2	11,43**	98,53**	246,44**	284,12**	47,80**	222,18**
P D N 3	2	16,85**	141,01**	465,18**	375,36**	70,18**	154,29**
F	1	0,56	2,06	12,18**	2,74	3,27	7,57**
P * F	2	3,35*	1,84	10,65**	4,54*	1,20	20,16**
F D P 1	1	5,66*	0,15	0,07	0,24	0,01	5,25*
F D P 2	1	0,03	0,34	0,00	0,00	5,09*	0,30
F D P 3	1	1,58	5,26*	33,41**	11,60**	0,56	42,35**
P D F 1	2	29,00**	120,23**	308,93**	375,55**	76,32**	321,63**
P D F 2	2	11,62**	164,83**	485,32**	498,51**	60,61**	237,05**
N * F	2	0,50	0,55	2,13	3,70*	3,34*	7,64**
F D N 1	1	0,48	0,00	0,28	0,38	7,61*	0,07
F D N 2	1	0,94	2,32	4,24*	9,17**	0,77	22,71**
F D N 3	1	0,13	0,84	11,91**	0,60	1,57	0,07
N D F 1	2	28,52**	18,10**	13,06**	9,03**	3,15	2,90
N D F 2	2	21,95**	24,39**	32,06**	4,98*	1,45	5,51**
P*N*F	4	1,76	1,91	1,31	6,10**	2,06	3,45*

P = níveis de fósforo; N = doses de nitrogênio; F = fontes de nitrogênio

APÊNDICE 3. Ensaio 4 - Valores de F calculado dos fatores analisados e das suas interações para a produção de MVS, P-total e valor 'L': a) nas duas culturas; b) nas duas condições de cultivo

a)

Causas de Variação	G.L.	M.V.S.	P-total	Valor 'L'
P	2	28,03**	33,48**	45,69**
C	1	48,44**	208,53**	365,94**
P*C	2	5,54*	10,75**	3,64*
CDP 1	1	3,40	34,53**	167,24**
CDP 2	1	13,61**	50,06**	83,11**
CDP 3	1	42,52**	145,43**	122,87**
PDC 1	2	28,86**	40,34**	13,71**
PDC 2	2	4,72*	3,89*	35,61**
S	1	73,10**	63,32**	580,41**
P*S	2	0,55	4,46*	21,10**
SDP 1	1	23,60**	12,71**	371,63**
SDP 2	1	17,93**	10,18**	132,85**
SDP 3	1	32,66**	49,36**	119,33**
PDS 1	2	12,47**	29,37**	2,24
PDS 2	2	16,11**	8,57**	65,15**
C*S	1	43,75**	117,86**	199,40**
SDC 1	1	1,87	176,99**	49,70**
SDC 2	1	114,98**	4,20	730,11**
CDS 1	1	92,13**	319,98**	12,54**
CDS 2	1	0,05	6,42*	552,81**
P*C*S	2	7,31**	0,20	1,61

C = Cultura; P = Níveis de fósforo; S = Solo

b)

P	2	34,24**	25,88**	54,15**
S	1	237,28**	241,23**	673,69**
P*S	2	3,56*	1,78	8,09**
SDP 1	1	50,34**	64,79**	197,37**
SDP 2	1	117,91**	79,73**	161,96**
SDP 3	1	76,14**	110,28**	330,54**
PDS 1	2	24,47**	20,33**	31,70**
PDS 2	2	13,33**	7,33**	30,54**
U	1	276,38**	146,27**	39,66**
P*U	2	2,43	0,51	3,63*
UDP 1	1	125,01**	50,14**	3,30
UDP 2	1	65,01**	58,48**	12,04**
UDP 3	1	91,21**	38,67**	31,57**
PDU 1	2	12,94**	10,69**	19,74**
PDU 2	2	23,73**	15,70**	38,04**
S*U	1	11,02**	8,77**	28,55**
UDS 1	1	88,49**	41,69**	0,45
UDS 2	1	198,91**	113,36**	67,76**
SDU 1	1	73,00**	78,98**	489,82**
SDU 2	1	175,31**	171,03**	212,42**
P*C*U	2	0,88	1,70	8,75**

S = Solo; P = Níveis de Fósforo; U = Condição de cultivo (umidade)

APÊNDICE 4. Ensaio 1 - Médias das interações para produção de material vegetal seco, teor de fósforo total e valor 'L' das culturas nos dois solos

Médias das interações	M.V.S. (g/vaso)		P-total (mg/vaso)		Valor 'L' (mg/kg/solo)	
	PVA	LE	PVA	LE	PVA	LE
1) Fósforo x Cultura						
P0 x Arroz	5,49	2,65	6,81	1,84	24,66	51,83
P0 x Feijão	3,43	2,98	3,22	2,38	79,50	201,66
P0.13 x Arroz	4,86	3,16	6,91	2,32	19,83	24,66
P0.13 x Feijão	3,87	2,90	3,17	2,01	45,33	176,33
P1.3 x Arroz	4,84	3,22	7,01	2,36	14,00	15,83
P1.3 x Feijão	3,46	3,00	2,97	2,21	24,00	101,66
d.m.s. (Tukey 5%)	0,93	0,57	1,17	0,98	9,68	34,46
2) Fósforo x Época						
P0 x 30 dias	3,08	2,06	4,22	1,51	63,33	163,83
P0 x 50 dias	5,83	3,56	5,82	2,71	40,83	88,66
P0.13 x 30 dias	2,50	2,20	3,66	1,69	35,00	147,66
P0.13 x 50 dias	6,23	3,85	6,42	2,64	30,16	74,33
P1.3 x 30 dias	2,44	2,24	3,38	1,94	18,16	85,50
P1.3 x 50 dias	5,86	3,97	6,60	2,64	19,83	32,00
d.m.s. (Tukey 5%)	0,93	0,57	0,37	0,98	9,68	34,46
3) Cultura x Época						
Arroz x 30 dias	2,27	1,36	4,74	1,35	17,55	32,88
Arroz x 50 dias	7,85	4,66	9,08	3,00	21,44	42,66
Feijão x 30 dias	3,08	2,98	2,77	2,08	60,11	232,44
Feijão x 50 dias	4,10	2,93	3,47	2,32	39,11	87,83
d.m.s. (Tukey 5%)	0,68	0,42	0,85	0,71	7,04	25,08

APÊNDICE 5. Ensaio 2 - Médias das interações para produção de material vegetal seco, teor de fósforo total e valor 'L' em arroz nos dois solos

Médias das Interações	M.V.S. (g/vaso)		P-total (mg/vaso)		Valor 'L' (mg P/kg solo)	
	PVA	LE	PVA	LE	PVA	LE
1) Fósforo x Nitrogênio						
P0 N0	3,53	2,89	7,00	2,25	21,66	68,16
P0 N50	4,67	3,30	8,01	2,65	23,83	70,16
P0 N100	5,33	3,56	8,90	3,01	25,33	68,33
P22 N0	5,03	4,70	17,78	7,64	15,83	14,00
P22 N50	6,16	5,30	18,23	7,99	14,33	7,66
P22 N100	7,32	5,87	20,42	7,73	16,50	17,00
P220 N0	4,66	5,65	41,11	16,55	14,16	32,16
P220 N50	6,01	7,05	54,16	18,68	15,01	41,83
P220 N100	6,44	8,05	71,48	21,10	12,83	34,66
d.m.s. (Tukey 5%)	1,13	0,88	7,24	2,27	3,59	9,84
2) Fósforo x Fonte N						
P0 Uréia	4,18	3,29	7,72	2,78	23,55	71,66
P0 Sulfato	4,85	3,21	8,22	2,50	23,66	66,11
P22 Uréia	6,14	5,23	18,82	7,80	14,55	12,22
P22 Sulfato	6,19	5,36	18,80	7,77	16,55	13,55
P220 Uréia	5,88	6,67	50,43	17,82	13,66	28,33
P220 Sulfato	5,52	7,17	60,74	19,36	14,33	44,11
d.m.s. (Tukey 5%)	0,84	0,66	5,38	1,69	2,67	7,32
3) Nitrogênio x Fonte N						
N0 Uréia	4,31	4,41	21,49	8,64	16,00	38,44
N0 Sulfato	4,50	4,42	22,44	8,99	18,44	37,77
N50 Uréia	5,48	5,05	22,96	8,92	18,11	34,11
N50 Sulfato	5,75	5,39	28,64	10,62	17,33	45,66
N100 Uréia	6,41	5,72	30,52	10,83	17,66	39,66
N100 Sulfato	6,31	5,92	36,68	10,39	18,77	40,33
d.m.s. (Tukey 5%)	0,84	0,66	5,38	1,69	2,67	7,32