

ESTUDOS SOBRE A NUTRIÇÃO MINERAL DO ARROZ. XXIV.
ABSORÇÃO E REDISTRIBUIÇÃO DO RADIOFÓSFORO
NAS VARIEDADES L-45, DOURADO Precoce e Penatie*

A.V. RIERA ACOSTA**
B.A.A. CARNAUBA**
D.M. CIARELLI**
D.A.C. FRAZÃO**
H. do PRADO**
H. BERGAMASCHI**
J. MORTATTI**
R. ROSSETTO**
E. MALAVOLTA***

RESUMO

Foram observadas diferenças significativas na absorção do P^{32} em função do tempo de contacto para as cultivares L-45, Dourado Precoce e Penatie. Exceção feita no caso da L-45 as plantas inteiras absorvem mais que as raízes destacadas. O mecanismo duplo de absorção atuou no caso das

* Entregue para publicação em 20/12/83.
Colaboração do CNPq, CNEN e FAPESP.

** Estudantes de pós-graduação.

*** Departamento de Química, ESALQ/USP e CENA/USP.

três variedades, uma na faixa de 1-5 μmoles de H_2PO_4^- e outro na de 10^2 a 10^4 μmoles . A presença de uréia na solução aumenta a absorção do P fornecido por via foliar. Quando se empregou fosfato diamônico como fonte de fósforo houve maior transporte do elemento, em presença de uréia, da folha tratada para os outros órgãos da planta. O transporte foi maior no caso da cv. Penatie, sendo menor no caso da cv. L-45 e muito pequeno na variedade Dourado Precoce.

INTRODUÇÃO

O fósforo é um dos macronutrientes essenciais pelo seu importante papel nos fenômenos de armazenamento e transferência de energia. É absorvido, principalmente como ion H_2PO_4^- , sendo que os iônicos HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} só ocorrem em condições alcalinas, portanto, fora da faixa de pH que os vegetais normalmente vivem. A essencialidade do fósforo também é verificada devido à sua participação nas composições de diferentes substâncias com diversas e importantes funções na vida da planta. Normalmente as plantas se nutrem através da absorção de nutrientes pelas raízes; entretanto as folhas podem absorver nutrientes, suprindo dessa forma suas exigências naturais.

Estudos pioneiros sobre a cinética do transporte iônico foram realizados por EPSTEIN e HAGEN (1952), que associaram estes aos tratamentos matemáticos da cinética enzimática, devido à semelhança existente na função do elemento carregador; com a diferença de que o transporte iônico é realizado de um lado para outro da membrana ce-

lular e o enzima promove a transformação da molécula do substrato em outra.

O emprego de radioisótopos é extremamente útil nos estudos de absorção iônica, permitindo uma clara distinção entre absorção radicular e foliar, que podem ocorrer simultaneamente na planta. Segundo MALAVOLTA (1980) a sensibilidade dos métodos que utilizam radioisótopos são, pelo menos, 10^3 vezes maior que os métodos convencionais.

Este trabalho tem por objetivo estudar os principais fatores que afetam os mecanismos da absorção iônica e foliar, fazendo comparações no comportamento de 3 cultivares de arroz, durante os ensaios de absorção e redistribuição de ^{32}P .

REVISÃO DE LITERATURA

A absorção de nutrientes pelas plantas a partir da solução do solo foi considerada, por muito tempo, como consequência de simples processo de difusão, no qual os elementos penetrariam na planta espontaneamente. Esta hipótese, no entanto, perdeu a sua validade a partir do ponto em que ficou constatado que, de um modo geral, a concentração de elementos no suco celular é muito maior do que a do meio externo e, por isso, aquele processo não poderia ser espontâneo. Isto ficou demonstrado, experimentalmente, pelos trabalhos realizados, com HOAGLAND e seus colaboradores, entre 1920 e 1930, analisando o suco celular da alga de água doce *Nitella clarata*, no qual tanto cátions como ânions apareciam em concentrações muito altas do que na água em que viviam, e que esses ions estavam em solução na célula e não ligados a constituintes. Estes resultados demonstraram que a absorção salina não poderia ser espontânea, uma vez que ela se dá de um meio de menor concentração para outro de maior concen

tração, necessitando gasto de energia, que seria provida do metabolismo ativo do tecido (EPSTEIN, 1975 e MALAVOLTA, 1980)

Posteriormente, utilizando plântulas de cevada, HOAGLAND e BROYER (1936) desenvolveram a metodologia clássica para estudo da absorção iônica pelas raízes. O uso de raízes destacadas apresentou vantagens ao invés de plantas inteiras, em ensaios de curta duração, por não haver transporte do elemento para parte aérea, ficando o mesmo acumulado no sistema radicular. Estes estudos comprovaram as evidências anteriores de que os elementos são absorvidos em um processo "morro acima" e que há a necessidade de energia metabólica.

Segundo EPSTEIN (1975) várias provas levam à conclusão de que o transporte iônico é um processo metabolicamente ativo, sendo a mais evidente o fato de que o sal pode atingir concentrações dentro da célula muito mais altas que a externa. Além disso, o efeito da temperatura, do suprimento de oxigênio, carboidratos e luz (demonstrados por HOAGLAND e seus colaboradores) e de inibidores levam à mesma comprovação.

Além da absorção via radicular, os elementos minerais também podem ser absorvidos via foliar, principalmente através da cutícula (WITWER e TEUBNER, 1959)

A composição lipo-proteica das membranas celulares, em especial a natureza lipídica, torna-as uma barreira aos solutos polares, inclusive os íons inorgânicos. Não obstante, eles entram na célula. Esse mecanismo é dependente do metabolismo celular e é seletivo: ele discrimina entre íons de diferentes elementos. Para explicar essa e outras características do transporte iônico foi elaborada a hipótese do "carregador", subunidades da membrana que apanham o íon na face externa formando um complexo ion-carregador. Esse complexo atravessa a membrana e libera o íon no interior da célula. Por outro lado, o íon não pode se difundir para fora da célula devido à im

permeabilidade da membrana aos ions livres e a configuração do carregador na superfície interna. A natureza química do carregador no entanto, não é conhecida ainda, havendo apenas algumas alternativas (EPSTEIN, 1975 e MALAVOLTA, 1980).

Esta hipótese do carregador, ou seja, de que os ions não são absorvidos sozinhos, é antiga, mas muitas evidências experimentais lhe dão suporte. Trabalhando com absorção iônica por raízes destacadas de cevada, EPSTEIN e HAGEN (1952) concluíram que este processo é análogo à cinética enzimática, ou seja, a cinética do transporte por meio do carregador e a da catálise enzimática são semelhantes. HODGES (1973) relacionou a atividade da ATPase com o processo de absorção iônica, envolvendo síntese e quebra de ATP e a separação de cargas. FISHER et alii (1970) também observaram experimentalmente, que existe alta correlação positiva entre a atividade da ATPase e a absorção de ions, concluindo que o ATP é a fonte de energia para a absorção e o transporte de ions nas raízes e que a ATPase é a enzima responsável pelas transformações de energia. Citando resultados de FISHER e HODGES (1969), FISHER et alii (1970) sugerem que a ATPase atua a nível de membrana e a sua atividade varia de espécie para espécie, de acordo com a variação na taxa de transporte de ions.

Considerando a cinética e a seletividade da absorção de ions, HODGES (1973) constatou que as taxas de absorção de ions inorgânicos pelas raízes cresce com aumento da concentração externa até que ocorra uma aparente saturação. Esta saturação, além da natureza seletiva do processo de absorção, serviram como base para comprovar o conceito do "ions-carregador", e reforçam os trabalhos de EPSTEIN e HAGEN (1952) que empregaram a análise da cinética enzimática de Michaelis e Menten para descrever quantitativamente a absorção de ions por raízes de cevada. Entretanto, segundo HODGES (1973), foi logo reconhecido de que a absorção de ions não pode ser descrita de forma simples pela função de Michaelis e Menten pois es-

te mecanismo não satura em uma faixa ampla de concentração. Porém, usando a transformação de Hofstee, a função se torna linear e torna possível interpretar mecanismos duplos de absorção, ou seja, de que um mesmo ion pode ter dois carregadores; um primeiro carregador tem alta afinidade com os ions e é atuante quando a concentração externa é baixa e um segundo carregador tem baixa afinidade com os ions e atua em concentrações externas elevadas. Os dois mecanismos de absorção de ions foram constatados experimentalmente para potássio em raízes de cevada e foram denominados de mecanismo I, o qual satura em baixa concentração e da uma isoterma adequadamente descrita pela cinética de Michaelis-Menten e mecanismos II que corresponde a uma segunda isoterma para altas concentrações (FRIED e NOGGLE, 1958, EPSTEIN, 1972 e EPSTEIN et alii, 1973, citados por HODGES, 1973). Entretanto, ainda persistem controvérsia se de fato trata-se de mais de um mecanismo ou um apenas, como também a localização dos mesmos, se apenas na membrana plasmática ou na membrana plasmática e no tonoplasto (HODGES, 1973).

Para o caso particular do fósforo, inicialmente pensou-se que $H_2PO_4^-$ e $HP_0_4^{-2}$ seriam absorvidos por meio de sítios de diferentes afinidades, o que explicaria a existência de mais de uma isoterma na análise cinética (HAGEN e HOPKINS, 1955). Posteriormente, foi sugerido que a absorção do $H_2PO_4^-$ se daria por duplo mecanismo, através de dois sítios de absorção distintos, com afinidades e k_m (constantes de Michaelis) diferentes (ALAGARSWAMY et alii, 1972). Segundo EPSTEIN (1975) o padrão duplo de absorção de $H_2PO_4^-$ já foi observado em raízes de cevada, milho e trigo e folhas de *Elodea densa*. Segundo notas do tradutor (E. MALAVOLTA) em EPSTEIN (1975), o mecanismo duplo de absorção do fósforo foi muito estudado, entre outros, por LORENÇO et alii (1968) na E.S.A. "Luiz de Queiroz". Dessa maneira, o ajustamento de mais de uma hipérbole, cada uma corresponde a uma faixa limitada de concentração, permite uma descrição significativamente melhor da cinética de absorção em presença de padrões duplos ou múltiplos, para os quais a equa-

ção de Michaelis-Menten não é adequada (HARRISON et alii, 1981).

A utilização de plantas inteiras e de raízes destacadas em estudos de absorção de nutrientes conduzem, normalmente, a resultados diferentes. Em experimento com sorgo sacarino, MALAVOLTA et alii (1979) detectaram absorção crescente de P até 240 minutos em plantas inteiras, enquanto que houve diminuição na absorção após 180 minutos em raízes destacadas, variando, em consequência os valores calculados de k_m e $v_{m\acute{a}x}$. No caso das raízes destacadas, a limitação na absorção pode ser explicada pela ausência de transporte para a parte aérea, a qual foi removida.

Outros fatores internos e externos interferem e interferem na velocidade e no padrão de absorção de elementos minerais. O uso de cultivares diferentes dentro de uma mesma espécie é um fator de variação na absorção, conforme foi verificado por MALAVOLTA et alii (1977). Estudando a absorção de P por três cultivares de sorgo sacarino, estes autores detectaram velocidades de absorção de íon fosfato diferentes, muito embora todos os cultivares tenham evidenciado duplo mecanismo de absorção. Do mesmo modo para a cultura do arroz, as pesquisas feitas tem demonstrado diferenças na capacidade de absorção de fósforo por diferentes cultivares. Geralmente os cultivares que absorvem mais fósforo são aqueles que proporcionam as maiores produções (SINHA et alii, 1980).

A presença de outros íons na solução externa pode alterar a cinética de absorção de um determinado nutriente, ativando ou inibindo. Sabe-se que a enzima ATPase é ativada pela presença de ATP e alguns cátions. LEONARD e HODGES (1973), estudando a atividade da ATPase da membrana plasmática, constatara, que a ativação da ATPase pelo ATP e pelo Mg^{+2} exibiu uma cinética Michaelis-Menten típica, com k_m de 0,38 e 0,84 mM, respectivamente. Neste estudo foi verificado que o efeito do K^+ na ativação da ATPase foi menor. Trabalhando com raízes destaca

das de cevada, LOURENÇO et alii (1968) verificaram que a absorção do fósforo aumenta em presença de Mg até concentrações de $5 \cdot 10^{-5}$ M deste elemento, além da qual a absorção do P diminuiu.

Para o caso particular da absorção via foliar a presença da uréia na solução pode aumentar a absorção de outros ions, inclusive o fósforo, "abrindo-lhes o caminho" através da cutícula, através do fenômeno denominado difusão facilitada. Este fenômeno é explicado admitindo-se que a uréia possa romper ligações químicas entre os componentes da cutícula (éster, éter, diéter), facilitando a sua penetração e a dos ions acompanhantes. Pesquisas realizadas com o feijoeiro demonstraram efeito linear da uréia na absorção foliar de P^{32} (MALAVOLTA, 1980).

O pH da solução externa é outro fator que influencia a absorção dos elementos minerais, além de afetar a sua disponibilidade. A absorção foliar de ânions, como o $H_2PO_4^-$, às vezes é maior em pH baixo, como 4, por exemplo (MALAVOLTA, 1980). Segundo HODGES (1973), o gradiente de pH entre o meio interno e externo é importante para os carregadores de ânions, os quais são trocados por OH^- provindos do citoplasma.

MATERIAL E MÉTODOS

Toda a parte experimental do trabalho proposto foi conduzida em casa de vegetação e no laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), em Piracicaba (SP).

Foram utilizadas 3 cultivares de arroz (*Oryza Sativa* L.): Dourado Precoce, Penatle e L-45, para ensaios de absorção iônica radicular e foliar.

As sementes foram previamente desinfetadas e colocadas em vermiculita umedecida com CaSO_4 10^{-4}M numa bandeja plástica e recoberta com 1 cm do mesmo substrato, para a obtenção das mudas. Uma semana após, as plantas foram transplantadas para uma bandeja plástica de 30 litros, em uma solução nutritiva arejada, solução nº 2 de HOAGLAND e ARNON (1950) diluída 1+5.

Foram realizados experimentos sobre absorção radicular de fósforo em função do tempo de contato e da concentração externa para raízes destacadas e raízes de plantas inteiras, absorção foliar de fósforo e cinética de absorção, usando $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$ como traçador radioativo.

Absorção radicular de fósforo em função do tempo de contato

Raízes destacadas

As raízes foram destacadas logo abaixo do colo e mergulhadas num frasco de 200 ml em solução contendo 100 ml KH_2PO_4 10^{-4}M e 1 ml de Mg SO_4 $2 \times 10^{-2}\text{M}$. Com o sistema aerador ligado, juntou-se a cada frasco 1 ml de $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$ livre de carregador, com atividade específica de aproximadamente $4 \mu \text{Ci}$.

Os tratamentos, com 4 repetições, consistiram em deixar as raízes destacadas em contato com a solução durante 10, 30, 180 e 240 minutos.

Findo os períodos de tratamentos, as raízes foram retiradas da solução, lavadas 3 vezes com água destilada em agitação de 1 minuto cada e, ainda no frasco, levadas para secagem em estufa a $70-80^\circ\text{C}$.

Depois de secas, as amostras foram pesadas, moidas em almofariz e digeridas em solução nítrico-perclórico.

O volume do extrato foi completado a 10 ml, dos quais 5 ml foram colocados em cápsulas de vidro e secos em chapa quente. A amostra de referência foi obtida transferindo-se 1 ml da solução de trabalho completada a 100 ml, das quais tomou-se 1 ml para a contagem. As contagens realizadas no escalímetro com contador G-M (Gerger-Miiller) de janelas finas.

Os resultados obtidos em cpm (contagem por minuto) foram convertidos em micromoles de P por grama de matéria seca.

Raízes de plantas inteiras

As plantas inteiras foram fixadas, com auxílio de espumas de plástico, nos frascos de 200 ml, ficando as raízes mergulhadas em solução igual descrita anteriormente. Os tratamentos, com 4 repetições consistiram em deixar as raízes das plantas inteiras em contato com a solução durante 10, 30, 180 e 240 minutos. Após o término do período de tratamento, as raízes foram separadas da parte aérea, lavadas 3 vezes com água destilada, colocadas em saquinhos de papel e secas em estufa à 70-80°C. A seqüência dos procedimentos posteriores foram as mesmas descritas anteriormente.

Absorção radicular de fósforo em função da concentração iônica externa

Raízes destacadas

O experimento foi realizado de maneira análoga àquele descrito em "Raízes destacadas" do ítem anterior. Os tratamentos, com 3 repetições, consistiram em deixar as raízes destacadas mergulhadas em soluções de KH_2PO_4 ,

com concentrações molares de 10^{-6} , 2×10^{-6} , 5×10^{-6} , 10^{-4} , 10^{-3} e 10^{-2} , durante o tempo de 180 minutos.

Raízes de plantas inteiras

O procedimento experimental foi semelhante àquele descrito em "Raízes de plantas inteiras" do item anterior. Os tratamentos, com 3 repetições, consistiram em mergulhar as raízes de plantas inteiras em soluções de KH_2PO_4 com as mesmas concentrações molares e o mesmo intervalo de tempo definido anteriormente.

Cinética de absorção

A cinética de absorção de fósforo por raízes desta e raízes de plantas inteiras dos 3 cultivares de arroz nas diferentes concentrações iônicas externas foi interpretada utilizando-se a equação de Lineweaver e Burk, que é uma transformação da equação de Michaelis-Menten.

Equação de Michaelis-Menten:

$$v = \frac{V [M]}{[M] + K_m} \quad \dots (1)$$

onde: v = velocidade de absorção

V = velocidade máxima de absorção

$[M]$ = concentração iônica externa

K_m = constante de Michaelis.

Tomando-se a recíproca dos dois membros da equação (1) obtém-se a equação linear de Lineweaver e Burk:

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{V} + \frac{K_m}{V} \cdot \frac{1}{[M]} \quad \dots (2)$$

Absorção foliar de fósforo

As mudas, para tal ensaio, foram obtidas após a germinação em vermiculita umedecida com CaSO_4 10^{-4}M e cultivadas em solução nutritiva diluída durante 4 semanas. A composição da solução nutritiva utilizada pode ser observada na tabela 1.

Tabela 1. Composição da solução nutritiva utilizada no ensaio de absorção foliar de fósforo.

Solução estoque	Tratamento completo (ml/l)
NH_2PO_4 M(115 g/l)	0,5
KNO_3 M(101 g/l)	3,0
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ M(236 g/l)	2,0
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ M(246 g/l)	1,0
Solução <u>a</u> (1)	0,5
Solução Fc-EDTA (2)	0,5

(1) Dissolver e completar a 1 litro: 2,86 g H_3BO_3 ; 1,81 g MnCl_2 ; 0,44 g $\text{Zn SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,08 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 0,02 g $\text{H}_2\text{Mo O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

(2) Em 700 ml de água destilada dissolver; 26,1 g EDTA, 268 ml NaOH N (40 g/l) e 24,9 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; arejar uma noite protegendo da luz, completar a 1 litro; conservar em frasco escuro em geladeira.

Os tratamentos usados no ensaio de absorção foliar podem ser vistos na tabela 2 e consistiram na aplicação de 5 ml da solução, correspondente a cada tratamento, em 6 folhas recém maduras (2 folhas por repetição) usando cotonetes. Essa aplicação foi realizada nas duas faces da folha.

Tabela 2. Tratamentos usados no ensaio de absorção foliar.

Número	Repetição ^{a/}	Tratamento
1	3	Fosfato monoamônico (MAP) a 1% marcado com ³² P.
2	3	Fosfato diamônico (DAP) a 1% marcado com ³² P.
3	3	MAP a 1% marcado com ³² P e uréia 1%.
4	3	DAP a 1% marcado com ³² P e uréia 1%.

^{a/} cada repetição corresponde a 2 plantas.

Uma semana após a aplicação, as plantas foram retiradas da solução nutritiva, tiveram suas raízes enxugadas com toalha de papel e foram separadas as seguintes partes: folha tratada, parte aérea e raízes. As folhas tratadas foram lavadas da mesma forma que as raízes fo-

ram, no ensaio de absorção radicular. As partes foram colocadas em sacos de papel etiquetados e secos em estufa a 70-80°C. A seguir o material foi pesado, triturado e digerido em solução nítrico-perclórico. O volume do extrato obtido foi completado a 10 ml, dos quais 5 ml foram transferidos para cápsulas de vidro, secos em chapa quente e contados no escalímetro com contador G-M (Gerger-Miiller) de janelas finas.

As amostras de referência foram preparadas tomando-se 1 ml da solução relativa a cada tratamento, colocadas em cápsulas de vidro, secas em chapa quente e contados.

Os resultados foram expressos como porcentagem de P absorvido em função da porcentagem de P fornecido.

Análise estatística

Os resultados de absorção radicular e foliar de fósforo obtidos dentro das variáveis e tratamentos empregados foram interpretados pela análise da variância, segundo delineamento inteiramente casualizado. Para a comparação de médias foi utilizado o teste de Tukey a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Absorção radicular de fósforo em função do tempo de contato

A concentração de fósforo ($\mu\text{moles } ^{32}\text{P/g}$ de matéria seca) em diferentes partes da planta de 3 cultivares de arroz, em função do tempo de contato, pode ser observada na tabela 3.

Tabela 3. Concentração de fósforo ($\mu\text{mol/g}$ de matéria seca) em diferentes partes da planta de 3 cultivares de arroz, em função do tempo de cultivo (média de 4 repetições). Concentração iônica externa: $\text{KH}_2\text{PO}_4 10^{-4}\text{M}$.

Parte ^{1/}	Cultivar	Tempo (min)			F _{2/}	
		10	30	180		240
Rd	D. Precoce	a0,304b ^{3/}	a0,504b	b2,422a	b2,671a	68,68**
	Penatie	a0,319b	a0,424b	c1,883a	b2,206a	42,27**
	L-45	a0,359c	a0,671c	a2,974b	a3,587a	116,68**
Rp	D. Precoce	a0,475b	a0,642b	a2,556a	a2,995a	108,56**
	Penatie	a0,341c	a0,521c	b1,792b	b2,552a	72,08**
	L-45	a0,460b	a0,723b	b2,055a	c2,096a	48,34**
Pa	D. Precoce	a0,002a	a0,003a	a0,042a	a0,033a	ns
	Penatie	a0,002a	a0,003a	a0,021a	a0,032a	ns
	L-45	a0,007a	a0,013a	a0,042a	a0,031a	ns

1/ Rd- raiz destacada; Rp- raiz da planta inteira e Pa- parte aérea.

2/ ** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns- não significativo.

3/ Letras colocadas à direita do número permitem comparar totalmente médias de diferentes tempos dentro do mesmo cultivar ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras colocadas à esquerda do número permitem comparar verticalmente médias de diferentes cultivares dentro do mesmo tempo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A comparação dos cultivares, dentro de cada tempo e para cada parte (teste de Tukey a 5% de probabilidade) mostrou não haver diferença estatística para tempos de contato menores, ou iguais a 30 minutos, tanto na absorção de raízes destacadas como de raízes da planta inteira. Entretanto, para tempos de contato de 180 e 240 minutos os 3 cultivares se apresentaram distintos, destacando-se a maior absorção do L-45 para raiz destacada e do Dourado Precoce para raiz da planta inteira. Para raízes destacadas os 3 cultivares diferiram significativamente em 180 minutos de contato mas em 240 minutos Dourado Precoce e Penatie foram equivalentes. No caso de raízes da planta inteira, Penatie e L-45 não foram diferentes estatisticamente à 180 minutos mas à 240 minutos todos os 3 cultivares diferiram e L-45 teve a maior concentração de fósforo. Para fósforo na parte aérea, nenhuma diferença significativa foi detectada entre cultivares, em todos os tempos de contato.

As figuras 1, 2 e 3 mostram os efeitos do tempo de contato na absorção radicular de ^{32}P , em raízes destacadas e raízes da planta inteira dos 3 cultivares de arroz, respectivamente, Dourado Precoce, Penatie e L-45. A comparação estatística desses resultados é feita na tabela 3, através das letras colocadas à direita dos números, no sentido horizontal, pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Para efeito do tempo de contato, observa-se que as quantidades de ^{32}P absorvidas aumentaram de forma muito significativa nos 3 cultivares, para raízes destacadas e raízes da planta inteira. As concentrações na parte aérea para os 3 cultivares, não aumentaram significativamente durante os tempos de contato testados.

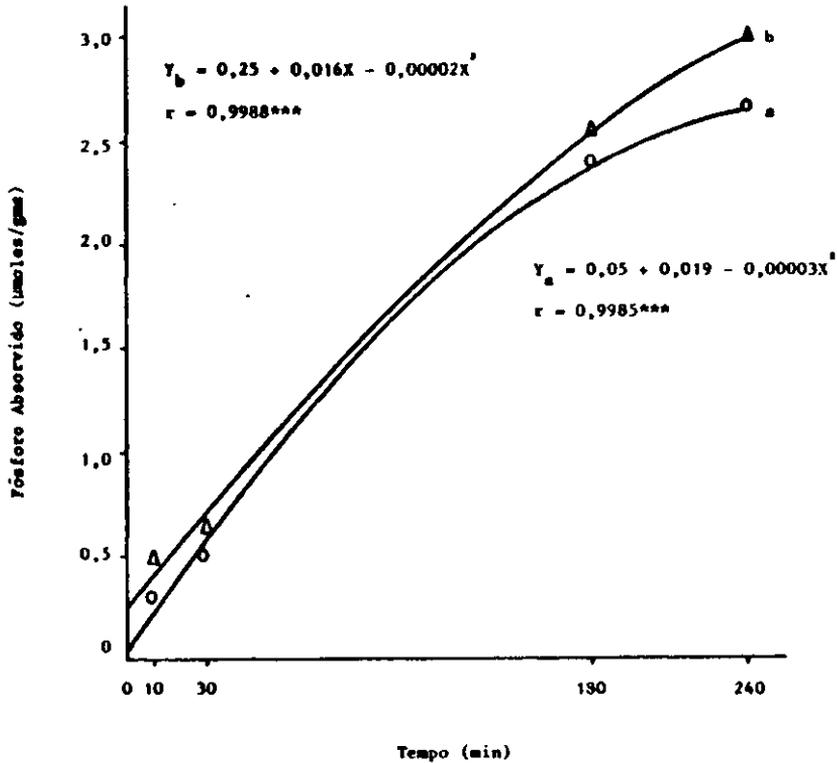


Figura 1. Efeito do tempo de contato na absorção radicular de ^{32}P em raízes destacadas e raízes da planta inteira de arroz, variedade Dourado Precoce: média de quatro repetições;
 a) raiz destacada
 b) raiz da planta inteira.

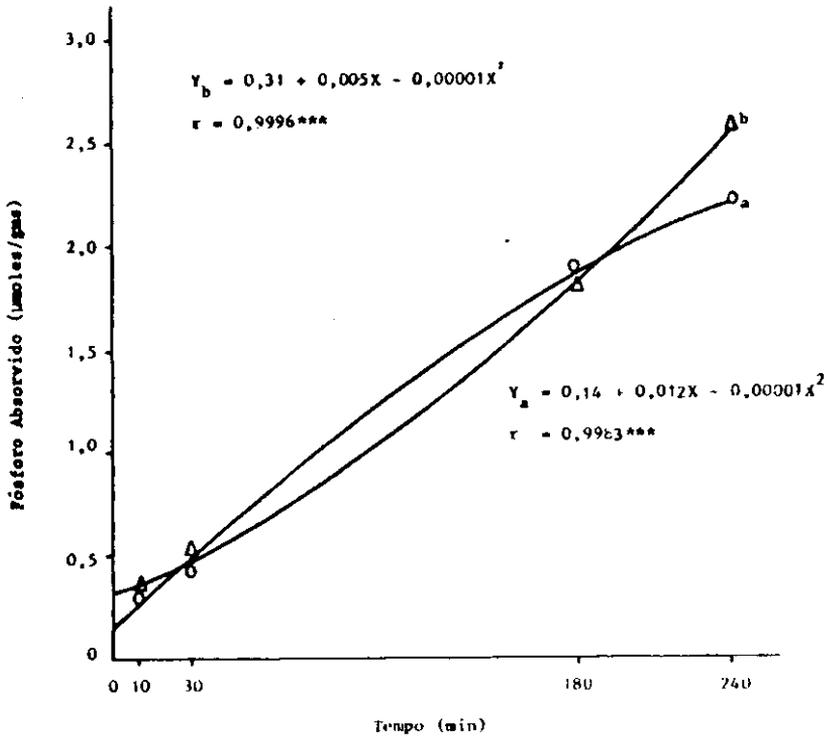


Figura 2. Efeito do tempo de contato na absorção radicular do ^{32}P em raízes destacadas e raízes da planta inteira de arroz, variedade Penatíe: mê dia de quatro repetições;
 a) raiz destacada
 b) raiz da planta inteira.

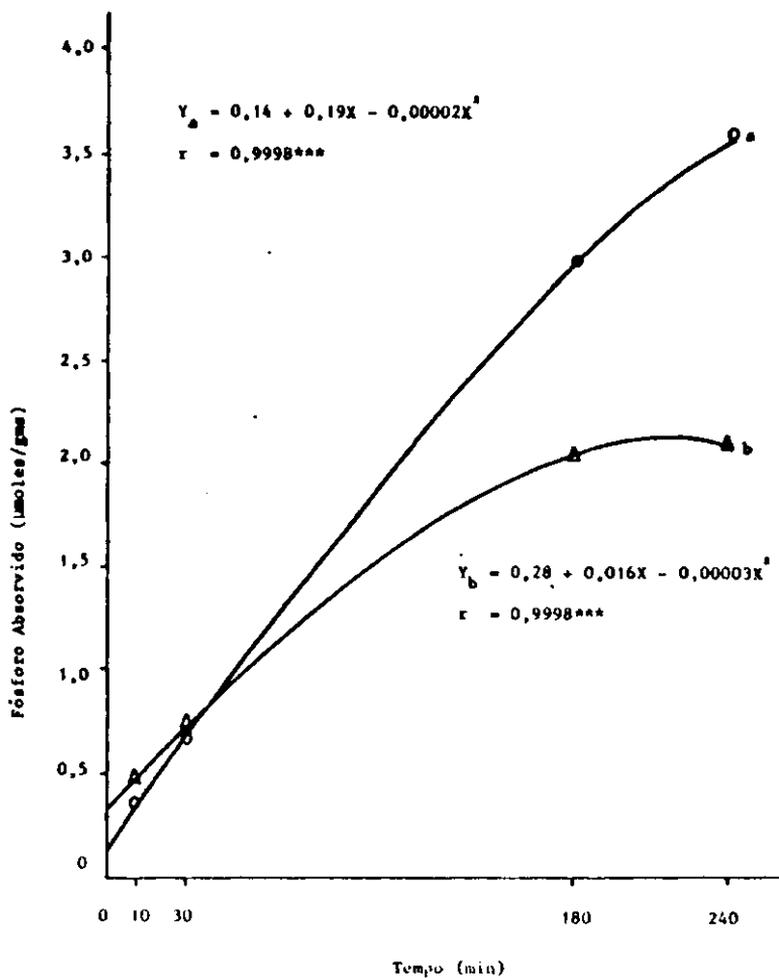


Figura 3. Efeito do tempo de contato na absorção radicular do ³²P em raízes destacadas e raízes da planta inteira de arroz, variedade L-45: média de quatro repetições;
a) raiz destacada
b) raiz da planta inteira.

Ainda nas figuras 1, 2 e 3 pode-se verificar que as respostas de absorção de ^{32}P em função do tempo atenderam a um modelo de equação quadrática, tendendo a um nível máximo, com exceção das raízes da planta inteira do cultivar Penatie, cuja inflexão da curva ajustada tendeu para valores crescentes. O comportamento geral observado demonstra aumentos de concentrações com o aumento do tempo de contato até 180 minutos. Para tempos maiores que 180 minutos, os cultivares não diferiram significativamente, tanto para raízes destacadas como para raízes de planta inteira.

Tais resultados demonstram que houve tendência à saturação, com a diminuição na absorção após os 180 minutos de contato, nos 3 cultivares testados, tanto para raízes destacadas como para raízes da planta inteira. Os valores extremamente baixos das concentrações de ^{32}P parte aérea, mesmo com 240 minutos de contato (tabela 3) demonstram que o transporte ao longo da planta foi muito reduzido e isto explica o fato de não ter havido diferença nas concentrações de raízes destacadas e raízes da planta inteira.

A tabela 4 mostra as velocidades de absorção de ^{32}P , para raízes destacadas e raízes da planta inteira dos 3 cultivares de arroz até o tempo de contato de 180 minutos. Para esse intervalo de tempo, as velocidades de absorção radicular para todos os casos atenderam a uma função linear e são dadas pelo coeficiente angular. Os valores encontrados são coerentes com as concentrações de ^{32}P nas raízes, como mostra a tabela 3, demonstrando velocidades de absorção e conseqüentemente concentração de fósforo maiores nos cultivares Dourado Precoces e L-45 e, menores para Penatie. Isto pode ser devido ao fato do cultivar Penatie ser muito mais tardio, apresentando, possivelmente, uma menor atividade do carregador no processo de absorção do fósforo, na concentração iônica externa empregada.

Tabela 4. Velocidade de absorção de ^{32}P em função do tempo de contato, para raízes destacadas e raízes da planta inteira de 3 cultivares de arroz. (Tempo considerado até 180 minutos).

Parte	Velocidade de absorção de ^{32}P ($\mu\text{moles/gms.h}$)		
	D. Precoce	Penatie	L-45
Rd	0,756	0,564	0,924
Rp	0,744	0,510	0,552

Absorção radicular do fósforo em função da concentração iônica externa

A tabela 5 mostra os teores de ^{32}P em diferentes partes da planta dos cultivares de arroz, Dourado Precoce, Penatie e L-45, em função da concentração iônica externa, para o tempo de contato de 180 minutos.

Comparando-se os 3 cultivares dentro de cada concentração, verifica-se que somente nas concentrações de 10^3 e 10^4 $\mu\text{moles KH}_2^{32}\text{PO}_4/\text{l}$ é que os cultivares diferiram significativamente para raízes destacadas e que apenas com 10^4 $\mu\text{moles/l}$ ocorreram diferenças significativas para raízes e parte aérea da planta inteira. Nestes casos, o cultivar Penatie apresentou concentrações de ^{32}P mais elevadas.

Tabela 5. Concentração de fósforo ($\mu\text{moles } 32\text{p/g}$ de matéria seca) em diferentes partes da planta de 3 cultivares de arroz, em função da concentração iônica externa (média de 3 repetições) Tempo de contato: 180 minutos.

Parte/ ^{1/} Cultivar	Concentração iônica externa ($\mu\text{moles } \text{KH}_2\text{PO}_4/\text{l}$)					$F^2/$		
	1	2	5	10^2	10^3		10^4	
Ad	D-Precoce	a0,09c ^{3/}	a1,89c	a2,88bc	a7,22bc	b25,21b	b78,28a	33,5***
	Penatie	a0,07c	a0,42c	a0,69c	a4,48c	a57,50b	a162,55a	53,43***
	L-45	a0,07c	a1,05c	a1,57c	a5,93bc	b25,44b	b72,92a	29,42**
Rp	D-Precoce	a0,06b	a0,80b	a1,93b	a6,26b	a18,29b	b69,45a	35,85**
	Penatie	a0,09c	a0,89c	a0,97c	a6,68bc	a25,60b	a98,40a	73,40**
	L-45	a0,04c	a0,92c	a1,15c	a7,25bc	a25,27b	b71,95a	39,05**
Pa	D-Precoce	a0,00ab	a0,01b	a0,06b	a0,25b	a0,58b	a7,56a	79,56**
	Penatie	a0,003b	a0,02b	a0,03b	a0,23b	a1,8b	b4,60a	26,00**
	L-45	a0,001b	a0,01b	a0,03b	a0,07b	a0,038b	b4,75a	28,59**

^{1/} Ad- raiz destacada, Rp- raiz da planta inteira e Pa- parte aérea

^{2/} significativo ao nível de 1% de probabilidade.

^{3/} Letras colocadas à direita do número permitem comparar horizontalmente médias de diferentes concentrações iônicas externas dentro do mesmo cultivar, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras colocadas à esquerda do número permitem comparar verticalmente médias de diferentes cultivares dentro da mesma concentração iônica externa, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Nas figuras 4, 5 e 6 estão representadas as concentrações de ^{32}P dos 3 cultivares, para raízes destacadas e raízes da planta inteira. As diferenças nesses resultados foram avaliadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, indicando que tanto a absorção como o transporte para a parte aérea foram influenciados positivamente pela concentração iônica externa. Além disso, verificase que os acréscimos são muito pequenos nas concentrações mais baixas, mas são elevados nas concentrações maiores, indicando mecanismo duplo de absorção de fósforo. Mecanismo semelhante de absorção de fósforo foi descrito por LOURENÇO *et alii* (1968) trabalhando com raízes destacadas de cevada, com suporte teórico na literatura (HAGEN e HOPKINS, 1955; ALAGARSWAMY *et alii*, 1972; HODGES, 1973; EPSTEIN, 1975; MALAVOLTA, 1980).

As figuras 4, 5 e 6 mostram, pela variação na concentração de ^{32}P nas raízes destacadas e nas raízes da planta inteira, que a absorção para baixas concentrações iônicas externas tendem à saturação em valores baixos, mas que apresentaram grande incrementação nas concentrações mais elevadas. Essa é a tendência descrita pelos autores citados acima, no que se refere ao mecanismo duplo de absorção, e se baseia na existência de mais de uma isoterma no gráfico que descreve a cinética de absorção de ions em uma faixa ampla de variação na concentração externa. Segundo ALAGARSWAMY *et alii* (1972) o duplo padrão na absorção do H_2PO_4^- seria devido a dois sítios de absorção distintos, com afinidades em k_m (constante de Michaelis) diferentes.

As tabelas 6 e 7 mostram os valores de k_m (constantes de Michaelis) calculados para raízes destacadas e raízes da planta inteira dos 3 cultivares. A equação transformada de Lineweaver & Burk (transformação feita a partir da equação de Michaelis-Menten) se ajustou tanto para a faixa de baixas concentrações (tabela 6) como para a faixa de altas concentrações iônicas externas, (tabela 7). Já a equação transformada de Hofstee (também oriunda da função de Michaelis & Menten) somente se ajustou à faixa de altas concentrações.

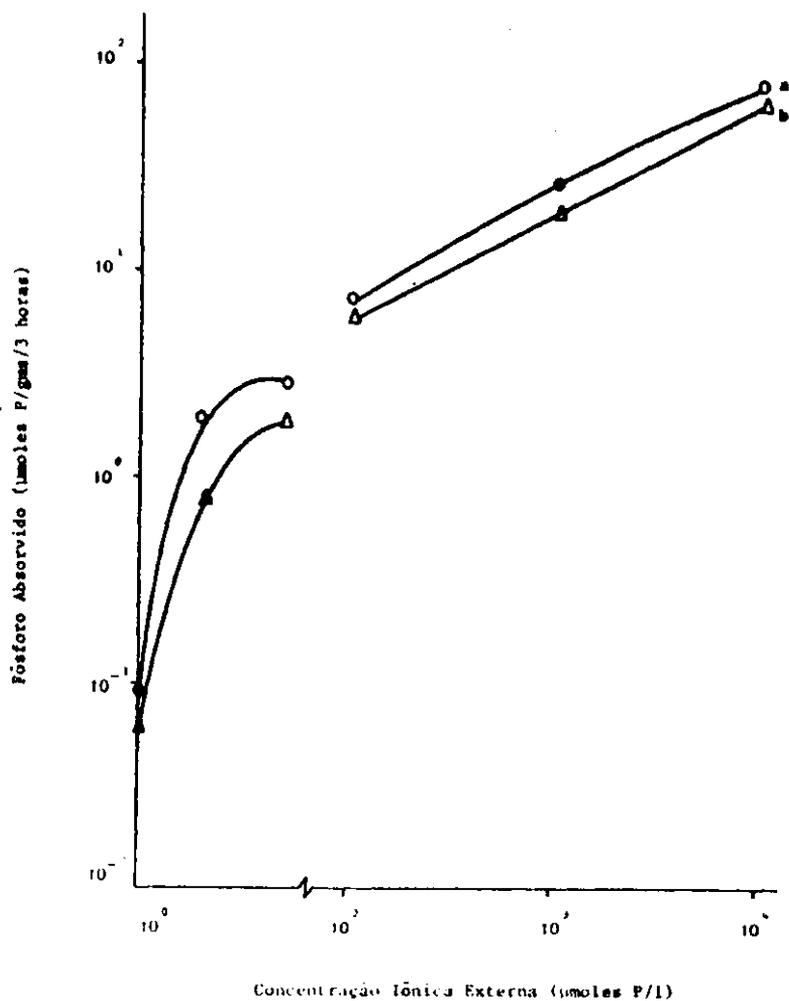


Figura 4. Absorção de ^{32}P em função da concentração iônica externa, para raízes destacadas e raízes da planta inteira, em relação ao cultivar Douorado Precoce;
a) raízes destacadas
b) raízes da planta inteira.

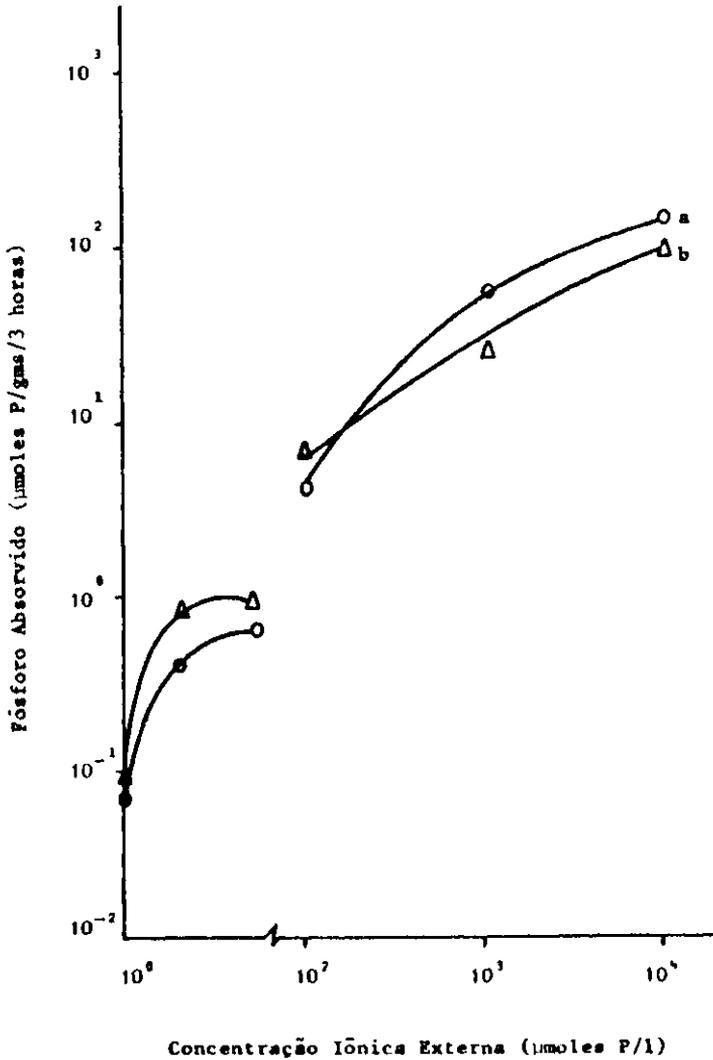


Figura 5. Absorção de ³²P em função da concentração iônica externa para raízes destacadas e raízes da planta inteira, em relação ao cultivar Penatie; a) raízes destacadas b) raízes da planta inteira.

Tabela 6. Cálculo da constante de Michaelis (Km) usando a equação transformada de Lineweaver e Burk, para absorção de 32p de raízes destacadas e raízes de plantas inteiras de 3 cultivares de arroz. Baixas concentrações da solução iônica externa (1 a 5 moles $\text{KH}_2\text{P}_2\text{O}_4/1$).

Cultivar	Parte ^{1/}	Lineweaver & Burk	
		Equação ^{2/}	r ^{3/} Km
D. Precoce	Rd	$y = -4,070 + 14,226x$	0,934**
	Rp	$y = -5,911 + 21,273x$	0,943**
Penatie	Rd	$y = -3,328 + 16,304x$	0,952**
	Rp	$y = -2,896 + 12,573x$	0,932**
L-45	Rd	$y = -4,932 + 18,042x$	0,936**
	Rp	$y = -9,330 + 32,198x$	0,934**

1/ Rd- raiz destacada; Rp- raiz da planta inteira.

2/ Equação genérica $\frac{1}{v} = \frac{1}{V} + \frac{\text{Km}}{V} \cdot \frac{1}{M}$, na qual $x = \frac{1}{M}$ e $y = \frac{1}{V}$

3/ ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

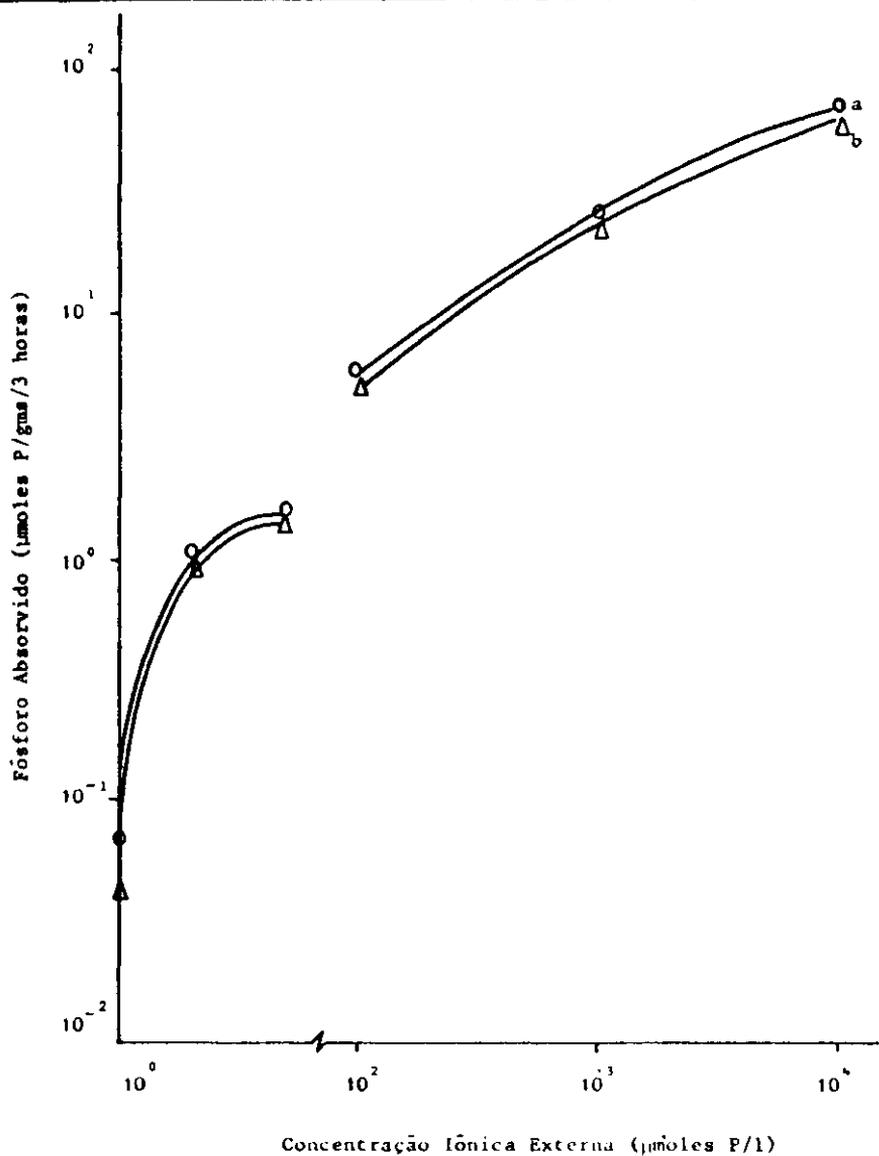


Figura 6. Absorção de ^{32}P em função da concentração iônica externa, para raízes destacadas e raízes da planta inteira, em relação ao cultivar L-45; a) raízes destacadas b) raízes da planta inteira.

Tabela 7 Cálculo da constante de Michaelis (km) usando as equações transformadas de Lineweaver & Burk e de Hofstee, para absorção de ^{32}P de raízes destacadas e raízes de plantas inteiras de 3 cultivares de arroz. Altas concentrações da solução iônica externa (10^2 a 10^4 μ moles $KH_2^{32}PO_4/1$).

Cultivar	Parte 1/		Lineweaver & Burk 2/		Hofstee 3/	
	Equação	$\frac{h}{r}$	Km	Equação	r	Km
D. Precoc	Rd $y = 0,019 + 12,010x$	0,993***	622,305	$y = 70,346 - 953,676x$	0,859**	953,57
	Rp $y = 0,026 + 13,451x$	0,982**	509,480	$y = 57,450 - 891,473x$	0,782*	891,47
Penatie	Rd $y = 0,0001 + 22,255x$	0,999***	222,553,000	$y = 166,496 - 2505,396x$	0,781*	2505,39
	Rp $y = 0,017 + 13,371x$	0,993***	795,887	$y = 90,499 - 1377,763x$	0,837*	1377,76
L-45	Rd $y = 0,018 + 15,128x$	0,997***	845,117	$y = 71,502 - 1197,552x$	0,917**	1197,55
	Rp $y = 0,020 + 11,880x$	0,993***	600,000	$y = 65,184 - 867,895x$	0,876**	867,89

1/ Rd- raiz destacada; Rp- raiz de planta inteira.

2/ Equação genérica:

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{V} + \frac{Km}{V} \cdot \frac{1}{M}, \text{ na qual } x = \frac{1}{M} \text{ e } y = \frac{1}{v}$$

3/ Equação genérica:

$$y = -Km \frac{v}{M} + V, \text{ na qual } x = \frac{v}{M} \text{ e } y = v$$

*/ ** significativo ao nível de 1% de probabilidade

*** significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

Pelas tabelas 6 e 7 verifica-se que, em geral, o cultivo Penatie teve valores de km maiores em relação ao Dourado Precoce e ao L-45, demonstrando uma menor afinidade de seu carregamento no processo de absorção dos ions fosfato, confirmando a tendência observada no teste de absorção em função do tempo descrito no item "Absorção radicular de fósforo em função do tempo de contato". A exemplo do que ocorreu na absorção em função do tempo, os cultivares Dourado Precoce e L-45 tiveram comportamento muito semelhante quanto ao mecanismo de absorção do fósforo em função da concentração externa. Tal fato pode ser devido ao seu parentesco genealógico, pois, segundo MALAVOLTA (1980), muitos aspectos tanto qualitativos como quantitativos da absorção iônica estão sob controle genético.

O transporte do fósforo para a parte aérea foi pequeno, durante o tempo de contato empregado e, por isso, as concentrações de ^{32}P de raízes destacadas e raízes da planta inteira foram muito semelhantes. Somente na concentração mais elevada ($10^4 \mu\text{moles/l}$) é que o transporte teve um acréscimo significativo, destacando-se o cultivar Dourado Precoce. Para as demais concentrações, as concentrações na parte aérea são muito baixas, indicando que o transporte foi desprezível (tabela 5). Isto sugere que, provavelmente, o emprego de um tempo de contato mais longo poderia oferecer resultados mais claros no que se refere à translocação do fósforo para a parte aérea.

Absorção foliar de fósforo

As porcentagens de atividade absorvida, de ^{32}P , em relação à atividade fornecida, para os 3 cultivares empregados e os 4 tratamentos utilizados, são mostrados na tabela 8 e na figura 7. Pode-se verificar que na média dos 3 cultivares, a presença de uréia na solução aumentou a absorção do fósforo na foliar. Do mesmo modo, observa-se que o fosfato-mono-amônico (MAP) foi mais absorvido do que o fosfato-di-amônico (DAP).

Tabela 8. Porcentagem da atividade de ^{32}P absorvida em relação à atividade fornecida para 3 cultivares de arroz e porcentagem da atividade detectada em relação à atividade total absorvida para diferentes partes da planta (média de 3 cultivares), em função de 4 tratamentos aplicados via foliar (média de 3 repetições).

Atividade	Cultivar/Parte	Tratamento				F ₂ /F ₁
		MAP ^{1/}	DAP	MAP+Uréia	DAP+Uréia	
Abs. x Forn.	D. Precoce	a8,03a ^{2/}	a3,96c	b6,69ab	a4,85bc	9,79**
	Penatie	b3,58b	a2,47b	c3,78b	a6,97a	10,99**
	L-45	b3,63b	a3,88b	a8,90a	a5,82b	17,41**
	Média	5,08b	3,44c	6,46a	5,88ab	15,17**
Detect. x Abs.	Folha Tratada	92,70a	96,03a	94,25a	86,05b	11,99**
	Parte Aérea	5,29b	3,49b	5,03b	10,80a	5,34**
	Raiz	2,00ab	0,47b	0,75b	3,13a	6,68**

1/ MAP- fosfato-mono-amônico; DAP- fosfato-di-amônico

2/ **Significativo ao nível de 1% de probabilidade

3/ Letras colocadas à direita do número permitem comparar horizontalmente médias de diferentes tratamentos dentro da mesma cultivar e dentro da mesma parte, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras colocadas à esquerda do número permitem comparar verticalmente médias de diferentes cultivares dentro do mesmo tratamento, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

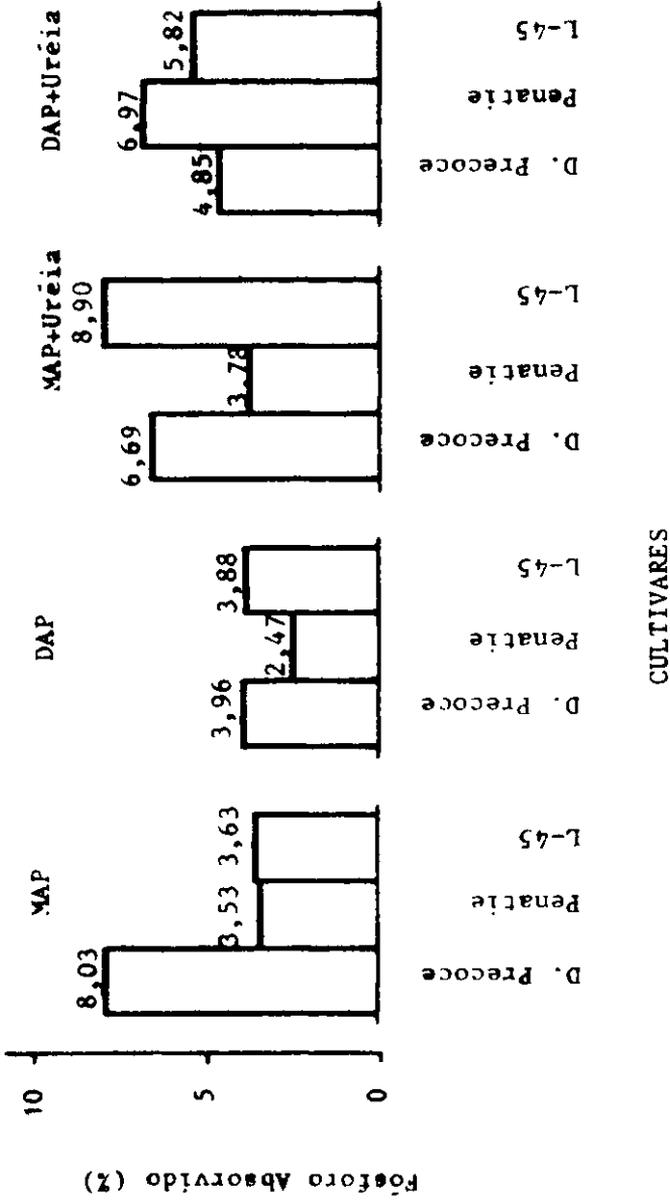


Figura 7. Porcentagem da atividade de ³²P absorvido em função da atividade fornecida para 3 cultivares de arroz em 4 tratamentos aplicados via foliar.

O efeito positivo da presença da uréia nas soluções iônicas externas utilizadas na absorção foliar de nutrientes é explicado pela chamada "difusão facilitada", admitindo-se que ela possa romper ligações químicas entre os componentes de cutícula. Por outro lado, o pH da solução também pode afetar a absorção iônica via foliar. No caso dos ânions, como o H_2PO_4^- , a absorção pode ser aumentada em pH baixo (MALAVOLTA, 1980). Este fato explica a maior absorção foliar quando do emprego do fosfato-mono-amônico, (pH = 3,5 a 4,0) em relação ao fosfato-di-amônico, (pH = 6,5).

Entretanto, pela tabela 8 e pela figura 7, pode-se verificar que houvessem variações nas porcentagens de absorção entre os cultivares para um mesmo produto, de forma um tanto inconsistente, o que possivelmente, pode ser atribuído a limitações no procedimento experimental ou analítico.

As porcentagens da atividade detectada nas diferentes partes da planta, em relação à atividade absorvida, na média dos 3 cultivares, são mostradas na tabela 8. Nota-se que a solução contendo fosfato-di-amônico (DAP) e uréia foi a que apresentou valores mais baixos na folha tratada e, em consequência, porcentagens mais elevadas no restante da planta, indicando uma maior translocação do ^{32}P absorvido.

A tabela 9 e a figura 8 mostram as porcentagens da atividade de ^{32}P detectadas nas diferentes partes da planta dos 3 cultivares, separadamente. A análise desses dados demonstra que houve maior translocação do elemento no cultivar Penatle, seguido do L-45, enquanto que o Douro Precoce apresentou transporte insignificante. A análise da variância aplicada à interação tratamentos x cultivares, para parte aérea e raiz mostrou coeficientes de variação de 67,4% e 89,3%, respectivamente. Para as porcentagens na folha tratada o coeficiente de variação foi de 4,1%, o que indica serem estes parâmetros os mais consistentes no estudo da interação mencionada.

Tabella 9. Porcentagem de atividade de ^{32}P detectada nas diferentes partes da planta de 3 cultivares de arroz, em relação à atividade total absorvida, para 4 tratamentos aplicados via foliar (média de 3 repetições).

Parte	Cultivar	Tratamento				F _{1/2}
		MAP	DAP	MAP+Ureia	DAP+Ureia	
Folha Tratada	B. Precoce	a90,95a ^{2/}	a96,61a	a93,77a	a95,68a	ns
	Penatle	a94,03a	a97,99a	a93,27a	a76,49b	19,17aa
	L-45	a93,13ab	a93,49ab	a95,71a	b86,05b	3,69a
Parte Aérea	B. Precoce	a4,63a	a3,05a	a5,64a	a4,19a	ns
	Penatle	a5,24a	a1,89a	a5,50a	a17,28a	ns
	L-45	a6,01a	a5,53a	a3,96a	a10,93a	ns
Raiz	B. Precoce	a4,42a	a0,33b	a0,68b	b0,17b	6,18aa
	Penatle	b8,72b	a0,11b	a1,22b	a6,22a	11,69aa
	L-45	b4,85a	a8,98a	a0,35a	b3,01a	ns

1/ ns- Insignificativo ao nível de 1% de probabilidade
 a- Significativo ao nível de 5% de probabilidade
 ns- Não significativo.

2/ Letras colocadas à direita do número permitem comparar horizontalmente médias de diferentes tratamentos dentro da mesma cultivar, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras colocadas dentro do mesmo tratamento, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

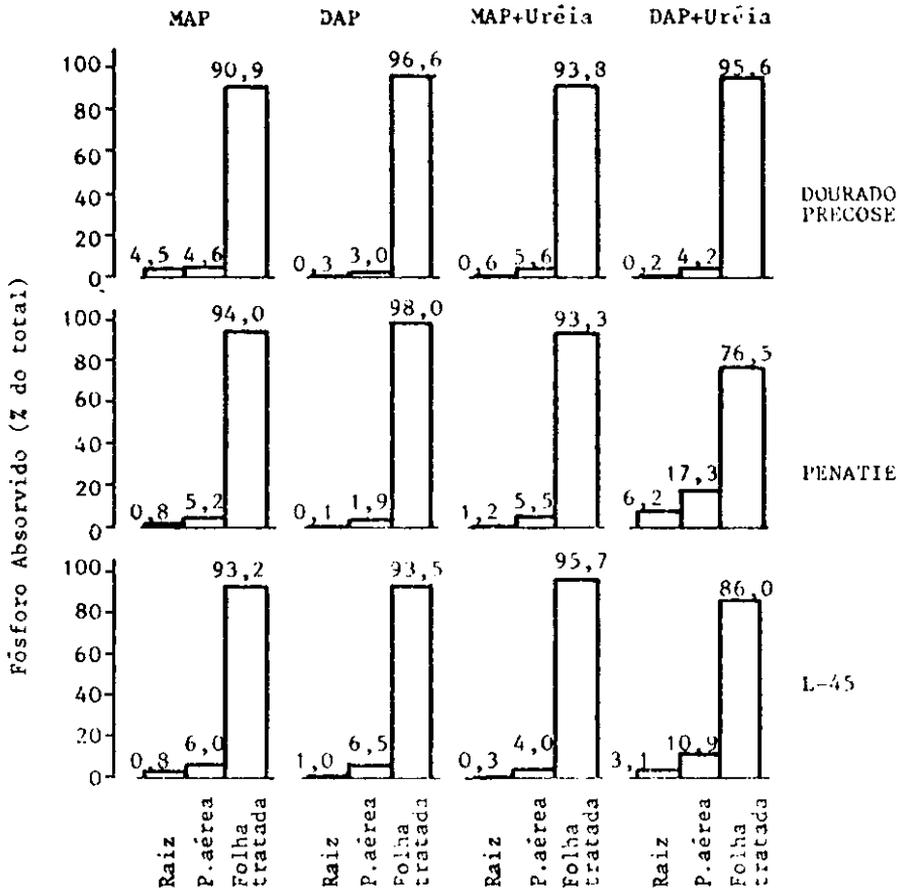


Figura 8. Determinação relativa de ^{32}P absorvido em diferentes partes da planta, para 3 cultivares de arroz, em função de 4 tratamentos aplicados via foliar.

CONCLUSÕES

A absorção radicular de ^{32}P , aumentou com o tempo de contato para os 3 cultivares, sendo maior para raízes da planta inteira, com exceção do cultivar L-45, no qual as raízes destacadas absorveram maior quantidade.

Para tempos de contato menores ou iguais a 30 minutos não houve diferença significativa entre cultivares na absorção de ^{32}P . Nos tempos de contato de 180 e 240 minutos, os 3 cultivares se apresentaram distintos, destacando-se a maior absorção do L-45 para raízes destacadas e do Dourado Precoce para as raízes da planta inteira.

As concentrações de ^{32}P na parte aérea para os 3 cultivares não aumentaram significativamente durante os tempos de contato testados, indicando dessa forma baixo transporte de ^{32}P para a parte aérea.

As velocidades de absorção de ^{32}P para raízes destacadas e raízes da planta inteira dos 3 cultivares de arroz, consideradas até o tempo de 180 minutos, atenderam a uma função linear e apresentaram valores maiores para os cultivares Dourado Precoce e L-45, sendo menores para o Penatie.

Para o tempo de contato de 180 minutos, a absorção radicular de ^{32}P somente diferiu entre os cultivares com concentrações iônicas externas de 10^3 e 10^4 $\mu\text{moles KH}_2^{32}\text{PO}_4/\text{l}$ para raízes destacadas e 10^4 $\mu\text{moles KH}_2^{32}\text{PO}_4/\text{l}$ para planta inteira. Nestes casos, o cultivar Penatie apresentou concentrações mais elevadas do elemento absorvido.

A absorção radicular do ^{32}P e o seu transporte para a parte aérea aumentaram para concentrações iônicas externas crescentes. Tanto para raízes destacadas como para planta inteira a absorção radicular do ^{32}P demons-

trou mecanismo duplo, nos 3 cultivares. Para todos os casos, a cinética de absorção apresentou duas isotermas distintas, uma para concentrações baixas (1 a 5 $\mu\text{moles KH}_2^{32}\text{PO}_4/1$) e outra para concentrações altas (10^2 a 10^4 $\mu\text{moles KH}_2^{32}\text{PO}_4/1$), com diferentes valores de km.

Na descrição da cinética de absorção radicular de ^{32}P , a equação transformada de Lineweaver & Burk se ajustou tanto para a faixa de baixas, como na faixa de altas concentrações iônicas externas. A equação transformada de Hofstee somente se ajustou à faixa de altas concentrações iônicas externas.

O cultivar Penatie demonstrou valores de km maiores em relação ao L-45 e ao Dourado Precoce, demonstrando menor afinidade de seu carregador no processo de absorção radicular do íon fosfato.

Para o tempo de contato de 180 minutos, o transporte de ^{32}P para a parte aérea foi pequeno, aumentando apenas na concentração de 10^4 $\mu\text{moles (KH}_2^{32}\text{PO}_4/1)$. Por isso, as concentrações de ^{32}P de raízes destacadas e raízes da planta inteira foram muito semelhantes.

A presença da uréia na solução externa aumentou a absorção de ^{32}P via foliar. O fosfato-mono-amônico (MAP) foi mais absorvido do que o fosfato-di-amônico (DAP), demonstrando que a absorção foliar de íon fosfato pelos cultivares testados pode ter sido aumentada pelo pH mais baixo da solução iônica externa.

Na média dos três cultivares, a solução contendo fosfato-di-amônico (DAP) e uréia proporcionou uma maior translocação do ^{32}P absorvido via foliar, da folha tratada para o restante da planta.

A translocação do ^{32}P absorvido via foliar foi maior no cultivar Penatie, seguido pelo L-45, sendo desprezível no Dourado Precoce, nas condições em que foi conduzido o experimento.

SUMMARY

STUDIES ON THE MINERAL NUTRITION OF RICE. XXIV.
ABSORPTION AND REDISTRIBUTION OF RADIOPHOSPHATE IN
THE VARIETIES L-45, Dourado Precoce AND Penatie

Root and leaf uptake of P^{32} was studied using upland rice cultivars, namely: L-45, Dourado Precoce and Penatie. Significant differences in absorption were observed among varieties. Except in the case of L-45 intact plants were able to absorb more phosphorus than excised roots. The dual mechanism of absorption was observed, one operating within the range of 1-5 μ moles in the external solution and the second one in that of 10^2 to 10^4 micromoles. When added to the solution of either monoammonium or diammonium phosphate urea increased foliar uptake. In the presence of the second source urea helped the transport to other organs of the plant. Highest rate of long distance transport was observed in the case of cv. Penatie, the lowest taking place in the variety Dourado Precoce.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ALAGARSWAMY, G. et alii, 1972. Analysis of response curves to increase phosphate concentration in intact rice and groundnut plants. In: I.A.E.A. eds. Isotopes and Radiation in Soil Plant Relationship including Forestry. Anais, Vienna, I.A.E.A. p. 87-94.
- EPSTEIN, E., 1975. **Nutrição Mineral de Plantas**. Tradução e notas de E.Malavolta. Ed. da Universidade de São Paulo. 344 p.
- EPSTEIN, E. e HAGEN, C.E., 1952. A kinetic study of the

- absorption of alkali cations by barley roots. **Plant Physiology**, 27:457-74.
- FISHER, J.D.; HANSEN, D. e HODGES, T.K., 1970. Correlation between ion fluxes and ion-simulated adenosine Triphosphatase activity in plant roots. **Plant Physiology**, 46:812-4.
- HAGEN, C.E. e HOPKINS, H.T., 1955. Ionic species in ortho phosphate absorption by barley roots. **Plant Physiology**, 30:193-9.
- HARRISON, S.J.; LEPP, N.W. e PHIPPS, D.A., 1981. Calculation of kinetic constants for ion uptake studies: a comparison of methods - in relation to their effects on data interpretation. **Journal of Plant Nutrition**, 3(1-4):181-92.
- HOAGLAND, D.R. e ARNON, D.I., 1950. The water culture method for growing plants without soil. **Calif. Agric. Expt. Sta Cir.** 347.
- HOAGLAND, D.R. e BROYER, T.C., 1936. General nature of the process of salt accumulation by roots with description of experimental methods. **Plant Physiology**, 11:471-507.
- HODGES, T.K., 1973. Ion absorption by plant roots. **Advances in Agronomy**, 25:163-207.
- LEONARD, R. e HODGES, T.K., 1973. Characterization of plasma membrane-associated adenosine tri-phosphatase activity of oat roots. **Plant Physiology**, 52:6-12.
- LOURENÇO, S.; CROCOMO, O.J.; NOGUEIRA, I.R. e MALAVOLTA, E., 1968. Kinetics studies of phosphorus uptake by excised roots of barley in the presence of magnesium. **An. Acad. Brasil. Ciênc.** 40(2):171-179.
- MALAVOLTA, E., 1980. **Elementos de nutrição mineral de**

plantas. Ed. Agron. Ceres. 251 p.

MALAVOLTA, E. et alii, 1977. Estudos sobre a nutrição mineral de sorgo granífero. VI. Absorção de fosfato por raízes destacadas de plantas de três variedades comerciais. **Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"**, 34: :383-406.

MALAVOLTA, E. et alii, 1979. Estudos sobre a nutrição mineral do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L) Moench) cv. Brands. II. Absorção e redistribuição do radio-fósforo. **Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"**, 36:203-229.

SINHA, S.B.; RASTOGI, A.K. e MAHAJAN, J.P., 1980. Uptake of fertilizer phosphorus by three rice varieties in a vertisol. **J. Nuclear Agric. Biol.** 9:139-140.

WITTEW, S. e TEUBNER, F.G., 1959. Foliar absorption of mineral nutrients. **Ann. Rev. Plant Physiol.** 10:13-32.

COLABORADORES

São Também autores deste trabalho os seguintes alunos de pós-graduação da disciplina LQI-860, Nutrição Mineral de Plantas, ano de 1983: A.P.da Silva, C.L.F.de Almeida, G.J.A.Dario, G.G.Barriga, I.C.de Maria, J.B.de Andrade, J.Brito Neto, J.R.Mendez B., M.P.Rosales, M.Farinazzo Fº, M.P.Carvalho, N.M.A.Silva, O.Franco, O.M.de Castro, R.Lorandi, S.A.Ribeiro e S.Cietto.