**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Eficiência nutricional de fontes de fósforo com solubilidade variável em água
em cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.)**

Gean Carlos Silva Matias

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas**

**Piracicaba
2006**

Gean Carlos Silva Matias
Engenheiro Agrônomo

**Eficiência nutricional de fontes de fósforo com solubilidade variável em água em cultivares
de arroz (*Oryza sativa* L.)**

Orientador:
Prof. Dr. LUÍS IGNÁCIO PROCHNOW

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas**

Piracicaba
2006

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Matias, Gean Carlos Silva

Eficiência nutricional de fontes de fósforo com solubilidade variável em água em cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) / Gean Carlos Silva Matias. - - Piracicaba, 2006. 93 p.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.

1. Arroz 2. Eficiência agrônômica 3. Fertilizantes fosfatados 4. Fósforo – Acumulação
5. Variedades vegetais I. Título

CDD 633.18

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Ao Deus todo poderoso e criador das nossas vidas, pela presença constante no meu coração, por guiar meus passos neste caminho, tão árduo e pela família maravilhosa que me concedeu.

OFEREÇO

Aos meus pais, Walter e Juracy, uma dádiva de Deus para minha vida, pela fé e esperança com que acreditaram na realização deste grande sonho, por toda demonstração incondicional de amor e carinho.

Aos meus irmãos, Reginaldo, Edcarlos e Kênia Cíntia, mesmo que distantes pelo incentivo e companheirismo em todos os momentos.

Aos meus avós, carinhosamente chamados de “Dindinho e Dindinha” grandes motivadores da minha carreira profissional.

A minha tia, Edna, pela ajuda nos momentos mais difíceis, nunca mediu esforço para colaborar com minha formação acadêmica.

A Karina Batista pelo carinho, compreensão e presença continua nesta fase da vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo por meio do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela oportunidade de realização do curso.

Ao meu orientador, Luís Ignácio Prochnow, por sua amizade, companheirismo, confiança e forma honesta de orientar, sempre pautado na coerência e ética; pelo apoio e incentivo na execução do projeto proposto, disposto a colaborar com seus ensinamentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Comissão de Pós-Graduação do curso de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP pela oportunidade concedida e pelos recursos financeiros fornecidos para realização deste trabalho.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa em Arroz e Feijão, pelo fornecimento das sementes de cultivares de arroz de terras altas, para a realização dos estudos.

Aos pesquisadores da EMBRAPA/CNPAP Dr. Nand Kumar Fageria e Dr. Orlando Peixoto de Moraes, pelas informações que auxiliaram na discussão dos resultados.

Aos amigos da Unitins Agro Pesquisa Agropecuária em Palmas-TO, Erich e Expedito pelo incentivo na realização deste trabalho.

Aos professores da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Manlio Silvestre Fernandes, Sônia Regina, Marcos Gervásio, Eduardo Lima, Everaldo Zonta, Welligton Mary, pela orientação inicial na graduação.

Ao grande amigo Dr. Nilton Nélcio Cometti pela forma brilhante com que repassou seus conhecimentos, pelo companheirismo e incentivo em seguir a carreira profissional.

À Escola Agrotécnica Federal de Araguatins – TO, em especial aos professores, José Marcílio, Miguel Camargo e Antônio Espit, fundamentais na minha formação inicial.

A uma grande amiga Alline Campos, pelas as palavras de incentivo e motivação.

Aos técnicos de laboratório do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas Luiz Silva, Fernando Baldesin, Lara, Nivanda, Néia, Lourdes e Lúcia pelo auxílio nas análises de laboratório durante o desenvolvimento do projeto.

Aos funcionários do Departamento de Solos da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Jackeline, Flávia, Silvia, Marta, Cristina, Vanda, Martinha, Luciana, Elisangela, Nancy, Udso, Marcos, Moisés, Anderson, Leandro, João, Sérgio, Dorival, Chico, Juruna, Lico e Jair e todos aqueles que de uma forma ou de outra sempre contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Adilson de Oliveira Júnior, pela distinta amizade e consideração, com que auxiliou o desenvolvimento deste trabalho, além de seu companheirismo em todos os momentos.

Aos amigos do curso de pós-graduação Graziela, Daniela, Eros, Francirose, José Geraldo, Camila, Aline, Rafaela, Maria Elda, Alessandra, Cristiane, Karina Batista, Carol, Fernanda, Gilberto, Jackson, Fabiano, José Olímpio, João Luis, Carlos Eduardo e Marcelo. Agradeço pelos momentos de alegria, amizade e convivência.

Aos estagiários do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Larissa e Jonnhy, pelo auxílio em várias etapas deste trabalho.

Aos amigos alunos da graduação, Roberta, Cíntia, Juliana e Josiane pela amizade e companheirismo.

Aos amigos que tive a oportunidade de conviver como uma verdadeira família, Pablo, Zaqueu, Juliano, José Wilson, Antônio e Salim. Obrigado por fazer da nossa casa um momento de descontração e alegria.

Aos amigos da minha querida “Rural” Lidiane, Aline, Cristiane, Michela, Gisele, Michele, Alice, Maxwell, André, Bucher, Adierison, Bruno, João Ricardo, José de Sá, Helson e Carlos Eduardo pelos momentos inesquecíveis.

Agradeço e compartilho o mérito desta com todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido. Não na vitória propriamente dita”.

Mahatma Gandhi

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
1 INTRODUÇÃO.....	11
Referências.....	14
2 EFICIÊNCIA NA ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO EM CULTIVARES DE ARROZ (<i>Oryza sativa</i> L.) TRADICIONAIS E MODERNOS.....	16
Resumo.....	16
Abstract.....	16
2.1 Introdução.....	17
2.2 Desenvolvimento.....	18
2.2.1 Revisão de Bibliográfica.....	18
2.2.1.1 Cultivares de arroz de terras altas tradicionais e modernos.....	18
2.2.1.2 Eficiência na absorção e utilização de fósforo.....	21
2.2.2 Material e Métodos.....	26
2.2.2.1 Seleção de cultivares para experimento em casa-de-vegetação.....	26
2.2.2.2 Caracterização do solo.....	27
2.2.2.3 Condução dos experimentos em casa-de-vegetação.....	28
2.2.2.4 Análises dos dados.....	29
2.2.3 Resultados e Discussões.....	31
2.2.3.1 Análise da variância e contrastes.....	31
2.2.3.2 Produção de matéria seca da parte aérea.....	33
2.2.3.3 Eficiência na absorção de fósforo.....	36
2.2.3.4 Eficiência na utilização de fósforo.....	39
2.2.3.5 Diagrama de eficiência na utilização de fósforo pelos cultivares de arroz.....	40
2.3 Conclusões.....	43
Referências.....	44
3 EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES DE FÓSFORO EM CULTIVARES DE ARROZ (<i>Oryza sativa</i> L.) TRADICIONAIS E MODERNOS.....	51
Resumo.....	51

Abstract	51
3.1 Introdução	52
3.2 Desenvolvimento	54
3.2.1 Revisão de Bibliográfica	54
3.2.1.1 Fósforo nos solos do cerrado	54
3.2.1.2 Eficiência agrônômica de fontes alternativas de fósforo	55
3.2.2 Material e Métodos	59
3.2.2.1 Caracterização do solo	59
3.2.2.2 Caracterização das fontes de fósforo	60
3.2.2.3 Cultivares de arroz utilizados no experimento	60
3.2.2.4 Condução do experimento em casa de vegetação	61
3.2.2.5 Análise dos dados	62
3.2.3 Resultados e discussão	63
3.2.3.1 Análise da variância	63
3.2.3.2 Produção de matéria seca pelos cultivares de arroz	64
3.2.3.3 Absorção de fósforo pelos cultivares de arroz	68
3.3 Conclusões	75
Referências	75
APÊNDICES	82

RESUMO

Eficiência nutricional de fontes de fósforo com solubilidade variável em água em cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.)

Cultivares de arroz variam quanto à capacidade de absorver e utilizar fósforo em solos deficientes neste nutriente. O melhoramento genético é realizado em condições ótimas de fertilidade, sendo possível que alguns dos materiais genéticos modernos apresentem perdas ou diminuição na capacidade de absorver P. A eficiência agrônômica das fontes é influenciada por diversos fatores, dentre eles a espécie vegetal. Cultivares de arroz tradicionais podem apresentar mecanismos que possibilitam maior eficiência das fontes de menor solubilidade. O presente trabalho constou de dois estudos, ambos realizados em casa-de-vegetação do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP: (i) avaliação da eficiência de absorção e utilização de fósforo por cultivares de arroz de terras altas tradicionais e modernos, no qual nove cultivares de arroz de terras altas foram utilizados, sendo cinco tradicionais (Caiapó, Carajás, IAC 47, Bico Ganga e Guarani) e quatro modernos (Bonança, Curinga, Vencedora e Primavera), e (ii) avaliação da eficiência agrônômica de fontes de fósforo com solubilidade variável em água em cultivares de arroz, no qual quatro cultivares de arroz, sendo dois tradicionais (Bico Ganga e Guarani) e dois modernos (Bonança e Primavera) interagiram com quatro fontes de P (fosfato monocálcico - FMC, termofosfato - Termo, multifosfato magnésiano - MFM e fosfato natural de Arad - FN). Em ambos os estudos foram utilizadas amostras de um Latossolo Vermelho Amarelo, sendo aplicadas duas doses de P, 25 e 100 mg kg⁻¹, mais o controle. Cada tratamento foi repetido três vezes em um delineamento de blocos ao acaso. No estudo 1 o objetivo foi avaliar cultivares de arroz de terras altas tradicionais e modernos quanto à eficiência de absorção e utilização de fósforo, tendo como hipótese que o processo de melhoramento não conduz necessariamente a materiais genéticos de menor eficiência de utilização de P. Os resultados obtidos com o cultivar moderno Curinga para eficiência de absorção e utilização de fósforo, bem como pelo quadrante de eficiência, permite concluir que o processo de melhoramento genético não afeta necessariamente os mecanismos para eficiência e reposta a aplicação de fósforo. No estudo 2 o objetivo foi avaliar a eficiência agrônômica relativa de fontes de fósforo com solubilidade variável em água em cultivares de arroz tradicionais e modernos, tendo como hipótese que fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade apresentam elevada eficiência agrônômica relativa para cultivares de arroz tradicionais, quando comparados aos modernos. Os resultados obtidos indicaram que considerando as doses aplicadas, a EAR das fontes de baixa solubilidade varia de acordo com os cultivares, independentemente de ser tradicional ou moderno.

Palavras-chave: Fertilizantes fosfatos; Arroz de terras altas; Cultivares tradicionais e modernos; Eficiência agrônômica; Fósforo acumulado.

ABSTRACT

Nutritional effectiveness of phosphorus sources varying in water solubility for cultivars of upland rice (*Oryza sativa* L.)

Cultivars of upland rice may vary in terms of absorption and utilization of phosphorus in soils deficient in this nutrient. Breeding is generally performed in optimal conditions of soil fertility leading to the possibility that new cultivars decrease their condition to absorb and utilize P. The agronomic effectiveness of P sources is related to many aspects, among those the crop specie. Cultivars of traditional upland rice may present mechanisms leading to higher effectiveness of P sources containing low water solubility. This study consisted of two greenhouse experiments conducted at the Department of Soil and Plant Nutrition, ESALQ/USP: (i) *evaluation of the absorption and utilization of P by nine cultivars of upland rice* (five traditional cultivars - Caiapó, Carajás, IAC 47, Bico Ganga e Guarani - and four modern cultivars - Bonança, Curinga, Vencedora e Primavera), and (ii) *evaluation of the agronomic effectiveness of P sources varying in water solubility for traditional and modern cultivars of upland rice*, in which four cultivars (two traditional - Bico Ganga and Guarani - and two modern - Bonança and Primavera) interacted with four P sources (monocalcium phosphate - MCP, termophosphate - Termo, magnesium multiphosphate - MMP and Arad phosphate rock - PR). Samples of a Red Yellow Latosol, with the addition of 25 and 100 mg P kg⁻¹ plus the control, were utilized in both experiments. Each treatment was repeated three times with the experimental design as blocks. In experiment 1 the objective was to evaluate traditional and modern cultivars of upland rice as related to their effectiveness in terms of absorption and utilization of P, with the hypothesis that breeding not necessarily lead to materials with lower effectiveness. The results obtained for the modern cultivar Curinga confirm the hypothesis once its effectiveness was higher as compared to traditional cultivars. In experiment 2 the objective was to evaluate the relative agronomic effectiveness (RAE) of P sources varying in water solubility for traditional and modern cultivars, with the hypothesis that P sources with low water solubility may present higher agronomic effectiveness when applied to traditional as compared to modern cultivars. The results showed that the RAE of the P sources with low water solubility varied among cultivars but not related to the fact if traditional or modern, thus denying belief in literature.

Keywords: Phosphate fertilizers; Upland rice; Modern and traditional cultivars; Agronomic effectiveness; P uptake by plants.

1 INTRODUÇÃO

A cultura do arroz apresenta grande importância social, pois participa da dieta básica de mais 50 % da população mundial. Os países asiáticos China e a Índia são os maiores produtores e consumidores de arroz do mundo. Os sistemas de cultivo de arroz de terras altas e arroz irrigado juntos somam 45 % da área global de arroz (INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE - IRRI, 1993). Estima-se que até o ano de 2030 haverá um aumento na demanda de 70 % de arroz, sendo que pelo menos 30 % poderá ser suprido pelo arroz irrigado (SCOBIE et al., 1993). Entretanto o arroz de terras altas está crescendo anualmente cerca de 18 milhões de ha no mundo, sendo 10,5 milhões de ha na Ásia, 3,7 milhões de ha na América Latina e 3,8 milhões de ha na África (IRRI, 1999).

O cultivo de arroz no Brasil é realizado basicamente em dois ecossistemas chamado de arroz irrigado e arroz de terras altas¹, também conhecido como arroz aeróbico, referindo à cultura de arroz plantado em áreas bem drenadas geralmente não sistematizadas, sendo totalmente dependente da precipitação natural para o suprimento de água (FAGERIA, 1989). A média de produtividade do arroz de terras altas é cerca de 2000 kg ha⁻¹, enquanto que o arroz irrigado está ao redor de 5000 kg ha⁻¹. O que explica esta diferença está relacionado à instabilidade dos fatores ambientais e a deficiência generalizada de nutrientes principalmente de P nos solos onde o arroz de terras altas é cultivado. Sua produtividade é baixa, porém por outro lado, em áreas favorecidas, com uso de tecnologia, existe possibilidade de conseguir produtividades superiores a 3.000 kg ha⁻¹. Além disso, o lançamento de cultivares de arroz de terras altas modernas, cujos grãos são classificados como fino-longo, criou condições competitivas favoráveis para este tipo de arroz em relação ao arroz de várzea. Além disso, baixos custos de produção, aliados às dificuldades de se adotar um sistema de irrigação, fazem com que o sistema continue dominando as áreas de produção desta cultura (FAGERIA, 2001a, 2001b).

Arroz de terras altas é geralmente cultivado em solos de baixa fertilidade e com pouca aplicação de calcário e fertilizantes. A deficiência de P associada à elevada fixação e severa acidez do solo, tem sido identificado como um dos fatores mais limitantes na produção do arroz de terras em solos altamente intemperizados, tornando baixa a taxa de recuperação de P nesses

¹ Denominação em substituição ao termo arroz de sequeiro. Estratégia para resgatar a credibilidade desse sistema de cultivo, passando a ser utilizado com bases tecnológicas, visando apagar o estigma de que esse cultivo faz parte de uma agricultura itinerante, ligada a abertura de novas áreas para posterior cultivo de soja ou atividade pecuária, mostrando que é possível inserir essa cultura de forma competitiva no agronegócio brasileiro (FERREIRA; YOKOIAMA, 1999).

solos (GUPTA; O'TOOLE, 1986). A otimização da eficiência nutricional tem grande importância na produção das culturas nestes solos, devido a custos com fertilizantes, que são imprescindíveis para o aumento da produtividade. Na agricultura convencional, esse custo contribui em média com aproximadamente 30 % do custo total de produção. Os fertilizantes passam, assim, a exigir maior dispêndio de investimento das atividades, merecendo, portanto, atenção especial com referência ao seu uso visando melhor aproveitamento pelas culturas (FAGERIA et al., 2004). Considerando a baixa eficiência dos fertilizantes fosfatados, algumas práticas de manejo devem ser adotadas para aumentar sua eficiência, dentre elas destacam-se: (i) aplicação de doses adequadas; (ii) uso de cultivares eficientes, (iii) uso de fontes apropriadas (FAGERIA; STONE; SANTOS, 1999).

A seleção de melhores genótipos adaptados a condições de solos adversos tem apresentado grande contribuição para o aumento da produtividade da cultura do arroz. Este aumento tem sido atribuído ao melhoramento genético associado a adequadas práticas de manejo. Diferenças entre cultivares de arroz de terras altas quanto à eficiência de absorção e utilização de P foram comprovadas em solos tanto em baixo como em elevado nível deste nutriente (FAGERIA et al., 1988). A quantidade necessária de P pode ser reduzido devido à utilização de genótipos eficientes. De acordo com Loneragan (1978), a diferença entre cultivares na capacidade de absorver P do solo é devido à pelo menos três atributos distintos: (i) capacidade fisiológica para absorver P de soluções diluídas, (ii) atividade metabólica resultando na exsudação de ácidos orgânicos que promovem a solubilização do P adsorvido e (iii) capacidade do sistema radicular em explorar um maior volume de solo.

Dentre as fontes de fósforo utilizadas na agricultura, os fosfatos solúveis representam quase 90 %. Estes são obtidos a partir do tratamento de rochas fosfáticas com ácidos, e têm como principais representantes os superfosfatos e fosfatos de amônio, os quais apresentam elevada solubilidade em água. O procedimento industrial envolvido em sua obtenção concorre para elevar os custos dessas fontes. Adicionalmente, são mais suscetíveis às reações de fixação no solo quando comparados aos fosfatos naturais reativos. Nos últimos anos tem se verificado um aumento significativo na utilização de fosfato natural reativo, sendo explicado pela substituição do fosfato na forma de pó pela farelada o que facilita a aplicação, outra razão é que em algumas regiões do país observa-se um menor custo apresentado por unidade de P_2O_5 em comparação com os fosfatos acidulados (HOROWITZ, 1998). Esta tendência estimulou a retomada por pesquisas

sobre a viabilidade do uso de fosfatos naturais reativos como fonte supridora de P as plantas cultivadas. Diversos trabalhos foram conduzidos no Brasil com o objetivo de avaliar a eficiência agronômica destes fosfatos.

Os cultivares de arroz apresentam variações quanto à eficiência de absorver e utilizar fósforo em solos pobre neste nutriente. O processo de melhoramento geralmente é realizado em condições ótimas de fertilidade, com isso cultivares de arroz modernos podem no processo de seleção perder ou diminuir a capacidade para maior adaptação a solos menos férteis. Os cultivares de arroz do tipo tradicional, apesar de serem menos produtivos, e com menor qualidade de grãos, podem apresentar características de interesse para o melhoramento genético.

Fontes de fósforo de elevada solubilidade elevam os custos de produção, tornando necessárias pesquisas com fontes alternativas. É possível que para alguns cultivares de arroz a eficiência agronômica de fontes de baixa solubilidade, seja semelhante aos fosfatos solúveis. Cultivares eficientes na absorção de fósforo podem contribuir para otimizar a eficiência nutricional de fontes alternativas.

Os objetivos deste estudo foram:

- Avaliar cultivares de arroz de terras altas tradicionais e modernos quanto à eficiência de absorção e utilização de fósforo.
- Avaliar a eficiência agronômica relativa de fontes de fósforo com solubilidade variável em água em cultivares de arroz tradicionais e modernos.

As hipóteses testadas foram:

- O processo de melhoramento genético para obtenção de cultivares modernos necessariamente não conduz a materiais genéticos com menor eficiência na absorção e utilização de fósforo.
- Fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade apresentam maior eficiência agronômica relativa para cultivares de arroz tradicionais quando comparados aos modernos.

Referências

FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA, CNPAF, 1989. 425 p. (EMBRAPA.CNPAF. Documentos, 18).

FAGERIA, N.K. Nutrient management for improving upland rice productivity and sustainability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, p.2603-2629, 2001a.

FAGERIA, N.K. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, p. 416-424, 2001b.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F.; SANTOS, A.B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 294 p.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M. Nutrição de fósforo na produção de arroz de terras altas. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, São Pedro. **Anais ...** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2004. cap 15, p. 401-418.

FAGERIA, N.K.; MORAES, O.P.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, J. Response of rice cultivars to phosphorus supply on na oxisol. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 16, p.195-206, 1988.

FERREIRA, C.M.; YOKOYAMA, L.P. **Cadeia produtiva do arroz na região Centro-Oeste**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 110 p.

HOROWITZ, N. **Eficiência de dois fosfatos naturais afetados pelo tamanho de partícula**. 1998. 68 p. (Tese de Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

GUPTA, P.C.; O'TOOLE, J.C. **Upland rice: a global perspective**. Los Baños: IRRI, 1986. 358 p.

INTERNATION RICE RESEARCH INSTITUTE. **Rice Almanac**. Los Baños, 1993. 253 p.

INTERNATION RICE RESEARCH INSTITUTE. **Program Report for 1998**. Los Baños, 1999. 267 p.

LONERAGAN, J.F. The physiology of plant tolerance to low phosphorus availability. In: JUNG G.A. (Ed.). **Crop tolerance to suboptimal land conditions**. Madison: American Society of Agronomy, 1978. p. 329-343. (Special Publication, 32).

SCOBIE, G.M.; McDONALD, D.; WILLEY, R. **Investment in rice research in the CGIAR: a global perspective**. Rome: FAO, 1993. 67 p.

2 EFICIÊNCIA NA ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO EM CULTIVARES DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) TRADICIONAIS E MODERNOS

Resumo

O presente trabalho constou de um experimento realizado em casa-de-vegetação do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP. O experimento foi conduzido em vasos com 3 kg de terra de um Latossolo Vermelho Amarelo, com baixo teor de P (3 mg dm^{-3}). As doses de P aplicadas foram 25 e 100 mg kg^{-1} , mais o controle. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, sendo cada tratamento repetido três vezes. Nove cultivares de arroz de terras altas foram utilizados, sendo tradicionais (Caiapó, Carajás, IAC 47, Bico Ganga e Guarani) e modernos (Bonança, Curinga, Vencedora e Primavera). Este experimento teve como objetivo avaliar cultivares de arroz de terras altas tradicionais e modernos quanto à eficiência de absorção e utilização de fósforo, tendo como hipótese que o processo de melhoramento não conduz necessariamente a materiais genéticos de menor eficiência de utilização de P. Os resultados indicaram que os cultivares de arroz tradicionais e modernos apresentam diferenças quanto à capacidade de absorver e utilizar fósforo em solos deficientes neste nutriente, sendo que os cultivares mais eficientes na absorção tiveram maior produção de matéria seca. Os cultivares tradicionais Caiapó, Bico Ganga e Guarani apresentaram maior eficiência na absorção de fósforo quando comparados aos cultivares modernos, exceção feita ao cultivar moderno Curinga. Os resultados obtidos com o cultivar moderno Curinga para eficiência de absorção e utilização de fósforo, bem como pelo quadrante de eficiência, permite concluir que o processo de melhoramento genético não conduziu a menor eficiência à aplicação de fósforo para este cultivar. O estudo da nutrição da planta associado ao programa de melhoramento genético pode potencializar a eficiência na absorção e utilização de nutrientes pelas culturas. Novos estudos devem ser realizados com um número maior de cultivares tradicionais e modernos.

Palavras-chave: Fósforo acumulado; Fertilizantes fosfatos; Arroz de terras altas.

Efficiency in the absorption and utilization of phosphorus in traditional and modern cultivars of upland rice

Abstract

The study consisted in a greenhouse experiment conducted at the Department of Soil and Plant Nutrition, ESALQ/USP. The soil was a Red Yellow Latosol with a very low content of P (3 mg dm^{-3}). The rates of P applied were of 25 and 100 mg P kg^{-1} , plus the control. Each treatment was repeated three times having blocks as the experimental design. Nine cultivars of upland rice were selected, with five traditional (Caiapó, Carajás, IAC 47, Bico Ganga and Guarani) and four modern (Bonança, Curinga, Vencedora and Primavera). The experiment aimed to evaluate traditional and modern cultivars of upland rice as related to their effectiveness to absorb and

utilize P, with the hypothesis that breeding does not necessarily lead to materials with lower effectiveness. The results showed that the cultivars differed greatly in their effectiveness, with in general higher absorption leading to higher dry-matter yield. The traditional cultivars Caiapó, Bico Ganga and Guarani showed higher effectiveness in terms of P absorption as compared to the modern cultivars. The modern cultivar Curinga consisted of an exception once presented higher effectiveness as compared to the traditional cultivars. The results thus confirm the initial hypothesis so that some modern cultivars may still present high effectiveness in terms of absorption and utilization of phosphorus. New studies should be developed with a higher number of cultivars.

Keywords: P uptake; Phosphate fertilizers; Upland rice.

2.1 Introdução

Dentre os cereais cultivados no Brasil, a cultura do arroz ocupa o segundo lugar, superado apenas pelo milho. Basicamente dois ecossistemas são utilizados para o cultivo, sendo o arroz irrigado e o arroz sequeiro, atualmente denominado de arroz de terras altas. Ao longo dos anos estes dois sistemas tem apresentados oscilações quanto á área cultivada. No início do século passado houve grande expansão nas áreas de lavouras irrigadas no Estado do Rio Grande do Sul, porém na década de 60 ocorreu uma crise neste sistema, com isso o arroz de terras altas produzido na região central do País passou a ocupar um lugar de destaque na produção nacional. Na década de 70 o arroz irrigado passou a dominar a preferência do consumidor devido a melhor qualidade de grãos. Por outro lado, no início deste período foi desencadeado um processo de ocupação do cerrado, fazendo com que o arroz de terras altas fosse a cultura mais plantada na região, ocupando uma área superior a 4,5 milhões de hectares no ano 1987. Entretanto alguns problemas como instabilidade na produção e redução da fronteira agrícola provocou decréscimo gradual da área plantada com arroz nesse sistema, ocupando, então, menos de dois milhões de hectares nos últimos anos (GUIMARÃES; SANT'ANA, 1999).

Diante desse panorama, o Programa Nacional de Pesquisa de Arroz adotou como diretriz o estímulo ao cultivo de arroz de terras altas em regiões favorecidas. Este planejamento proporcionou menores riscos e, conseqüentemente, motivou os produtores a adotarem práticas agrícolas que melhorassem o nível tecnológico das lavouras. A grande realização da pesquisa nesse sentido foi o lançamento de cultivares com tipo de planta mais moderno e, sobretudo, com grãos de melhor aparência e qualidade, resultando em significativa melhora da produtividade. Um dos impactos mais visíveis da pesquisa que contribuíram para o alto desempenho da

produtividade do arroz de terras altas, diz respeito à alteração da arquitetura da planta. Cultivares tradicionais altas (130 a 140 cm) com folhas largas e decumbentes foram substituídos por cultivares modernos com folhas estreitas e eretas, de altura intermediária (90 a 100 cm) e menos suscetíveis ao acamamento (PINHEIRO; STONE; SILVA, 2000).

Os cultivares modernos são mais produtivos quando comparados aos tradicionais, entretanto são menos adaptados a condições adversas de solo e clima. Cultivares de arroz de terras altas adaptados a solos de baixa fertilidade têm sido identificados na América Latina e Oeste da África. Aqueles obtidos nesta região apresentaram menor resposta para solos de melhor fertilidade (ZEIGLER et al., 1995). A avaliação dos cultivares geralmente é feita em solos com baixo e elevado teor de nutrientes e tipicamente somente aqueles que combinam adaptação e responsividade para melhores condições de solos e outras características desejáveis são selecionados.

Os solos da região tropical são caracterizados pela elevada acidez e deficiência nutricional limitando a produtividade das culturas. Os exemplos neste sentido são os solos do Cerrado Brasileiro que, em condições naturais, são pobres em nutrientes, principalmente o fósforo. A cultura do arroz de terras altas parece ser bem adaptada aos solos do cerrado e têm se mostrado eficiente na absorção e utilização de fósforo em solos pobres nesse nutriente (FAGERIA et al., 1988; GARRITY; MAMARIL; SOEPARDI, 1990). Neste contexto a otimização desta eficiência é de grande importância devido ao custo dos fertilizantes, imprescindíveis para o aumento da produtividade. Resultados de pesquisas têm demonstrado que existem diferenças entre cultivares da mesma espécie quanto à eficiência de absorção e utilização de fósforo. Este estudo visa avaliar cultivares de arroz quanto à capacidade de absorver e utilizar o fósforo e ainda verificar se o processo de melhoramento conduz necessariamente a materiais de menor eficiência de utilização de fósforo.

2.2 Desenvolvimento

2.2.1 Revisão de Bibliográfica

2.2.1.1 Cultivares de arroz de terras altas tradicionais e modernos

Os cultivares de arroz modernos desenvolvidas pelo “International Rice Research Institute (IRRI)” apresentam características morfológicas tais como: colmo curto e resistente, folhas

pequenas, estreitas e bem eretas, tem boa capacidade de perfilhamento, apresentando alto índice de colheita. A diminuição no tamanho das plantas previne o acamamento, o que é sempre um problema em culturas bem conduzidas com boa disponibilidade de água e nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo (FERREIRA, YAMADA; MALAVOLTA, 1983).

As folhas eretas são características importantes tanto para cultivares altamente produtivos de arroz como para cultivares de trigo, cevada ou aveia. Folhas menores são importantes não só porque folhas compridas tendem a dobrar, como também pelo fato de que elas podem se arranjar de maneira mais equilibrada na copa. Já os cultivares tradicionais de terras altas, não apenas as nacionais, mas inclusive as que fazem parte da coleção do IRRI, em geral são de porte médio a grande, tem folhas maiores e mais largas, caídas, perfilham menos e tem menor relação grão/palha (FERREIRA, YAMADA; MALAVOLTA, 1983). Em relação ao perfilhamento, dois aspectos são considerados: (i) o arranjo espacial dos perfilhos e (ii) a capacidade de perfilhar. O primeiro está relacionado à disposição vertical dos perfilhos sendo preferido em relação ao perfilhamento aberto, quanto ao segundo embora desejável, não é essencial, pois densidades de plantio mais elevadas permitem aumentar o índice de área foliar de um cultivar com pouca capacidade de perfilhamento (FERREIRA, YAMADA; MALAVOLTA, 1983).

A capacidade média de perfilhamento é, geralmente, desejável para uma cultivar com alta capacidade produtiva (BEACHELL; JENNINGS, 1965); entretanto, para as condições de distribuição hídrica irregular, a estabilidade produtiva dos cultivares demanda perfilhamento baixo a moderado, raízes profundas e finas, entre outras características, que lhe conferem adaptação a estresses hídrico ou veranico. Por outro lado, para as condições favoráveis, acredita-se que genótipos perfilhadores têm vantagem por adaptarem-se a vários espaçamentos e densidades de plantio, e ainda, compensarem a semeadura irregular (YOSHIDA, 1981).

Em se tratando de programas de melhoramento genético, deve ser ressaltado que um dos objetivos sempre presentes é o aumento de produtividade dos cultivares. A cultura do arroz de terras altas, além de apresentar menor rendimento médio que os demais sistemas de cultivo (várzea úmida e irrigado), caracteriza-se por sua maior variação na produtividade ao longo das regiões e dos anos. Essa diferença na estabilidade de rendimento é atribuída à deficiência hídrica nesse sistema de cultivo durante os veranicos, cuja duração varia entre as regiões produtoras (SOARES; MORAES; SOARES, 1987).

A seleção de cultivares de terras altas tem na resistência a déficits hídricos uma das principais metas. Os cultivares devem apresentar sistemas radiculares mais profundos e desenvolvidos, com elevada proporção de raízes finas e longas (FERREIRA, YAMADA; MALAVOLTA, 1983).

Em geral, os cultivares tradicionais são plantas altas sendo, portanto, mais propensos ao acamamento, embora haja exceções. O acamamento depende não só da altura, mas também do diâmetro e resistência do colmo, do nível de adesão das bainhas aos entrenós, da produtividade e de fatores ambientais, como a intensidade dos ventos e a disponibilidade de água. Entre outros prejuízos, o acamamento causa diminuição do rendimento da colheita, aumento do custo desta operação, perda de grãos no solo e redução da qualidade do produto.

Com o plantio do arroz em ambientes favorecidos quanto ao clima e solo, e com o uso mais intensivo de tecnologia, o melhoramento genético passou a buscar cultivares modernos fisiologicamente mais eficientes, produtivos e menos suscetíveis ao acamamento. Os cultivares com essas características são geralmente de porte mais baixo e de folhas eretas, mais eficientes no uso da energia solar. Por outro lado, os cultivares tradicionais que geralmente apresentam maior altura também têm seus aspectos positivos. O principal deles é que, por serem normalmente mais competitivas com plantas daninhas, o manejo de herbicidas torna-se mais fácil. Para plantio consorciado com forrageiras devem ser preferidos os cultivares de porte alto, pois os de porte baixo sofrem maior competição e conseqüente redução de produtividade (FERREIRA, YAMADA; MALAVOLTA, 1983). Plantas altas são também mais preferidas pelos agricultores de subsistência, entre outras razões, pela facilidade da colheita manual. Neste contexto, Verma, Chahal e Murty (1978), consideraram que um genótipo ideal deve apresentar produtividade e estabilidade elevadas, pouca sensibilidade às condições adversas de solo e clima e capacidade de responder satisfatoriamente à melhoria de ambiente.

Segundo Ferreira, Sousa e Villar (2005) o índice de adoção de um cultivar tradicional ou moderno está relacionado às questões agronômicas e de qualidade dos grãos. Quanto as primeiras, são observados os itens produtividade, tolerância a pragas e doenças, arquitetura da planta, maturação, adaptação a condições adversas e disponibilidade de sementes. Quanto à qualidade, são observados o tipo do grão, preferencialmente longo fino, atributos culinários, maturação e pós-colheita. O conjunto desses fatores determina a aceitação ou a rejeição de um cultivar, tanto pelos produtores, quanto pela agroindústria e os consumidores. De acordo com os

mesmos autores, os cultivares de arroz de terras altas têm conseguindo atender, de forma parcial, essas demandas, contribuindo para que a cultura se tornasse mais competitiva em relação ao arroz irrigado dos estados da região Sul.

Ferreira, Sousa e Villar (2005), dividiram o melhoramento de cultivares de arroz de terras altas em três fases. A primeira foi caracterizada pela utilização de cultivares de grãos longos, como a IAC 47, IAC 25, Cuiabana, Araguaia e Guarani. Na segunda fase ainda persiste a maior participação dos cultivares de grãos longos, com destaque para a larga utilização do cultivar Guarani, mas observa-se o cultivo dos primeiros cultivares com grãos longos finos de arroz de terras altas, com destaque para a variedade Caiapó. A terceira fase consistiu no uso dos cultivares de grãos longo finos, com qualidades físicas próximas aos cultivares de arroz irrigado do Sul. Destacam-se a Primavera, Maravilha, Confiança, Carisma e IAC 202. Assim, a partir desta fase, a diferença de preços entre o arroz irrigado e o de terras altas diminuiu.

Apesar dos cultivares tradicionais terem cedido espaço para os cultivares modernos com maior potencial produtivo e melhor qualidade de grãos, novas pesquisas vêm sendo realizadas pela Embrapa – CNPAF, objetivando resgatar características de interesse em cultivares tradicionais, tais como adaptação a condições adversas de solo, clima e tolerância a pragas e doenças (MORAIS² comunicação pessoal).

2.2.1.2 Eficiência na absorção e utilização de fósforo

A eficiência nutricional expressa a relação entre a produção obtida e insumos aplicados, ou seja, a quantidade de matéria seca ou grãos produzidos por unidade de nutriente aplicado. De acordo com Graham (1984), esta eficiência pode ser definida como a produção relativa de um genótipo em solo deficiente em comparação com sua produção no nível ótimo de nutrientes. Cooke (1987), define a eficiência nutricional como o aumento de produtividade por unidade de nutriente aplicado. Israel e Rufty Júnior (1988), afirmam que eficiência nutricional é a relação entre a biomassa total e a quantidade de nutriente absorvido. Às vezes a eficiência nutricional é também chamada de eficiência de absorção (BAILIAN; McKEAD; ALLEN, 1991). A eficiência de absorção é a quantidade de nutriente absorvido por unidade de matéria seca de raízes (MARTINEZ et al., 1993).

² MORAIS O.P. de. Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa em Arroz e Feijão (EMBRAPA/CNPAF).

A eficiência nutricional é expressa de várias maneiras diferentes na literatura. Porém as três mais comuns são: (i) eficiência agrônômica, que é a produção obtida por unidade de nutriente aplicado; (ii) a eficiência fisiológica, que é a produção biológica obtida (grãos e palha) por unidade de nutriente acumulado; e (iii) eficiência de recuperação do nutriente aplicado, que é a quantidade nutriente de acumulado na planta por unidade de nutriente aplicado (FAGERIA et al., 2004). Todos os tipos de eficiência expressos acima são influenciados por tipo de solo, prática de manejo da adubação e cultivares plantados. Em média a eficiência agrônômica na cultura de arroz de terras altas está na faixa de 20 a 30 kg de grãos produzidos por kg de P aplicado. A eficiência de recuperação é menor do que 10 % em solos de Cerrado. A eficiência fisiológica para arroz de terras altas geralmente fica em torno de 360 kg grãos por kg de P acumulado (FAGERIA et al., 2004).

Em consequência da crescente demanda e elevação dos preços dos fertilizantes, nos últimos anos tem se intensificado a busca de novas tecnologias, que possibilitem a obtenção de cultivares de arroz adaptados a condições nutricionais adversas, sendo esta a maneira mais econômica de reduzir os custos de produção dessa cultura, especialmente nas condições do cerrado (CLARK; DUNCAN, 1991; FAGERIA, 1992). As alternativas seriam: (i) aumentar o potencial genético das plantas na absorção e utilização de nutrientes (ii) melhorar o manejo dos solos e fertilizantes, possibilitando o máximo aproveitamento dos nutrientes e (iii) utilizar fontes alternativas de fertilizantes que apresentem elevada eficiência agrônômica e baixo custo.

Pouca atenção tem sido dado na avaliação de cultivares de arroz, quanto à eficiência de utilização de fósforo em solos com baixa disponibilidade deste nutriente, as razões são: (i) a adaptação varietal para solos com baixo nível de fósforo tem sido considerada como parte da adaptação do arroz a locais específicos de baixa fertilidade; (ii) os pesquisadores somente agora reconheceram a variação genética dos cultivares para sua adaptação às condições de deficiência de nutrientes como uma possível estratégia para resolver o problema dos solos adversos; (iii) as maiores adversidades dos solos têm sido relacionadas com problemas a serem corrigidos com fertilizantes e corretivos e não através de adaptação varietal (FAGERIA; BARBOSA FILHO, 1981).

Os programas de melhoramento genético têm dado pouca importância para a obtenção de cultivares com maior eficiência na absorção e utilização dos nutrientes, sendo realizados em condições ótimas de fertilidade. Entretanto, o programa de avaliação e utilização genética do

IRRI para a cultura do arroz tem dado enfoque organizado internacionalmente para obtenção desses materiais genéticos.

Estudos mostram que a absorção e utilização de nutriente pelos cultivares são controladas geneticamente (CLARK; DUNCAN, 1991). Os autores citam também que existe a possibilidade de melhorar a eficiência de absorção e utilização de nutrientes tanto em baixo como em elevado nível de fertilidade por meio da seleção de plantas eficientes. Um exemplo nesse sentido é o desenvolvimento de germoplasma de trevo com maior capacidade de absorção e utilização de fósforo (DUNLOP et al., 1990).

De acordo com Fageria et al. (1988), existe variabilidade genética entre espécies e cultivares de uma mesma espécie na absorção e utilização de nutrientes. Numerosas evidências de variações entre espécies foram comprovadas quanto à eficiência das plantas crescerem em ambientes nutricionais adversos (SNAYDON; BRADSHAW, 1962; EPSTEIN; JEFFERIES, 1964; BAKER et al., 1970). Neste sentido, para diversas culturas tem sido relatado também a existência de diferenças entre genótipos quanto a tolerância ao baixo nível do fósforo (HOWELL; BERNARD, 1961; GERLOFF, 1976; FAGERIA; BARBOSA FILHO, 1981).

Indicações de variações genéticas intraespecífica na absorção e utilização de fósforo têm sido documentadas para trigo (PALMER; JESSOP, 1977), feijão (WHITEAKER et al., 1976; LINDGREN; GABELMA; GERLOFF, 1977), milho (CLARK; BROWN, 1974; FOX, 1978; NIELSEN; BARBER, 1978; SCHENK; BARBER, 1979; FERNANDES, 2001), sorgo (CLARK; MARANVILLE; ROSS, 1977; CLARK; MARANVILLE; GORZ, 1978; FURLANI, 1981) e arroz (FURLANI; FURLANI, 1991; CLARK; DUNCAN, 1991; FAGERIA, 1992; SANT'ANA, 2000). No Brasil, vários genótipos de arroz foram identificados e classificados em experimentos de campo, quanto à eficiência de resposta a condições de baixos teores de fósforo (FAGERIA; BARBOSA FILHO, 1982). Considerando que existe diferença entre cultivares de arroz quanto à capacidade de absorver e utilizar fósforo, novos estudos devem ser direcionados para avaliar os cultivares do grupo tradicional e moderno.

Segundo Fageria, Barbosa Filho e Carvalho (1981), cultivar tolerante a deficiência nutricional é aquela que possui uma maior capacidade de absorver e assimilar os nutrientes do solo, os quais estão fortemente fixados e usualmente não disponíveis. Neste caso, Koyama, Chammer e Snitwonge (1973), preconizam dois fatores importantes a serem considerados na avaliação de cultivares em solos com deficiência em fósforo, sendo a capacidade da planta em

absorver fósforo do solo e a sua condição em utilizar o fósforo absorvido. Entretanto a eficiência de utilização de fósforo tem significado somente quando se comparam plantas sob as mesmas condições quanto ao conteúdo de fósforo no solo, o que deve encorajar novos estudos utilizando cultivares tradicionais e modernos para avaliar a participação de cada fator nesses cultivares.

Clarck e Brown (1974), definem plantas eficientes na absorção de fósforo como aquelas que acumulam maiores quantidades de fósforo quando elas são cultivadas em solos com baixo nível deste nutriente. Loneragan e Asher (1967), usam o termo eficiência de utilização de fósforo, como a quantidade de matéria seca produzida pela quantidade de fósforo absorvido.

Estudos conduzidos em solos de baixa fertilidade sugerem que a eficiência de utilização de nutrientes é mais importante que a eficiência de absorção (SANFORD; MACKOWN, 1986); entretanto, Moll, Kamprath e Jackson (1982), recomendam que, em desenvolvimento de genótipos para estresse nutricional, é importante levar-se em consideração ambas as características, para aumentar a eficiência nutricional. De acordo com Fageria et al. (1988), em condições de campo, a produção de grãos é o melhor parâmetro para avaliação da eficiência nutricional em culturas anuais; em caso de experimentos em condições controladas tanto a produção de grãos como as produções de matéria seca podem ser utilizadas como parâmetro de avaliação da eficiência nutricional. Novos estudos devem ser realizados avaliando cultivares tradicionais e modernos utilizando como parâmetro a produção de matéria seca.

A produção de matéria seca é um dos principais parâmetros relacionado com a produtividade da cultura, sendo o fósforo um dos nutrientes que aumenta a matéria seca devido ao aumento no número de perfilhos e área foliar (FAGERIA, 1980). Segundo o mesmo autor, a produção de matéria seca da parte aérea, aumenta com o incremento na dose de P aplicada no solo, sendo a máxima produção atingida até o estágio de emborrachamento, e depois ocorre uma ligeira diminuição, devido a translocação de produtos fotossintéticos para os grãos.

Resultados de pesquisas em solução nutritiva com 50 cultivares de arroz de terras altas indicaram baixo teor de fósforo nas partes da planta em todos os materiais testados, decrescendo ainda ligeiramente à medida que aumentaram os valores de matéria seca. Este efeito pode ser explicado pelo efeito de diluição do fósforo que ocorre à medida que a planta apresenta maior desenvolvimento. Neste caso, os cultivares que se desenvolveram mais tiveram uma tendência para maior relação de eficiência (matéria seca produzida/unidade de fósforo absorvido) (FURLANI et al., 1983). Alguns estudos envolvendo tipos de cultivares, tais como tradicionais e

modernos, são necessários para avaliar a relação que existe entre o ganho de matéria seca e a eficiência na utilização de fósforo.

Fageria e Barbosa Filho (1981), classificaram os cultivares de arroz quanto à eficiência de utilização de fósforo em: 1) Cultivares eficientes e responsivos (ER), são aqueles que produziram muito sob condições de baixo nível de fósforo, porém abaixo do grupo (ENR), no entanto responderam ao alto nível de fósforo; 2) Cultivares eficientes não responsivos (ENR), representam os que produziram muito com baixo nível de fósforo, mas não responderam ao alto nível de fósforo; 3) Cultivares não eficientes responsivos (NER), produziram pouco, sob baixo nível de P, mas apresentaram apreciáveis aumentos na produção no nível alto de fósforo; 4) Cultivares não eficientes não responsivos (NENR), produziram pouco tanto com baixos como em altos níveis de fósforo disponíveis. Neste sentido, os autores propõem que os cultivares de arroz do grupo (ENR) são os mais desejáveis aos produtores que não dispõem de condições para utilizar fertilizantes. Os cultivares pertencentes ao grupo (ER) são recomendados para o cultivo com baixa tecnologia, no que tange a adubação fosfatada, entretanto recomenda-se para cultivo com alta utilização de fósforo, visto que respondem a adubação fosfatada com eficiência. Devido às baixas produtividades, os cultivares dos grupos (NER) e (NENR), não devem ser utilizados uma vez que esses materiais foram classificados como ineficientes na utilização de fósforo. Alguns estudos envolvendo cultivares do grupo eficiente não responsivo (ENR) indicaram que o acúmulo de fósforo por ocasião do florescimento era maior que nos demais grupos, refletindo numa maior absorção de fósforo por este cultivar. Estes resultados podem ser atribuídos ao desenvolvimento ativo e mais profundo do sistema radicular tornando mais eficiente na absorção de fósforo (KOYAMA; CHAMMER; SNITWONGE, 1973). Uma segunda hipótese é a capacidade que tem esses cultivares eficientes em mobilizar o fosfato fixado tornando-o disponível (MAHADEVAPPA, IKEHASHI; PONNAMPERUMA, 1979; GERLOFF 1976). Uma razão que explica isto pode ser as reações bioquímicas que ocorrem quando existe deficiência de fósforo. Nesses cultivares eficientes, por exemplo, a atividade metabólica do fósforo aumenta quando ocorre deficiência deste nutriente no tecido da planta, ou a planta pode abaixar o pH da rizosfera, aumentando a disponibilidade de fósforo (FAGERIA; BARBOSA FILHO, 1981).

Segundo Fageria (1999), o fósforo é um dos principais nutrientes para a cultura do arroz e sua deficiência pode afetar a planta provocando redução no crescimento, no perfilhamento, no sistema radicular e, conseqüentemente, na produtividade. O conhecimento das associações da

deficiência de fósforo com outras características da planta são de grande importância no melhoramento desse cereal (VENKOVSKI; BARRIGA, 1992). Entretanto ainda são incipientes as informações sobre as associações entre característica morfológicas da planta com a capacidade de absorver e utilizar o fósforo.

Estudos conduzidos por Sant'Ana (2000), indicaram diferenças significativas para o perfilhamento da cultura de arroz de sequeiro em função dos níveis de fósforo. De acordo com Barbosa Filho (1989), o fósforo aumenta o número de perfilhos dos cereais em geral e, com isso, o número de panículas que, conseqüentemente, desempenha papel importante na produtividade.

A capacidade das plantas se desenvolverem em solos que apresentem baixo teor de fósforo disponível tem sido atribuída a diversos fatores, incluindo diferenças na morfologia do sistema radicular e densidade de pêlos radiculares (HOCKING et al., 1997). As principais características morfológicas do sistema radicular relacionada à nutrição fosfatada são: comprimento, área, raio ou diâmetro radicular e relação de massa (massa das raízes/massa da parte aérea), sendo que essas características configuram um sistema radicular eficiente na absorção de fósforo (MACHADO, 2000).

O estudo proposto poderá adicionar informação à literatura já existente, sobre a eficiência de absorção e utilização de fósforo em cultivares de arroz de terras altas tradicionais e modernos, bem como avaliar se os programas de melhoramento de arroz, poderá levar a obtenção de materiais genéticos com elevado potencial produtivo, e com maior adaptação a condições de baixo teor de fósforo no solo.

2.2.2 Material e Métodos

2.2.2.1 Seleção de cultivares para experimento em casa-de-vegetação

Para realização deste estudo foram selecionados 9 cultivares de arroz desenvolvidas pelo programa de melhoramento de arroz de terras altas no Brasil, com exceção dos cultivares Bonança, cujo melhoramento genético deu-se na Colômbia, e Bico Ganga, selecionado entre produtores de arroz no Brasil, sendo este o mais tradicional. Todos os cultivares utilizados neste estudo são recomendados para os Estados da Região Centro-Oeste e alguns da Região Norte. A seleção dos cultivares teve como critério a obtenção de materiais genéticos classificados em dois tipos: (i) cultivares tradicionais, caracterizados pelo porte alto, baixo perfilhamento, folhas longas e adaptados às condições adversas de solo, e (ii) cultivares modernos, apresentando porte baixo

ou médio, maior número de perfilhos, folhas eretas e melhor qualidade de grãos, sendo finos e longos. As sementes dos cultivares foram fornecidas pela Embrapa Arroz e Feijão (Centro Nacional de Pesquisa em Arroz e Feijão - CNPAF). Foram selecionados 5 cultivares tradicionais e 4 cultivares modernos, obtidos entre os anos de 1950 e 2003, apresentando ciclos precoce, semi-precoce e médio, entretanto o material mais antigo possui ciclo tardio (Tabela 1).

Tabela 1 - Nome, genealogia, origem, ano, tipo de planta, ciclo e registro no banco ativo de germoplasma da Embrapa dos cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) de terras altas utilizados no experimento

Nome	Genealogia	Origem	Ano	Tipo	Ciclo	Registro no BAG
Caiaçó	IRAT-13/Beira campo/CNAx 104-B-18-Py-2B/Perola	Brasil	1994	Tradicional	Médio	CNA 6187
Carajás	IREM293-B/IAC 81-176	Brasil	1994	Tradicional	Precoce	CNA 6710
IAC 47	IAC1246/IAC 1391	Brasil	1983	Tradicional	Médio	CNA-2023
Bico Ganga	Tradicional	Brasil	1950	Tradicional	Tardio	CNA 0412
Guarani	IAC 25/63-83	Brasil	1986	Tradicional	Precoce	CNA 4121
Bonança	CT7244-9-2-1-52-1/CT7232-5-3-7-2-1p/CT 6196-33-11-1-3-AP	Colômbia	1999	Moderno	Semi-precoce	CNA 8172
Curinga	CT9978-12-2-2-p-4/CT10037-56-4-m-4-1p-1/CT9899-12-3-m-3-3	Brasil	2002	Moderno	Semi-precoce	CNA 8812
Vencedora	CT 6516-23-10-1-1-1-B/CNA 6886	Brasil	2003	Moderno	Semi-precoce	CNA 6886
Primavera	IRAT 10/L5 85-185	Brasil	1994	Moderno	Precoce	CNA 8070

2.2.2.2 Caracterização do solo

A escolha do solo teve como critério o baixo teor de P disponível segundo o conceito de suficiência, permitindo assim o estudo de resposta a fósforo. Foram coletadas amostras de um solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 1999), localizado na Serra de Itaqueri, município de Itirapina-SP, na profundidade de 0 a 0,2 m, em quantidade suficiente para

a condução do experimento em casa-de-vegetação. As amostras foram colocadas para secar ao ar livre e, em seguida, passadas em peneira de malha 4 mm. A análise química da amostra de terra foi realizada de acordo com a metodologia de rotina preconizada por Raij e Quaggio (1983). De acordo com a Tabela 2, o teor de P na camada de 0-0,2m foi de 3 mg dm⁻³, sendo considerado muito baixo, o que justificam a escolha desse solo. A caracterização das amostras quanto a granulometria foi realizado pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997). Os teores de areia, silte e argila encontrados foram 680, 20 e 300 g kg⁻¹ respectivamente.

Tabela 2 - Resultado da análise química do solo utilizado no experimento

Solo	Prof.	pH	MO	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m
	cm	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³						mmol _c dm ⁻³			---	---
LVA	0 - 20	4,0	20	3	6	0,2	2	1	7	34	3,2	37,2	9	69

2.2.2.3 Condução dos experimentos em casa-de-vegetação

Para definir as doses de P a serem utilizadas no experimento, foi conduzido um ensaio preliminar utilizando dois cultivares, sendo um tradicional (Caiapó) e outro moderno (Bonança). Este ensaio foi conduzido com as doses de 12,5; 25; 50 e 100 mg de P kg⁻¹ mais o controle sem adição de P. As doses definidas foram uma baixa (25 mg de P kg⁻¹) e outra elevada (100 mg de P kg⁻¹), tendo em vista que na dose baixa houve um bom desenvolvimento das plantas o que permite o estudo de eficiência, ao passo que na dose elevada o intuito é avaliar a resposta, bem como oferecer condições para que ocorra o nivelamento da produção (resultados apresentados nos Apêndices A e B). Outra razão está relacionada ao fato de que os estudos de eficiência na absorção e utilização de P devem ser realizados utilizando-se uma dose baixa e elevada de P.

O experimento para avaliar a eficiência na absorção e utilização de fósforo foi conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP, no período de 27 de maio a 02 de agosto de 2005.

Adicionou-se amostra de 3 kg de terra em vasos de plástico com capacidade de 3,5 L, em seguida para correção da acidez, as amostras de solo foram incubada por 20 dias com calcário dolomítico (PRNT: 91,8), para elevar a saturação por bases a 50 %, de acordo com a recomendação oficial do Boletim 100 (RAIJ et al., 1997). Para permitir maior reação do calcário as amostras foram homogeneizadas e a umidade mantida em aproximadamente 70 % da capacidade de campo.

A adubação básica foi de 200 mg de N kg⁻¹ na forma de uréia e 200 mg de K kg⁻¹ na forma de KCl. Os micronutrientes foram adicionados na forma de solução, nas seguintes dosagens 10 mg kg⁻¹ de Mn, Zn e Fe; 5 mg kg⁻¹ de B e Cu e 1 mg kg⁻¹ de Mo.

A fonte de fósforo utilizada foi o fosfato monocálcico (FMCpa) com 99% de P solúvel em água. As doses de 25 e 100 mg kg⁻¹ P, definidas no ensaio preliminar, foram aplicadas de acordo com os tratamentos descritos no apêndice C. Os nutrientes foram misturados às amostras de solo e homogeneizados.

Os tratamentos constaram de 9 cultivares, sendo 5 do tipo tradicional (Caiapó, Carajás, IAC 47, Bico Ganga e Guarani) e 4 do tipo moderno (Bonança, Curinga, Vencedora e Primavera), 2 doses de P (25 e 100 mg de P kg⁻¹) e um controle sem P. A unidade experimental básica foi repetida três vezes, totalizando-se assim 81 unidades experimentais (Apêndice C). O delineamento utilizado foi o de blocos completos ao acaso.

Nove sementes de arroz foram semeadas por vaso de 3 kg de terra, sendo desbastadas 6 dias após a emergência para 3 plantas por vaso. A terra dos vasos foi umedecida a 60% da capacidade campo, sendo mantida assim durante todo o experimento. A coleta das plantas ocorreu aos 60 dias após a emergência, quando então foram colocadas em estufa a 60°C até atingir o peso constante. A concentração de P na matéria seca (Apêndice D) foi determinada pela metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1989). Foram avaliados os seguintes parâmetros: produção de matéria seca da parte aérea, P acumulado na planta, eficiência na utilização de fósforo e diagrama de eficiência de utilização de fósforo.

2.2.2.4 Análises dos dados

Os dados dos apêndices E, F e G foram submetidos à análise de variância. As variáveis avaliadas (produção de matéria seca, P acumulado pelas plantas e eficiência na utilização de fósforo) foram comparadas pelo teste Tuckey, ao nível de 95 % de probabilidade, utilizando o pacote estatístico Sanest (ZONTA e MACHADO, 1984). A partir dos resultados desta análise foi possível verificar o efeito dos cultivares e doses isoladamente, e no caso de interação significativa entre esses fatores, torna necessário efetuar o desdobramento de modo que se avalie: (i) efeito de cultivar dentro de cada dose e (ii) efeito de dose dentro de cada cultivar. Modelos de regressão foram então ajustados pelo Software Sigma Plot® para avaliar o efeito de doses dentro de cada

cultivar. A comparação de grupos de cultivares (tradicionais vs. Modernos), foi realizada utilizando contrastes ortogonais, por meio do programa SAS (SAS, 1985).

A eficiência de utilização de fósforo (EUP 1) calculada pela fórmula a seguir, representa a quantidade de matéria seca produzida pela a quantidade de P absorvido, permitindo avaliar os cultivares quanto a este parâmetro dentro de cada dose de P aplicado.

$$EUP\ 1 = \frac{\text{Produção de matéria seca da parte aérea}}{\text{Acumulo de P na parte aérea}} \quad (1)$$

Outra forma de calcular a eficiência de utilização de fósforo (EUP 2) foi utilizada para obtenção do diagrama de eficiência, preconizado por Fageria e Barbosa (1981).

$$EUP\ 2 = \frac{(\text{Produção com alto nível de P}) - (\text{Produção com baixo nível de P})}{\text{Diferença entre os níveis de P aplicado}} \quad (2)$$

Para diferenciação dos cultivares tradicionais e modernos em eficientes e não eficientes, utilizou-se um quadrante com a média da produção de matéria seca (MS) dos cultivares na dose baixa de P (25 mg P kg⁻¹), e a média da eficiência de utilização de P (EUP 2) dos cultivares. Os valores de produção de matéria seca e os EUP 2 correspondente foram plotados nos eixos x e y do sistema de coordenadas cartesianas, respectivamente.

A classificação dos cultivares quanto à eficiência de utilização de P, tomando como exemplo o grupo dos ENR, demonstra que estes cultivares devem apresentar produção de matéria seca na dose baixa de P, maior que a média de produção dos cultivares avaliados na mesma dose e a EUP 2 menor que a média de eficiência de utilização dos cultivares conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Critérios para classificação dos cultivares de arroz quanto à eficiência e resposta à aplicação de fósforo

ER	ENR	NER	NENR
EUP 2 > EUP _{média}	EUP 2 < EUP _{média}	EUP 2 > EUP _{média}	EUP 2 < EUP _{média}
MS > MS _{média}	MS > MS _{média}	MS < MS _{média}	MS < MS _{média}

Os cultivares foram então classificados da seguinte forma:

1. Cultivares eficientes e responsivos (ER): são aqueles que produziram muito sob condições de baixo nível de fósforo, no entanto responderam ao alto nível de fósforo;
2. Cultivares eficientes não responsivos (ENR): representam os que produziram muito com baixo nível de fósforo, mas responderam pouco à aplicação de fósforo;
3. Cultivares não eficientes responsivos (NER): produziram pouco, sob baixo nível de P, mas apresentaram apreciáveis aumentos na produção no nível alto de fósforo;
4. Cultivares não eficientes não responsivos (NENR): produziram pouco tanto com baixos como em altos níveis de fósforo disponíveis.

2.2.3 Resultados e Discussões

2.2.3.1 Análise da variância e contrastes

As três variáveis dependentes avaliadas no estudo foram afetadas de forma significativa pelas variáveis independentes (dose e cultivar) e pela interação de ambas (Tabela 4). Desta forma estes resultados sugerem que existe diferença entre os cultivares quanto à absorção e utilização de fósforo, indicando que a resposta relativa dos cultivares foi diferente, não permitindo que seja utilizado apenas uma dose de fósforo para avaliação de cultivares de arroz. A interação significativa entre cultivares e doses de fósforo mostra também que não existe estabilidade de adaptação dos cultivares de arroz para baixo e alto nível de fósforo, além de evidenciar uma ampla variabilidade genética entre os cultivares avaliados para absorção e utilização de fósforo.

Tabela 4 – Resultados da análise da variância com valores de F e coeficiente de variação (C.V.)

Fontes de Variação	G. L.	MSPA	P acumulado	EUP
		Valor F	Valor F	Valor F
Bloco	2	-	-	-
Cultivar (C)	8	14,6 ^{**}	4,8 ^{**}	3,9 ^{**}
Dose de P (D)	2	1887,7 ^{**}	1408,1 ^{**}	532,0 ^{**}
C x D	16	7,2 ^{**}	3,2 ^{**}	2,3 [*]
C.V. (%)		13,5	18,0	12,2

^{**}, ^{*} Significativo a 1 % e a 5 % pelo teste F, respectivamente.

A comparação entre os tipos de cultivares tradicionais e modernos utilizando contrastes ortogonais estão apresentados na Tabela 5. O contraste tradicional *vs* moderno para o parâmetro produção de matéria seca da parte aérea foi significativo a $P \leq 0,05$ para todas as doses de P aplicadas ao solo. Estes resultados sugerem que os cultivares tradicionais, apesar do baixo perfilhamento, quando comparados aos modernos, apresentam maior produção de matéria seca, independente da dose de P aplicada (Tabela 5).

Para o parâmetro P acumulado o contraste tradicional *vs.* moderno também foi significativo a 95 % para as doses 0 e 25 mg P kg⁻¹, no entanto não foi observado diferenças entre as médias dos cultivares tradicionais *vs.* modernos para a dose 100 mg P kg⁻¹ (Tabela 5) demonstrando que os cultivares tradicionais são de maneira geral mais eficientes na absorção de P em solos com baixo teor deste nutriente quando comparados aos modernos. As razões que explicam esta maior absorção e conseqüente acúmulo de P pode estar relacionado ao maior desenvolvimento do sistema radicular ou na capacidade que estes cultivares possuem de abaixar o pH da rizosfera e disponibilizar uma parte do P fixado (FAGERIA; BARBOSA FILHO, 1981). Algumas plantas são capazes de aumentar o comprimento das raízes quando submetidas a baixo teor de P ou concentrar o sistema radicular na região onde a concentração de P disponível é maior (ANGHINONI; BARBER, 1980). O desenvolvimento de associações simbióticas com micorrizas e raízes também podem interferir na absorção de P do solo, sendo que depende das variações genéticas das plantas (SANTOS et al., 1996).

A eficiência de utilização de P (EUP) dos cultivares comparada por contraste entre o grupo tradicional *vs.* moderno foi significativa a 95% para a dose 25 mg P kg⁻¹, indicando que para o baixo nível de P os cultivares tradicionais são mais eficientes na utilização de fósforo que os modernos (Tabela 5). A análise comparativa entre os dois grupos de cultivares utilizando o contraste demonstrou que não existe diferença significativa na EUP, para a condição sem aplicação de P, e para dose de 100 mg P kg⁻¹ (Tabela 5).

Considerando à comparação entre os grupos de cultivares tradicionais e modernos para os parâmetros avaliados utilizando contrastes ortogonais, é possível inferir que existem diferenças entre estes dois grupos para os parâmetros avaliados em pelo menos uma dose. Entretanto, essa comparação baseia-se na média geral de cada grupo não distinguindo a influência dos cultivares isoladamente, podendo levar a conclusões erradas, uma vez que os cultivares possuem uma ampla base genética e apresentam respostas diferentes.

Tabela 5 – Comparação entre grupos de cultivares tradicionais e modernos utilizando contrastes ortogonais

Dose de P aplicada mg kg ⁻¹	Contrastes	Tradicional	Moderno
Matéria seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)			
0	T vs M ⁽¹⁾	0,34 a ⁽¹⁾	0,24 b
25	T vs M	8,43 a	4,33 b
100	T vs M	21,21 a	19,55 b
P acumulado pela MSPA (mg vaso ⁻¹)			
0	T vs M	0,13 a	0,10 b
25	T vs M	6,01 a	3,38 b
100	T vs M	23,19 a	24,24 a
Eficiência na utilização de P (g MS g ⁻¹ P acum.)			
0	T vs M	2,60 a	2,61 a
25	T vs M	1,48 a	1,30 b
100	T vs M	0,92 a	0,82 a

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si ($P \leq 0,05$). T: tradicional, M: moderno.

2.2.3.2 Produção de matéria seca da parte aérea

Um dos principais parâmetros relacionados à produtividade é a produção de matéria seca, sendo a mesma diretamente influenciada pelo P, devido o aumento no número de perfilhos e área foliar (FAGERIA, 1980). Vários estudos relataram diferenças entre cultivares quanto à produção de matéria seca, porém poucos resultados se referem à comparação entre cultivares tradicionais e modernos.

De acordo com a Figura 1 e Apêndice H os cultivares de arroz apresentaram respostas diferentes quanto à aplicação de fósforo, sendo que a produção de matéria seca aumentou significativamente com o aumento da dose de P. Houve uma ampla variação na produção de matéria seca entre os cultivares tradicionais e modernos na dose de 25 mg P kg⁻¹, um exemplo nesse sentido foi o cultivar tradicional Caiapó com valores de produção de 4 vezes mais que o cultivar moderno primavera (Tabela 6). Neste nível de P no solo os cultivares com maiores produções foram Caiapó, Guarani e Bico Ganga (Figuras 1A, 1D e 1E) com 11,5; 11,0 e 9,7 g vaso⁻¹ respectivamente. Todos os cultivares tradicionais produziram mais matéria seca que os modernos, excetuando o cultivar moderno Curinga. Entretanto a expectativa de que os materiais tradicionais apresentem elevadas produções de matéria seca quando cultivados em solos pobres

em P, em comparação aos cultivares modernos, não se confirma para todos materiais, uma vez os cultivares Carajás e IAC 47 não diferiu estatisticamente a 95% dos materiais modernos Tabela 6).

Pode-se observar que na Figura 1 e na Tabela 6, que em elevada dose deste nutriente (100 mg P kg^{-1}) ocorre um nivelamento da produção de matéria seca dos cultivares, o que dificulta a distinção entre os materiais tradicionais e modernos, sendo que apenas o cultivar tradicional, Bico Ganga diferiu estatisticamente dos cultivares modernos, Bonança e Vencedora, com produções de 18% e 30% a mais que estes respectivamente (Tabela 6).

Avaliando a média dos grupos de cultivares, podemos concluir que de maneira geral os cultivares tradicionais produziram mais matéria seca nas doses de P aplicado (Figura 1F), o que também foi evidenciado com a comparação por meio dos contrastes ortogonais.

Figura 1 - Efeito de cultivares e doses de fósforo na produção de matéria seca da parte aérea de arroz de terras altas tradicionais e modernos. (A) Caiapó, (B) Carajás, (C) IAC 47, (D) Bico Ganga, (E) Guarani, com todos modernos e (F) média dos tradicionais e modernos

Tabela 6 - Efeito de cultivares e doses de fósforo na produção de matéria seca da parte aérea de arroz de terras altas tradicionais e modernos

Cultivares	Tipo	Níveis de P mg kg ⁻¹		
		0	25	100
MSPA (g vaso ⁻¹)				
Caiapó	Tradicional	0,31 Ca ⁽¹⁾	11,57 Ba	21,32 Aab
Carajás	Tradicional	0,28 Ca	5,04 Bcd	20,27 Aabc
IAC 47	Tradicional	0,31 Ca	4,84 Bcd	21,58 Aab
Bico Ganga	Tradicional	0,49 Ca	9,73 Bab	22,47 Aa
Guarani	Tradicional	0,31 Ca	11,00 Ba	20,42 Aabc
Bonança	Moderno	0,11 Ca	2,93 Bd	19,07 Abc
Curinga	Moderno	0,32 Ca	7,72 Bbc	22,26 Aab
Vencedora	Moderno	0,22 Ca	3,91 Bd	17,25 Ac
Primavera	Moderno	0,31 Ca	2,76 Bd	19,63 Aabc

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras minúsculas coluna comparam os cultivares e letras maiúsculas linha comparam as doses.

2.2.3.3 Eficiência na absorção de fósforo

Assim como a produção de matéria seca o P acumulado na planta também está relacionado com a produtividade do arroz. Resultados encontrados por Fageria (2001), mostraram que do total de P acumulado pelas plantas de arroz de terras altas 77 % foi translocados para os grãos e o restante ficou na parte aérea. Os mesmos autores relataram que para alguns cultivares na época da colheita, o teor de P nos grãos pode ser até três vezes maior que na palha.

Os resultados do efeito das doses de fósforo na quantidade de P acumulado pela matéria seca dos cultivares encontram-se na Figura 2 e a comparação estatística das doses e cultivares estão na Tabela 7. Em geral, o acúmulo de P pela matéria seca aumenta com a dose de P aplicado no solo, com algumas exceções em termos estatísticos, como verificado para os cultivares tradicionais Carajás e IAC 47 e o cultivar moderno Bonança, em que o acúmulo de P na dose 25 mg P kg⁻¹ não diferiu estatisticamente do controle. Segundo Clark e Brown (1974), as plantas eficientes na absorção de P, são aquelas que acumulam maiores quantidades do elemento quando cultivadas em baixo nível de P. De acordo com essa definição verifica-se que alguns cultivares tradicionais apresentam uma tendência para maior eficiência na absorção de P em solos com baixa disponibilidade deste nutriente quando comparados aos modernos (Figura 2A, 2D e 2E). Os

dados de P acumulado apresentados na Tabela 7 indicam que os dois cultivares mais eficientes na absorção de P num solo com baixo teor foram os materiais tradicionais Caiapó e Guarani (8,65 e 8,89 mg vaso⁻¹ respectivamente) com conteúdo de P diferindo estatisticamente ($P \leq 0,05$) dos materiais modernos com exceção do cultivar Curinga. Os cultivares com maiores acúmulos de P na dose baixa de P (25 mg P kg⁻¹), foram os mesmos que produziram mais matéria seca nesta dose, demonstrando a participação deste nutriente no desenvolvimento da planta, o que está de acordo com os resultados encontrados por Fageria (1980). Algumas vezes argumenta-se que plantas de elevada eficiência na extração de P do solo é indesejável, pois poderia acelerar o processo de depleção da reserva natural do solo, caso não ocorra adição de P. Entretanto plantas que apresentam elevada resposta à aplicação de P, oferece grande incentivos à aplicação deste nutriente.

De acordo com a Figura 2 a absorção de P pelos cultivares de arroz ficou mais próxima entre os cultivares, quando as plantas foram submetidas à elevada dose de P (100 mg P kg⁻¹), no entanto algumas diferenças estatísticas ($P \leq 0,05$) foram verificadas entre os cultivares. Um exemplo nesse sentido é a maior absorção de P pelo cultivar Bonança (26,7 mg vaso⁻¹) em relação ao Bico Ganga (21,1 mg vaso⁻¹) (Tabela 7). Considerando a produção de matéria seca dos cultivares verifica-se que o Bonança apesar de acumular mais P produziu menos matéria seca, o que sugere uma menor eficiência de utilização de P em solos com elevado teor deste nutriente (Tabela 6 e 7).

Resultados apresentados na Figura 2F, relacionada às médias dos cultivares do grupo tradicional e moderno demonstram que os cultivares tradicionais foram mais eficientes na absorção de P em solos de baixa fertilidade, entretanto quando o teor de P é elevado os materiais modernos superam a absorção destes. As comparações estatísticas entre os materiais tradicionais e modernos utilizando contrastes ortogonais comprovaram as diferenças observadas (Tabela 5).

Figura 2 - Efeito de cultivares e doses de fósforo na quantidade de P acumulado pela matéria seca da parte aérea de plantas de arroz de terras altas tradicionais e modernos. (A) Caiapó, (B) Carajás, (C) IAC 47, (D) Bico Ganga, (E) Guarani, com todos modernos e (F) média dos tradicionais e modernos

Tabela 7 - Efeito de cultivares e doses de fósforo na quantidade de P acumulado pela parte aérea de arroz de terras altas tradicionais e modernos

Cultivares	Tipo	Níveis de P mg kg ⁻¹		
		0	25	100
P acumulado (mg vaso ⁻¹)				
Caiapó	Tradicional	0,13 Ca ⁽¹⁾	8,65 Ba	25,59 Aabc
Carajás	Tradicional	0,10 Ba	3,14 Bbc	22,61 Aabc
IAC 47	Tradicional	0,11 Ba	2,92 Bbc	22,21 Aabc
Bico Ganga	Tradicional	0,21 Ca	6,44 Bab	21,17 Ac
Guarani	Tradicional	0,12 Ca	8,89 Ba	24,37 Aabc
Bonança	Moderno	0,04 Ba	2,75 Bbc	26,69 Aa
Curinga	Moderno	0,13 Ca	5,33 Babc	26,11 Aab
Vencedora	Moderno	0,09 Ca	3,71 Bbc	22,45 Aabc
Primavera	Moderno	0,12 Ca	1,74 Bc	21,72 Abc

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05). Letras minúsculas coluna comparam os cultivares e letras maiúsculas linha comparam as doses.

2.2.3.4 Eficiência na utilização de fósforo

A eficiência de utilização de fósforo, calculada pela razão entre a produção de matéria seca da parte aérea e o P acumulado, encontra-se na Tabela 8. A EUP denota a capacidade da planta em converter P em matéria seca. Tomando como exemplo os extremos entre cultivares (3,04 e 0,77 g g⁻¹ para Bonança na dose 0 mg kg⁻¹ e Vencedora na dose 100 mg P kg⁻¹ respectivamente) tem-se que o cultivar Bonança teve quase quatro vezes mais condições de converter P em matéria seca do que a cultivar Vencedora, considerando as doses indicadas. Os cultivares tradicionais com menor absorção de P na dose de 25 mg kg⁻¹ foram Carajás e IAC 47, no entanto, os mesmos tiveram boa eficiência de utilização deste nutriente.

Duas comparações são possíveis a partir dos dados na Tabela 8: (i) EUP para cada cultivar com relação às doses e (ii) EUP dos cultivares para cada dose aplicada. No que diz respeito ao efeito das doses, exceção feita ao cultivar Vencedora, todas tiveram diminuição com o aumento da quantidade de P aplicada. Segundo Fageria (1992), a EUP geralmente diminui com a dose de P devido ao nivelamento da produção de matéria seca, porém continuidade importante na absorção de P pelas plantas. Os próprios modelos ajustados aos dados de produção de matéria seca ou P acumulado, em função das doses aplicadas, demonstram isto, uma vez que é comum

ajustar modelos logarítmicos, exponenciais ou da raiz quadrática para matéria seca versus doses, enquanto modelos lineares são comuns para P acumulado versus doses. Neste contexto, portanto, é igualmente comum encontrar que a EUP máxima e mínima ocorram na menor e maior doses testadas, respectivamente.

A comparação da EUP dos cultivares para cada dose aplicada não permite distinguir entre os tradicionais e modernos, ou seja, não existe tendência clara para que os cultivares tradicionais ou modernos apresentem maior EUP uns em relação aos outros. No caso da dose 100 mg kg⁻¹ não houve qualquer diferença significativa entre os cultivares. Estes resultados não corroboram com os resultados encontrados por Clark e Duncan et al. (1991), em que genótipos de arroz de terras altas modernos foram mais eficientes em absorver e utilizar quando comparados aos genótipos antigos.

Tabela 8 - Efeito de cultivares e doses de fósforo na eficiência de utilização de P (EUP) em arroz de terras altas tradicionais e modernos

Cultivares	Tipo	Níveis de P mg kg ⁻¹		
		0	25	100
EUP (g MSPA g ⁻¹ P acumulado)				
Caiapó	Tradicional	2,44 Ab ⁽¹⁾	1,35 Babc	0,83 Ca
Carajás	Tradicional	2,83 Aab	1,64 Ba	0,90 Ca
IAC 47	Tradicional	2,79 Aab	1,65 Ba	0,97 Ca
Bico Ganga	Tradicional	2,46 Ab	1,53 Babc	1,07 Ca
Guarani	Tradicional	2,49 Ab	1,25 Babc	0,84 Ca
Bonança	Moderno	3,04 Aa	1,11 Bbc	0,71 Ca
Curinga	Moderno	2,45 Ab	1,45 Babc	0,87 Ca
Vencedora	Moderno	2,38 Ab	1,05 Bc	0,77 Ba
Primavera	Moderno	2,58 Aab	1,60 Bab	0,91 Ca

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05). Letras minúsculas coluna comparam os cultivares e letras maiúsculas linha comparam as doses.

2.2.3.5 Diagrama de eficiência na utilização de fósforo pelos cultivares de arroz

Os resultados de produção de matéria seca e da eficiência na utilização de P (EUP 2) encontram-se na Tabela 9. Houve uma ampla distribuição dos cultivares por todos os quadrantes, o que denota uma grande variabilidade genética que existe entre eles. De acordo com o diagrama

de eficiência (Figura 3) os cultivares tradicionais Caiapó, Bico Ganga e Guarani foram classificados como ENR.

Estes resultados reforçam que estes materiais são mais adaptados a baixo teor de P solo (25 mg P kg^{-1}), tendo em vista nessa dose que os mesmos produziram mais matéria seca e acumularam mais P na dose, quando comparados aos demais. Apesar da expectativa que todos os cultivares tradicionais fossem ENR, os cultivares Carajás e IAC 47 foram classificados como NER, indicando uma baixa eficiência comparativa na absorção e utilização de P (EUP 2).

Dentre os materiais modernos o cultivar Curinga sempre foi uma exceção, na qual para todos os parâmetros avaliados o mesmo não diferiu estatisticamente dos cultivares tradicionais. Isto também foi percebido no diagrama de eficiência em que, no caso do arroz o mesmo foi o único cultivar moderno considerando eficiente (ER), reforçando a idéia de que os programas de melhoramentos necessariamente não conduzem a materiais genéticos de baixa eficiência comparativa em absorver e utilizar fósforo.

Tabela 9 - Classificação de cultivares de arroz tradicionais e modernos quanto à eficiência no uso de fósforo

Nº	Cultivar	Tipo	Produção de MSPA com baixo P (mg vaso^{-1}) ⁽¹⁾	EUP 2 ($\text{mg MSPA mg P aplicado}^{-1}$) ⁽²⁾	Classificação ⁽³⁾
1	Caiapó	Tradicional	11567	43	ENR
2	Carajás	Tradicional	5043	68	NER
3	IAC 47	Tradicional	4837	74	NER
4	Bico Ganga	Tradicional	9727	57	ENR
5	Guarani	Tradicional	11000	42	ENR
6	Bonança	Moderno	2927	72	NER
7	Curinga	Moderno	7723	65	ER
8	Vencedora	Moderno	3910	59	NENR
9	Primavera	Moderno	2763	75	NER

⁽¹⁾ Valores críticos de produção de matéria seca: $6.200 \text{ mg vaso}^{-1}$

⁽²⁾ Valores críticos para EUP: $62 \text{ mg MSPA mg}^{-1}$ de P aplicado.

⁽³⁾ ER: eficiente e responsivo; ENR: eficiente e não responsivo; NER: não eficiente e responsivo; NENR: não eficiente e não responsivo.

Figura 3 – Classificação dos cultivares tradicionais e modernos quanto à eficiência no uso de fósforo. (1) Caiapó, (2) Carajás, (3) IAC 47, (4) Bico Ganga, (5) Guarani, (6) Bonança, (7) Curinga, (8) Vencedora, (9) Primavera

A Figura 4 apresenta a resposta à aplicação de P, tomando-se um cultivar de cada quadrante, sendo, portanto comparado à curva do cultivar tradicional Guarani com três cultivares modernos. Com resultados deste gráfico pode-se inferir sobre a eficiência e a respostas dos cultivares, sendo aqueles com maior produção na dose de 25 mg P kg⁻¹ os mais eficientes e as curvas com maior inclinação são os mais responsivos.

De acordo com a Figura 4, verifica-se que os cultivares variam quanto sua resposta à aplicação de P, seja para baixo ou alto nível deste nutriente. Tomando como exemplo o cultivar tradicional Guarani nota-se que o mesmo apresentou maior produção de matéria com baixo teor de P no solo. No entanto com alto nível de P, o cultivar moderno Curinga produziu mais matéria seca. Segundo Kirk et al. (1998), dois tipos de mecanismos podem estar relacionados com essas diferenças, sendo o primeiro interno na qual a produção de matéria seca difere entre os cultivares com mesmo conteúdo de P. O segundo externo resulta da diferença na capacidade de extrair o P do solo. Considerando a performance do cultivar tradicional Guarani é possível inferir que o mesmo apresenta maior eficiência na absorção de P, a baixo nível deste nutriente, ao passo que o cultivar moderno Curinga com maior resposta a alto nível de P, resulta da maior absorção de P nesta condição.

Figura 4 - Diferentes curvas de resposta de cultivares de arroz tradicional e moderno sob dois níveis de fósforo (ENR: eficiente e não responsivo; ER: eficiente e responsivo; NER: não eficiente e responsivo; NENR: não eficiente e não responsivo)

2.3 Conclusões

Cultivares de arroz tradicionais e modernos apresentam diferenças quanto à capacidade de absorver e utilizar fósforo em solos deficientes neste nutriente, sendo que os cultivares mais eficientes na absorção tiveram maior produção de matéria seca. Os cultivares tradicionais Caiapó, Bico Ganga e Guarani apresentaram maior eficiência na absorção de fósforo quando comparados aos cultivares modernos, exceção feita ao cultivar moderno Curinga.

Os cultivares de arroz tradicionais e modernos avaliados indicaram que o processo de melhoramento não conduz necessariamente a materiais genéticos com menor eficiência na utilização de fósforo, tendo em vista que os resultados deste estudo não mostraram uma tendência clara de que a eficiência fosse maior para os cultivares tradicionais.

O diagrama de eficiência foi um bom parâmetro para avaliar os cultivares de arroz tradicionais e modernos, classificando os cultivares em ER: Curinga; ENR: Caiapó, Bico Ganga e Guarani; NER: Carajás, IAC 47, Bonança e Primavera; NENR: Vencedora. A distribuição dos cultivares no quadrante indica que, independente de ser tradicional ou moderno existe uma ampla variação quanto à eficiência e resposta a aplicação de fósforo.

Referências

ANGHINONI, I.; BARBER, S.A., Phosphorus influx and growth characteristics of corn-roots as influences by phosphorus supply. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 685-688, 1980.

BAILIAN, L.; McKEAND, S.E.; ALLEN, H.L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, London, v. 37, p. 613-628, 1991.

BAKER, D.E.; JARREL, A.E.; MARSHALL, L.E.; THOMAS, N.I. Phosphorus uptake from soils by corn hybrids selected for high and low phosphorus accumulation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, p. 103-106, 1970.

BARBOSA FILHO, M. P. Adubação do arroz de sequeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.14, n.161, p. 32-38, 1989.

BEACHELL, H.M.; JENNINGS, P.R. Need for modification of plant type. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. **The mineral nutrition of the rice plant**. Manila, 1965. p. 29-35.

CLARK, R.B.; BROWN, J.C. Differential phosphorus uptake by P stressed corn inbreds. **Crop Science**, Madison, v. 14, p. 505-508, 1974.

CLARK, R.B.; DUNCAN, R.R. Improvement of plant mineral nutrition through breeding. **Field Crops Research**. Amsterdam, v. 27, p. 219-240, 1991.

CLARK, R.B.; MARANVILLE, J.W.; GORZ, H. J. Phosphorus efficiency of sorghum grown with limited phosphorus. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM IN PLANT ANALYSIS AND FERTILIZER PROBLEMS, 8., 1978, Aukland. **Proceedings ...** Aukland: Department of Scientific and Industrial Research, 1978. p. 93-99.

CLARK, R.B.; MARANVILLE, J. W.; ROSS, W.M. Differential phosphorus efficiency in sorghum. In: GRAIN SORGHUM RESEARCH UTILIZATION CONFERENCE, 10., 1977, Wichita. **Proceedings ...** Wichita: KS 67204, 1977. p. 1-2.

COOKE, G.W. Maximizing fertilizer efficiency by overcoming constraints to crop growth. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 10, p.1357-1369, 1987.

DUNLOP, J., LAMBERT, M.G.; BOSCH, V.D.; CARADUS, J.R.; HART, A.L.; WEWALA, G.S.; MACKAY, A.D.; HAY, M.J.M.A.; Program to breed a cultivar of *Trifolium repens* L. for more efficient use of phosphorus. In: EL BASSAN, N.; DAMBROTH, M.; LOUGHMAN, B.C. **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Dordrecht: Kluwer, 1990. p. 547-552.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 1999. 370 p.

EPSTEIN, E.; JEFFERIES, R.L. The genetic basic of ion transport in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Stanford, v. 15, p. 169-184, 1964.

FAGERIA, N.K. Rice in Cerrado soils with water deficiency and its response to phosphorus. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, p. 259-265, 1980.

FAGERIA, N.K. **Maximizing crop yields**. New York: Marcel Dekker, 1992. 274 p.

FAGERIA, N.K. Nutrição mineral. In: VIEIRA, N.R.A.; SANTOS, A.B. dos; SANTANA, E.P. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 172-196.

FAGERIA, N.K. Nutrient management for improving upland rice productivity and sustainability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, p. 2603-2629, 2001.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. Avaliação de cultivares de arroz para maior eficiência na absorção de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, p. 777-782, 1981.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. Avaliação de cultivares de arroz em função de suas de suas tolerâncias ao baixo nível de fósforo disponível do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 6, n. 2, p. 146-151, 1982.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.B.; CARVALHO, J.L.P. Influências do ferro no crescimento e na absorção de P, K, Ca e Mg pela planta de arroz em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v. 16, n. 4, p. 483-488, 1981.

FAGERIA, N.K.; MORAES, O.P.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, J. Response of rice cultivars to phosphorus supply on na oxisol. **Fertilizer research**, Dordrecht, v. 16, p. 195-206, 1988.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M. Nutrição de fósforo na produção de arroz de terras altas. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, São Pedro. **Anais ...** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2004. cap 15, p. 401-418.

FERNANDES, C. **Eficiência de diferentes culturas e híbridos de milho quanto a utilização de Fósforo em solos de serrado**. 2001. 51 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

FERREIRA, C.M.; SOUSA, I.S.F.; VILLAR, P.M. **Desenvolvimento tecnológico e dinâmica da produção do arroz de terras altas no Brasil**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 118 p.

FERREIRA, M.E.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. (Ed.). **Cultura do arroz de sequeiro: fatores afetando a produtividade**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. 422 p.

FOX, R.H. Selection for phosphorus efficiency in corn. **Communications Soil Science Plant Analyses**, New York, v. 9, p. 13-37, 1978.

FURLANI, A.M.C. **Differences in phosphorus uptake, distribution, and use by sorghum genotypes grown with low phosphorus**. 1981. 103 p. Thesis (Ph.D.) – University of Nebraska, Lincoln, 1981.

FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R.; AZZINI, L.E.; CAMARGO, O.B. Avaliação de genótipos de arroz quanto à eficiência na utilização de fósforo em solução nutritiva e em solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 3, p. 291-303, 1983.

FURLANI, P.R.; FURLANI, A.C.M. Tolerância a alumínio e eficiência a fósforo em milho e arroz: características independentes. **Bragantia**, Campinas, v. 50, n. 2, p. 331-340, 1991.

GARRITY, D.P.; MAMARIL, C.P.; SOEPARDI, G. Phosphorus requirements in upland rice-based cropping systems. In: INTERNACIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. **Phosphorus requeriments for sustainable agriculture in Asia and Oceania**. Manila, 1990. p. 333-347.

GERLOFF, G.C. Plant efficiencies in the use of nitrogen, phosphorus, and potassium. In: WORKSHOP ON PLANT ADAPTATION TO MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS, 1976, Beltsville. **Proceedings ...** Beltsville: Cornell University, 1976. p.161-173.

GRAHAM, R.D. Breeding for nutritional characteristics in cereals. In: TINKER, P.B.; LAUCHI, A.(Ed.). **Advances in plant nutrition**. New York: Praeger, 1984. p. 57-102.

GUIMARAES, E.P.; SANT'ANA, E.P. Sistema de cultivo. In.: VIEIRA, N.H.E.; SANTOS, A.B.; SANT'ANA, E.P. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 1999. p. 17-35.

HOCKING, P.J.; KEERTHISINGHE, G.; SMITH, F.W.; RANDALL, P.J. Comparison of the ability of different crop species to access poorly-available soil phosphorus. In: TANDO, T.; FUJITA, K.; MAE, T.; MATSUMOTO, H.; MORI, S.; SEKIYA, J. **Plant nutrition: for sustainable food production and environment**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p. 305-308.

HOWELL, R.W.; BERNAD, R.L. Phosphorus response of soybean varieties. **Crop Science**, Madison, v. 1, p. 311-313, 1961.

ISRAEL, D.W.; RUFTY JUNIOR, T.W. Influence of phosphorus nutrition on phosphorus and nitrogen utilization efficiencies and associated physiological response in soybean. **Crop Science**, Madison, v. 28, p. 954-960, 1988.

KIRK, G.J.D.; GEORGE, T.; COURTOIS, B.; SENADGIRA, D. Opportunities to improve phosphorus efficiency and soil fertility in rainfed lowland and upland rice ecosystems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 56, p. 73-92, 1998.

KOYAMA, T.; CHAMMER, C.; SNITWONGE, P. **Varietal difference of the rice in the resistance to phosphorus deficiency**. Tokyo: Tropical Agriculture Center Research, 1973. 65 p. (Technical Bulletin, 4).

LINDGREN, D.T.; GABELMA, W.H.; GERLOFF, G.C. Variability of phosphorus uptake and translocation in *Phaseolus vulgaris* L. under phosphorus stress. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 105, n. 5, p. 674-7, 1977.

LONERAGAN, J.F.; ASHER, C.J. Response of plants to phosphate concentration in solution culture. **Soil Science**, New Brunswick, v. 103, p. 311-318, 1967.

MACHADO, C.T.T. **Caracterização de genótipos de milho quanto a parâmetros morfológicos, fisiológicos e microbiológicos associados à eficiência de absorção e uso de fósforo.** 2000. 366 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.

MAHADEVAPPA, M.; IKEHASHI, H.; PONNAMPERUMA, F.N. Testing for yield stability in problem soils. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH CONFERENCE, 1979, Los Baños. **Paper presented...** Los Baños: IRRI, 1979. p. 1974-1977.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: Potafos, 1989. 201 p.

MARTINEZ, H.E.B.; NOVAES, R.F.; SACRAMENTO, L.V.S. do; RODRIGUES, L.A. Comportamento de variedades de soja sobre diferentes níveis de fósforo: II. Translocação do fósforo dissolvido e eficiência nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 239-244, 1993.

MOLL, R.H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 562-564, 1982.

NIELSEN, N.E.; BARDER, S.A. Difference among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, p. 695-698, 1978.

PALMER, B.; JESSOP, R.S. Some aspects of wheat cultivar response to applied phosphate. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 47 p. 63-67, 1977.

PINHEIRO, B.S.; STONE, L.F.; SILVA, S.C. da. **Minimização do risco por deficiência hídrica em arroz de sequeiro na região dos serrados.** Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2000. 39 p. (Circular Técnica, 36).

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade.** Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31 p. (Boletim Técnico, 81).

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1987. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

SANFORD, D.A. van.; MACKOWN, C.T. Variation in nitrogen use efficiency among soft red winter wheat genotypes, **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 72, p. 152-163, 1986.

SANT'ANA, E.V.P. **Comportamento de genótipos de arroz (*Oriza sativa* L.) de terras altas em dois níveis de fósforos em solo e in vitro**. 2000. 143 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

SANTOS, J.C.P.; KAMINSKI, J.; ERNANI, P.R.; MAFRA, A.L. Rendimento de massa seca e absorção de fósforo pelo milho afetado pela aplicação de fósforo, calcário e inoculação com fungos micorrízicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 63-67, 1996.

SAS INSTITUTES. **SAS for linear models**: a guide to the ANOVA and GLM procedures. 5th ed. Cary, 1985. 956 p.

SCHENK, M.K.; BARBER, S.A. Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 880-883, 1979.

SNAYDON, R.W.; BRADSHAW, A.D. Differences between natural populations of *Trifolium repens* L. in response to mineral nutrients, I. Phosphate. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 13, p. 422-434, 1962.

SOARES, A.A.; MORAES, O.P.; SOARES P.C. Competição de cultivares e linhagens de arroz de sequeiro em Minas Gerais. Resultados de 1984/85 e 1985/86. In: REUNIÃO NACIONAL DE ARROZ, 3., 1987, Goiânia. **Resumos ...** Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 1987. p. 511-514.

VERMA, M.M.; CHAHAL, G.S.; MURTY, B.R. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 53, p. 89-91, 1978.

VENKOVSKI, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 392 p.

WHITEAKER, G.; GERLOFF, G.C.; GABELMAN, W.H.; LINDGREN, D. intraspecific differences in growth of beans at stress levels of phosphorus. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 101, p. 472-475, 1976.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: IRRI, 1981. 269 p.

ZEIGLER, R.S.; PANDEY, S.; MILES, J.; GOURLEY, L.M.; SARKARUNG, S. Breeding and selection of acid-soil-tolerant crops: rice, sorghum, maize and tropical pastures. In: SYMPOSIUM PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 3., 1995, Dordrecht. **Proceedings ...** Dordrecht: Kluwer Academic, 1995. p. 391-406.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. **SANEST**: sistema de análises estatísticas para microcomputadores. Pelotas: UFPel, 1984. 75 p.

3 EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES DE FÓSFORO EM CULTIVARES DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) TRADICIONAIS E MODERNOS

Resumo

O presente trabalho constou de um experimento realizado em casa-de-vegetação do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP. O experimento foi conduzido em vasos com 3 kg de terra de um Latossolo Vermelho Amarelo, com baixo teor de P (3 mg dm^{-3}). As doses de P aplicadas foram 25 e 100 mg kg^{-1} , mais o controle. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, sendo a unidade experimental repetida três vezes. Quatro cultivares de arroz de terras altas foram utilizados, sendo duas tradicionais (Bico Ganga e Guarani) e duas modernas (Bonança e Primavera). As fontes utilizadas foram à fonte padrão de elevada solubilidade em água (i) fosfato monocálcico - FMC, e as fontes testadas de baixa solubilidade (ii) termofosfato – Termo; (iii) multifosfato magnésiano – MFM e (iv) fosfato natural de Arad - FN. Este experimento teve como objetivo avaliar a eficiência agronômica relativa de fontes de fósforo com solubilidade variável em água em cultivares de arroz tradicionais e modernos, tendo como hipótese que fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade apresentam maior eficiência agronômica relativa para cultivares de arroz tradicionais quando comparados aos modernos. Utilizando como parâmetro a produção de matéria seca, os cultivares de arroz tradicionais ou modernos apresentam diferentes capacidades de resposta à aplicação de fontes e doses de fósforo, o que pode ser explicado pela menor necessidade deste nutriente para os cultivares com maior eficiência de utilização. De acordo com os resultados considerando as doses de P aplicadas conclui-se que a EAR das fontes de baixa solubilidade Termo e FN varia de acordo com os cultivares, independentemente de ser tradicional ou moderno. Com base na produção de matéria seca a EAR destas fontes foi maior e menor para os cultivares tradicionais Bico Ganga e Guarani, respectivamente, em comparação aos cultivares modernos. O estudo mostrou que alguns cultivares de arroz de terras altas podem levar a maior EAR das fontes de baixa solubilidade. A recomendação de fontes de P para esta cultura deve levar em consideração os cultivares utilizados.

Palavras-chave: Fontes de fósforo; Fosfato natural; Arroz de terras altas.

Agronomic effectiveness of phosphorus sources for traditional and modern cultivars of upland rice

Abstract

The study consisted in a greenhouse experiment conducted at the Department of Soil and Plant Nutrition, ESALQ/USP. The soil was a Red Yellow Latosol with a very low content of P (3 mg dm^{-3}). The rates of P applied were of 25 and 100 mg P kg^{-1} , plus the control. Each treatment was repeated three times having blocks as the experimental design. Four cultivars of upland rice were selected, with two traditional (Bico Ganga and Guarani) and two modern (Bonança and

Primavera). The P sources utilized were a standard source with high water solubility: (i) monocalcium phosphate - MCP, and three sources with lower water solubility: (ii) termophosphate - Termo, (iii) multimagnesium phosphate - MMP, and (iv) Arad phosphate rock - PR. The experiment aimed to evaluate the relative agronomic effectiveness of P sources varying in water solubility in traditional and modern cultivars of upland rice, with the hypothesis that low water soluble P sources present higher agronomic effectiveness for traditional as compared to modern cultivars. Based on the dry-matter yield the traditional and modern cultivars showed differences in the response to sources and rates of P. This can be explained by the lower requirement of P by cultivars with higher efficiency of utilization. Considering the rates applied the RAE of the P sources Termo and PR varied according to the cultivars but not related to if traditional or modern. Considering dry-matter yield the RAE of these sources of P were higher and lower for the cultivars Bico Ganga and Guarani, respectively, when compared to the modern cultivars. The study showed that some cultivars of upland rice may lead to higher RAE of P sources with low water solubility. It seems to be necessary to take into account the upland rice cultivar for a better selection of the P source to be used.

Keywords: Phosphorus sources; Phosphate rock; Upland rice.

3.1 Introdução

O arroz é cultivado em todos os estados brasileiros utilizando dois sistemas básicos de cultivo, o arroz irrigado e o arroz de sequeiro, hoje denominado de terras altas. No final da década de 1960, cerca de 80% do arroz produzido no Brasil originava-se do sistema de terras altas. Em meados da década de 70, a quantidade produzida neste sistema caiu para aproximadamente 75 % da produção nacional, sendo produzido principalmente nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais e São Paulo. No início dos anos 1980, a relação entre a produção de arroz em sistema de terras altas e irrigado era de 1:3. Já no final da década de 90, a participação da produção do arroz irrigado total foi de 61 % e de arroz de terras altas 39 %, mantendo aproximadamente a mesma proporção atualmente (FERREIRA; SOUSA; VILLAR, 2005).

Os cultivares de arroz de terras altas podem ser classificados de forma geral em tradicionais e modernos. O primeiro apresenta porte alto, baixo perfilhamento e folhas longas e decumbentes; já o segundo se caracteriza por apresentar plantas com porte baixo, folhas eretas, maior perfilhamento e melhor qualidade de grãos, sendo finos e longos. Os cultivares tradicionais têm se mostrado mais adaptado às condições adversas de clima e solo, tornando-se uma alternativa viável para o melhoramento de arroz de terras altas na obtenção de cultivares mais adaptados à região do cerrado.

O sistema de cultivo de arroz de terras altas apresenta uma ampla variabilidade, sendo que devido às influências das condições edafoclimáticas a produtividade ainda é baixa quando comparado ao sistema irrigado, no entanto, aproximadamente 40 % da produção nacional são oriundas deste sistema, sendo provenientes de regiões centrais do país, abrangendo os Estados de Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais. As regiões produtoras estão localizadas em solos sob vegetação de cerrado, cuja produtividade é limitada principalmente por problemas de deficiência hídrica e de alguns nutrientes, principalmente o fósforo.

Os solos da região do cerrado em sua maioria são caracterizados pela elevada capacidade de fixação de fósforo, levando a teores muito baixo de P disponível para as plantas, além de baixo valor de pH, alta saturação por alumínio e baixa capacidade de troca catiônica, exigindo assim adubações fosfatadas elevadas e freqüentes para que os rendimentos das culturas sejam economicamente viáveis, fato esse que eleva os custos de produção.

Tendo em vista que a eficiência da adubação fosfatada está relacionada também com a capacidade dos cultivares em absorver e utilizar fósforo, duas alternativas para redução dos custos com adubação fosfatada seriam: (i) selecionar cultivares tradicionais ou modernos que apresentam maior eficiência na absorção e utilização de fósforo, (ii) utilizar fontes alternativas mais baratas, como os fosfatos naturais reativos na forma farelada, que em algumas condições podem apresentar eficiência agrônômica semelhante aos fosfatos solúveis.

As principais fontes de P utilizadas na agricultura são obtidas industrialmente pelo processo de acidulação de rochas fosfatadas e apresentam alta solubilidade em água, como os superfosfatos e os fosfatos amoníacos. Entretanto, nos últimos anos, a utilização de fosfatos naturais reativos aumentou acentuadamente, embora esses produtos apresentem baixa solubilidade em água, quando comparados aos fosfatos solúveis. Este pode ser atribuído à elevada eficiência agrônômica dos fosfatos naturais em algumas condições de solo. Outra razão é que em algumas regiões do País o custo dos fertilizantes fosfatados naturais é menor em relação aos acidulados. Com isso cresce a necessidade de estudos com fontes alternativas de fósforo de baixa solubilidade em água.

Novos trabalhos devem ser direcionados para avaliar a eficiência agrônômica de fontes de fósforo em cultivares de arroz de terras altas. É possível que a eficiência agrônômica dos fertilizantes varie em função do tipo de cultivar de arroz (tradicional ou moderno), com os fosfatos naturais apresentando maior eficiência para os cultivares tradicionais. Este estudo visa

avaliar fontes de fósforo para a cultura do arroz de terras altas e ainda verificar se os fertilizantes com menor solubilidade em água apresentam maior eficiência agronômica relativa para cultivares de arroz tradicionais quando comparados aos modernos.

3.2 Desenvolvimento

3.2.1 Revisão de Bibliográfica

3.2.1.1 Fósforo nos solos do cerrado

Atualmente, quase 25 % do território nacional são ocupados por cerrado, correspondendo a 207 milhões de hectares, dos quais 127 milhões são considerados agricultáveis. Os principais tipos de solos que compõem o cerrado estão distribuídos em aproximadamente 50 % de Latossolos, 15 % de Argissolos, 15 % de Neossolo Quartzarênico, 10 % de Neossolo Litólicos e Cambissolos e 6 % de Plintossolo. Juntas, essas classes representam mais de 95 % dos solos encontrados no cerrado (REZENDE; KER; BAHIA FILHO, 1996).

Os solos do cerrado são altamente intemperizados, apresentando como característica elevados teores de óxidos de ferro e alumínio, sendo a principal composição mineralógica da fração argila destes solos. A elevada acidez associada a essas características, confere problema de solubilidade dos nutrientes, especialmente no caso do fósforo. Outro aspecto é a baixa CTC, provocada pelos minerais de argila, ocasionando baixo teor de nutrientes nesses solos. Dentre os solos do cerrado, os Latossolos apresentam maior grau de intemperismo e com isto, elevada capacidade de fixação de fósforo (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Em estudos de revisão, Sanchez e Salinas (1981) demonstraram que aproximadamente 82 % da América Tropical são deficientes em fósforo. De acordo com Malavolta (1976), 75 % dos solos brasileiros têm teores baixos de fósforo e, entre os nutrientes N, P e K, o P é o mais usado em adubação no Brasil (RAIJ, 1991). Explica-se esta situação pela carência generalizada de fósforo nos solos brasileiros, principalmente no cerrado, devido à interação que existe entre esse nutriente e o solo.

A elevada capacidade de fixação de fósforo dos solos do cerrado tem sido comprovada em vários estudos (LEAL; VELOSO, 1973; WEAVER, 1974; FAGERIA; BARBOSA FILHO; CARVALHO, 1982). O fósforo da solução do solo é altamente fixado por meio da troca de ligantes (OH^- e OH_2^-) (NOVAIS; SMYTH, 1999). Essas características, aliadas aos valores

extremamente baixos de fósforo solúvel, têm sido um dos principais fatores que limitam a produção agrícola no cerrado.

Estudos conduzidos por Fageria e Barbosa Filho (1987) em Latossolo Vermelho Escuro do cerrado mostram que a adsorção do fósforo chega a 90 % do total aplicado. Estes resultados estão de acordo com Rodrigues (1980) que avaliou 100 solos do Estado de São Paulo e demonstrou que a fixação de fósforo chegou a 72% da quantidade aplicada. Segundo Ker (1995), alguns solos do cerrado podem fixar até 4.000 kg de fósforo por hectare. Vários estudos têm sido direcionados no sentido de acrescentar informações à literatura quanto ao manejo da adubação fosfatada nesses solos, uma vez que é importante enfatizar que os solos do cerrado são considerados de grande potencial agrícola no Brasil. O conhecimento detalhado das relações entre as características dos solos e os parâmetros de fixação de fósforo é necessário para o desenvolvimento de um programa eficiente de fertilização fosfatada nos solos sob vegetação de cerrado no Brasil.

3.2.1.2 Eficiência agronômica de fontes alternativas de fósforo

As reservas mundiais totais de rochas fosfáticas estão em torno de 163 bilhões de toneladas. Já as reservas nacionais atingem 2,27 bilhões de toneladas, contendo 222 milhões de toneladas de P_2O_5 , distribuídas nos Estados de Minas Gerais, Goiás, São Paulo e Santa Catarina. A maioria dessas regiões está em ambientes geológico vulcânico (LOPES, 2003; BRASIL, 2004).

As jazidas fosfáticas nacionais são constituídas principalmente de materiais de origem ígnea e de baixa solubilidade, conseqüentemente apresentam baixa eficiência agronômica quando aplicados *in natura* (ALCARDE; PONCHIO, 1980; GOEDERT; LOBATO, 1980). Deste modo, há necessidade de tratamento destes fosfatos visando elevar a sua solubilização.

No Brasil, assim como na maioria dos países, a opção mais utilizada é a solubilização com os ácidos sulfúrico e fosfórico, produzindo os superfosfatos e os fosfatos de amônio. Na agricultura brasileira mais de 90 % dos fosfatos utilizados são acidulados (GOEDERT; REIN; SOUZA, 1990). Estes produtos são de elevada solubilidade em água e eficiência agronômica, mas apresentam alguns problemas no aspecto industrial e econômico, como a necessidade de enxofre, que é importado em mais de 80 % (CARMO, 1994). Outra limitação destes processos é a exigência de concentrados fosfáticos como matéria prima com elevado teor de P_2O_5 e baixo

conteúdo de impurezas, o que tem levado a perdas de até 40 % do P_2O_5 extraído nas jazidas na fase de concentração do minério (LOBO; SILVA, 1984; RIEDER, 1986).

Algumas opções vêm sendo testadas visando minimizar estes problemas, o exemplo nesse sentido é a acidulação parcial e o tratamento térmico dos concentrados fosfáticos. Por acidulação parcial entende-se a utilização de qualquer ácido em proporção estequiométrica inferior a necessária para solubilização total do fosfato apatítico. Resultados com fosfatos de rocha nacionais, parcialmente acidulados tratados com ácido sulfúrico, nítrico e fosfórico mostraram que a eficiência agronômica foi inferior à dos superfosfatos estando, portanto, diretamente relacionada ao nível de acidulação utilizada (BARRETO et al., 1977; FRANCO, 1977). Estudos realizados em casa de vegetação indicaram que a eficiência agronômica de produtos obtidos a partir de várias rochas e níveis de acidulação com ácido sulfúrico foi equivalente à fração solubilizada do P_2O_5 total, expressa por ácido cítrico ou citrato neutro de amônio (GOEDERT; SOUZA, 1986; SIQUEIRA; FERREIRA; NASCIMENTO, 1986).

De acordo com Tisdale et al. (1985), outro método para aumentar o teor de fósforo solúvel dos fosfatos naturais de pouca reatividade é o tratamento térmico que consiste na exposição da rocha fosfática a elevadas temperaturas variando de 900 a 1500 °C, podendo ou não ser adicionados aditivos para aumentar sua solubilidade. O produto obtido deste processo é denominado “termofosfato”, que apesar de apresentar baixa solubilidade em água, possui teor de 19 % de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico, contendo também MgO e SiO_2 (LOPEZ; VASCONCELOS; NOVAIS, 1982). Entretanto este processo requer um consumo energético elevado, o que torna a sua produção onerosa.

Alguns produtos obtidos a partir do tratamento térmico de rochas fosfáticas têm apresentado eficiência similar ou mesmo superior à dos superfosfatos, conforme revisão efetuada por Goedert, Rein e Souza (1986). Essa superioridade, verificada em alguns trabalhos, pode ser atribuída, em parte, aos efeitos alcalinizante e nutricional dos silicatos de cálcio e magnésio presentes nestes produtos.

Diferenças mais amplas na eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados são normalmente obtidas quando a comparação é realizada entre fontes de diferentes procedências quanto ao processo de produção e características químicas. Neste contexto são esperadas diferenças na comparação entre fontes classificadas como fosfatos totalmente acidulados, fosfato natural de elevada reatividade (exemplos, Gafsa e Carolina do Norte) e fosfato natural de baixa

reatividade (exemplos, Tapira, Catalão e Araxá). Porém, poucos estudos foram realizados com fontes de fósforo obtidas por diferentes processos e sua eficiência agrônômica na cultura do arroz.

Considerando a reatividade das rochas fosfáticas, Leon, Fenster e Hammond (1986), classificaram em reatividade elevada, média, baixa e muito baixa. Segundo os autores, o fosfato natural de Arad de acordo com essa classificação é considerado de elevada reatividade, apresentando elevado potencial agrônômico. No Brasil, uma das principais fontes de fosfato natural comercializada é o Arad. Dentre os fosfatos naturais, mais de 80 % das rochas fosfáticas são oriundas de Israel, Marrocos, Tunísia, Togo e Argélia (ANDA, 2004).

As principais fontes de P produzidas pela indústria de fertilizantes no Brasil, são os fosfatos naturais, os fosfatos acidulados e os termofosfatos. A caracterização dessas fontes é realizada mediante determinações dos teores de P_2O_5 total, solúvel em CNA + H_2O , solúvel em ácido cítrico a 2 % e solúvel em água (RAIJ, 1991). A garantia dos fertilizantes totalmente acidulados é feita com base no teor de P_2O_5 solúvel em solução de citrato neutro de amônio + água e em água, exigindo elevada solubilidade (BRASIL, 2005). Diante disto, o principal objetivo das indústrias de fertilizantes é produzir fertilizantes fosfatados totalmente acidulados que apresentem elevada solubilidade em CNA + H_2O e em H_2O , conforme especificado na legislação (PROCHNOW, 2003).

Alguns fosfatos naturais têm demonstrado eficiência agrônômica semelhante à das fontes mais solúveis, o que pode ser compensador devido ao menor custo por unidade do nutriente. Entretanto, essa eficiência pode estar relacionada ao: (i) tipo da fonte, (ii) propriedades do solo, (iii) práticas de manejo e (iv) espécie vegetal (CHIEN; MENON, 1995). Além da espécie vegetal, outros fatores tais como cultivares podem influenciar na eficiência, o que deve encorajar novos estudos envolvendo fontes de fósforo e cultivares.

Segundo Haynes (1992), as espécies de plantas apresentam diferenças quanto a capacidade de absorver P dos fosfatos naturais. Essa característica está relacionada principalmente com o pH da rizosfera, com a demanda de Ca e P, e como esta demanda altera a composição da solução do solo na interface solo-raiz (CHIEN, 1978; KHASAWNEH; DOLL, 1978). Estudos conduzidos por Haynes (1992) comprovaram que plantas que diminuem o pH da rizosfera favorecem a solubilização dos fosfatos naturais. No entanto, plantas com desenvolvimento muito rápido e com alta taxa de acúmulo de P necessitam de elevadas

concentrações deste nutriente na solução do solo, sendo possível que os fosfatos naturais não mantenha esta concentração no nível desejado. Novos estudos são necessários para avaliar o acúmulo de P nas plantas de arroz em função da adubação com fosfatos naturais.

O desenvolvimento do sistema radicular é outra característica da planta que influencia na absorção de P proveniente de fosfatos naturais. Considerando que o movimento do íon fosfato do solo para a raiz ocorre predominantemente por difusão, se o sistema radicular for pequeno, torna-se necessário uma elevada concentração de P em solução por unidade de comprimento de raiz (SANZONOWICZ; GOEDERT, 1983). A morfologia do sistema radicular também é importante, tendo em vista que as plantas com raízes que tenham pêlos radiculares bem desenvolvidos são mais eficientes em absorver P da solução do solo, o que aumenta a absorção do P oriundo dos fosfatos naturais (KHASAWNEH; DOLL, 1978). Geralmente os cultivares modernos de arroz de terras altas tendem a ter raízes mais finas e longas quando comparadas aos tradicionais (SANT'ANA, 1994).

De acordo com Marwaha (1989), espécies de plantas com alta demanda de Ca e com capacidade de complexar este nutriente, devido à abundância de agentes complexantes, como citratos e oxalatos em suas raízes, podem apresentar elevada eficiência de absorção de P dos fosfatos naturais, pois estas características auxiliam na dissolução da apatita. O mesmo autor sugere uma classificação de espécie conforme a possibilidade de resposta aos fosfatos naturais: culturas como batata, trigo, e milho teriam baixa possibilidade de resposta; soja, aveia e cana-de-açúcar teriam média possibilidade; alfafa e ervilhas alta possibilidade de resposta. Poucos estudos têm sido realizados avaliando a possibilidade de respostas aos fosfatos naturais pela cultura do arroz de terras altas, podendo haver variações quanto ao tipo de cultivar tradicional ou moderno.

Fageria, Baligar e Wright (1988), utilizando quatro níveis de fósforo, comprovaram que os cultivares de arroz de terras altas variaram consideravelmente na capacidade de absorção de fósforo do solo, sendo que a produção de matéria seca da parte aérea e grãos foram características que possibilitaram melhor distinção em eficientes e não eficientes. Segundo estes autores, os cultivares de arroz de terras altas do tipo tradicional são caracterizados pelo porte alto, baixo perfilhamento e folhas longas. Entretanto, esses materiais são adaptados às condições adversas dos solos do cerrado e tem se mostrado mais eficiente na absorção de fósforo em solos pobres nesse nutriente (FAGERIA; BARBOSA FILHO, 1982).

Considerando a melhor eficiência na utilização do fósforo disponível pelos cultivares de arroz, sugere-se o uso de fosfato natural, o qual se caracteriza como fonte alternativa e econômica de fósforo. No entanto, faltam resultados de pesquisas que evidenciem a eficiência agrônômica destes fertilizantes para os cultivares que tenham maior eficiência no uso de P, fazendo com que novos estudos sejam direcionados para avaliar a viabilidade do uso de fosfatos naturais reativos como fonte de P para a cultura do arroz. Diante deste contexto, este estudo busca avaliar as fontes de fósforo e verificar se as fontes de menor solubilidade em água apresentam maior eficiência agrônômica relativa para cultivares de arroz tradicionais quando comparados aos modernos.

3.2.2 Material e Métodos

3.2.2.1 Caracterização do solo

O solo utilizado neste experimento foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), sendo coletado na Serra de Itaqueri no município de Itirapina-SP. O critério que definiu a escolha do solo foi à textura média e o baixo teor de fósforo de acordo com conceito de suficiência. Essas características são consideradas adequadas para realização de estudos com fontes e doses de fósforo.

Para a realização deste experimento foi coletada amostra de terra do referido solo na profundidade de 0-0,2 m, em seguida colocadas para secar ao ar, sendo destorroadas e passadas em peneira com malha de 4 mm de diâmetro. A caracterização química das amostras de terra foi feita segundo Raij e Quaggio (1983), sendo o teor de P de 3 mg dm^{-3} , considerado muito baixo quanto ao conceito de suficiência (Tabela 1). A análise granulométrica realizada pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1999), indicou teores de areia, silte e argila de 680, 20 e 300 g kg^{-1} , respectivamente.

Tabela 1 – Resultado da análise química do solo

Solo	Prof.	pH	MO	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	M
	Cm	CaCl ₂	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	----- $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ -----					-----			---- % ----	
LVA	0 - 20	4,0	20	3	6	0,2	2	1	7	34	3,2	37,2	9	69

3.2.2.2 Caracterização das fontes de fósforo

As fontes de P utilizadas neste estudo apresentam características distintas quanto ao processo de obtenção e solubilidade em água. Esses parâmetros definiram a escolha das fontes para realização do experimento de eficiência agrônômica.

Tendo em vista o objetivo do trabalho proposto às fontes escolhidas foram: (i) fosfato monocálcico (FMCpa): fonte padrão de P com 97 % do teor de P solúvel em água; (ii) Termofosfato (Termo): fertilizante resultante do tratamento térmico de rochas fosfática (GUARDANI, 1987; SOUZA; YASUDA, 2003). (iii) Multifosfato magnésiano (MFM); (iv) Fosfato natural de Arad (FN). Os teores de P_2O_5 foram determinadas de acordo com Brasil (1983). A fração de P encontrada na análise quanto à solubilidade do P_2O_5 total, solúvel em água, solúvel em CNA + H_2O e solúvel em ácido cítrico 2 %, estão descritas na Tabela 2. A razão da fração solúvel em água na fração solúvel em CNA + H_2O indica o grau de solubilidade da fonte.

Tabela 2 – Teores de P_2O_5 total, solúvel em H_2O , solúvel em CNA + H_2O , solúvel em ácido cítrico a 2 % e porcentagem da fração solúvel em H_2O na fração solúvel em CNA + H_2O (Fi), das fontes de P utilizadas no experimento

Fonte de P ¹	Teor de P_2O_5				Fi ²
	Total	H_2O	CNA+ H_2O	Ac. Cítrico	
			%		
FMC	57,7	56,1	57,1	57,5	98
MFM	18,8	3,7	17,4	15,3	21
TERMO	16,5	0,2	6,0	15,9	3
FN	31,1	1,1	5,2	10,9	21

¹ FMC: fosfato monocálcico; MFM: multifosfato magnésiano; Termo: termofosfato; FN: fosfato natural (Arad).

² (P_2O_5 solúvel em água/ P_2O_5 solúvel em citrato neutro amônio + água)x100

3.2.2.3 Cultivares de arroz utilizados no experimento

Foram selecionados 4 cultivares de arroz de terras altas divididos em dois grupos: (i) tradicionais (Bico Ganga e Guarani) caracterizados pelo porte alto, baixo perfilhamento, folhas longas e adaptados às condições adversas de solo e (ii) modernos (Bonança e Primavera), apresentando porte baixo ou médio, maior número de perfilhos, folhas eretas e melhor qualidade de grãos, sendo finos e longos.

Os cultivares foram desenvolvidos pelo programa de melhoramento de arroz de terras altas no Brasil, com exceções dos cultivares Bonança, que foi melhorado geneticamente na Colômbia, e o cultivar Bico Ganga, que foi obtido por meio de seleção junto aos produtores no

Brasil, portanto considerado o mais tradicional sendo sua genealogia desconhecida. Esses materiais genéticos são recomendados principalmente para as regiões do cerrado, onde se localizam os estados da Região Centro Oeste e Norte, entretanto os materiais tradicionais praticamente deixaram de ser cultivados nas áreas com alto padrão tecnológico, passando a ser de maior interesse para os melhoristas na obtenção de características desejáveis em novos cultivares (FERREIRA; SOUSA; VILLAR, 2005). As sementes para conduzir este estudo foram fornecidas pela Embrapa Arroz e Feijão (Centro Nacional de Arroz e Feijão – CNPAF), que atua no melhoramento do arroz. As informações de interesse referentes aos cultivares podem ser encontradas na Tabela 3.

Tabela 3 – Nome, genealogia, origem, ano, tipo de planta, ciclo e registro no banco ativo de germoplasma da Embrapa, de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) de terras altas utilizados no experimento

Nome	Genealogia	Origem	Ano	Tipo	Ciclo	Reg. no BAG
Bico Ganga	Tradicional	Brasil	1950	Tradicional	Tardio	CNA 0412
Guarani	IAC 25/63-83	Brasil	1986	Tradicional	Precoce	CNA 4121
Bonança	CT7244-9-2-1-52-1/CT7232-5-3-7-2-1p/CT 6196-33-11-1-3-AP	Colômbia	1999	Moderno	Semi-precoces	CNA 8172
Primavera	IRAT 10/L5 85-185	Brasil	1994	Moderno	Precoces	CNA 8070

3.2.2.4 Condução do experimento em casa de vegetação

A condução do experimento utilizando as fontes de P e os cultivares de arroz de terras altas para avaliar a eficiência agrônômica, foi feita em casa de vegetação do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP, no período de 15 de outubro a 20 de dezembro de 2005.

Adicionou-se amostra de 3 kg de terra em vasos de plástico com capacidade de 3,5 kg. Para correção da acidez o solo foi incubado por 20 dias com calcário dolomítico (PRNT: 91,8), objetivando elevar a saturação por base a 50 %, de acordo com a recomendação oficial do Boletim 100 (RAIJ et al., 1987). Para permitir maior reação do calcário as amostras foram homogêneas e a umidade mantida em 70 % da capacidade de campo.

A adubação básica foi de 200 mg de N kg⁻¹ na forma de uréia e 200 mg de K kg⁻¹ na forma de KCl, sendo os micronutrientes adicionados ao solo na forma de solução contendo as seguintes dosagens, 10 mg kg⁻¹ de Mn, Zn e Fe; 5 mg kg⁻¹ de B e Cu e 1 mg kg⁻¹ de Mo.

As fontes de P fosfato monocálcico (FMCpa), termofosfato (Termo), multifosfato magnésiano (MFM) e fosfato natural de Arad (FN), foram aplicadas com base no P total na forma de pó, sendo misturadas às amostras de solo e homogeneizadas.

Os tratamentos constaram de 4 cultivares, sendo 2 do tipo tradicional (Bico Ganga e Guarani) e 2 do tipo moderno (Bonança e Primavera), 4 fontes de P (FMCpa, Termo, MFM e FN), 2 doses de P (25 e 100 mg de P kg⁻¹) mais o controle, sendo a unidade experimental básica repetida três vezes (Apêndice I). O delineamento utilizado foi o de blocos completos ao acaso.

Nove sementes de arroz foram semeadas por vaso de 3 kg de terra, 6 dias após a emergência foram desbastadas para 3 plantas por vaso. A terra dos vasos foi umedecida a 60% da capacidade de campo, sendo mantida assim durante todo o experimento. A coleta das plantas ocorreu aos 60 dias após a emergência, colocadas em estufa a 60°C até atingir o peso constante.

Foram avaliados os seguintes parâmetros: produção de matéria seca da parte aérea, concentração de P na matéria seca (Apêndice J), determinado pela metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1989), P acumulado na planta, eficiência de utilização de fósforo e eficiência agrônômica relativa (EAR) das fontes de fósforo.

3.2.2.5 Análise dos dados

Os resultados dos parâmetros avaliados foram submetidos à análise da variância, verificando o efeito de cultivares, fontes, doses de P, e a existência ou não de interação entre esses fatores. A comparação das médias foi feita pelo teste de Tuckey, ao nível de 95 % de probabilidade, utilizando o pacote estatístico Sanest (ZONTA; MACHADO, 1984). Modelos matemáticos de regressão foram testados utilizando o pacote estatístico SAS (SAS, 1985), sendo escolhido aquele com maior coeficiente de determinação (R^2). As curvas foram ajustadas pelo Software Sigma Plot® para avaliar o efeito das fontes e doses dentro de cada cultivar. O ajuste de resposta em função de doses aplicadas foi feito utilizando-se os modelos que seguem:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i X + \varepsilon_i, X \geq 0,$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i \ln X + \varepsilon_i, X \geq 1 \text{ ou}$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i X^{1/2} + \varepsilon_i, X \geq 0$$

onde Y_i é a produção de matéria seca ou P acumulado, X é a dose de P aplicada, β_i é o coeficiente angular da regressão para a fonte i , β_0 é o ponto comum de intersecção das regressões com o eixo Y, e ε_i o termo de erro para a regressão proposta.

A eficiência agronômica relativa (EAR) das fontes foi calculada de duas formas:

A primeira, utilizando os coeficientes do modelo de regressão de melhor ajuste:

$$EAR_i = \frac{\beta_i}{\beta_{FMCpa}} \times 100 \quad (1)$$

onde β_i é o coeficiente angular da fonte testada e o β_{FMCpa} o coeficiente angular da fonte padrão. A comparação destas razões permite classificar as fontes em relação à fonte padrão de P em termos de eficiência potencial para produzir resposta (CHIEN; SALE; HAMMOND, 1990).

A segunda, levando em consideração as doses de P aplicada:

$$EAR_i = \frac{Y_i - Y_t}{Y_p - Y_t} \times 100 \quad (2)$$

onde EAR_i é a eficiência agronômica relativa da fonte i e Y_i , Y_t e Y_p a produção de matéria seca ou P acumulado pela fonte i , pela testemunha e pela fonte padrão (FMC), respectivamente.

3.2.3 Resultados e discussão

3.2.3.1 Análise da variância

Os dados de produção de matéria seca e P acumulado apresentados nos apêndices K e L foram submetidos à análise de variância para verificar os efeitos dos fatores estudados, sendo que os valores de F encontram-se na Tabela 4. De acordo com a análise da variância, os parâmetros dependentes, produção de matéria seca e P acumulado, foram afetados significativamente pelas variáveis independentes cultivar, fonte e dose. Considerando as avaliações das interações existentes, é possível verificar que para produção de matéria seca, todas as interações possíveis tiveram efeitos significativos. Entretanto para o parâmetro P acumulado às interações cultivar x fonte e cultivar x fonte x dose, não foram significativas. Estes resultados indicaram a necessidade de se realizar o desdobramento das interações, priorizando o maior nível de interação podendo a mesma ser dupla ou tripla. As interpretações basearam-se no objetivo principal do estudo que foi avaliar os efeitos de fontes e doses de P para cultivares de arroz tradicionais e modernos.

Tabela 4 – Resultados da análise da variância com valores de F e coeficiente de variação (C.V.)

Fontes de Variação	G L	MSPA	P acumulado
		Valor F	Valor F
Bloco	2	-	-
Cultivar (C)	3	129,17 **	7,33 **
Fonte de P (F)	3	38,16 **	7,11 **
Dose de P (D)	2	7591,63 **	1889,12 **
C x F	9	3,15 **	0,90 ns
C x D	6	52,80 **	4,49 **
F x D	6	46,59 **	17,29 **
C x F x D	18	5,20 **	0,77 ns
C.V. (%)		7,78	17,49

ns, ** não significativo e significativo a 1% pelo teste F respectivamente.

3.2.3.2 Produção de matéria seca pelos cultivares de arroz

Dentre os modelos de regressão testados o modelo do tipo raiz quadrada foi o que melhor descreveu a relação entre produção de matéria seca pelos cultivares de arroz e as doses de P aplicadas para todas as fontes. Os parâmetros estimados das regressões estão apresentados na Tabela 5. Os gráficos destas relações estão mostrados na Figura 1, podendo-se notar que houve resposta para todas as fontes testadas. Os resultados da produção de matéria seca variaram em função da solubilidade das fontes para todos os cultivares considerando a faixa de doses de P aplicada, exceto para o cultivar tradicional Bico Ganga, em que o grau de solubilidade das fontes não influenciou na produção de matéria seca (Figura 1A). A produção de matéria seca do cultivar tradicional Guarani e cultivares modernos foi menor para a fonte FN, o que está relacionado com sua solubilidade (Figuras 1B, 1C e 1D, respectivamente).

Os modelos ajustados para produção de matéria seca avaliaram as fontes de P considerando a amplitude das doses. Para melhor interpretação é necessário verificar os efeitos dentro de cada dose aplicada. A Tabela 6 apresenta o desdobramento da interação dos três fatores: cultivar, fonte e dose. Todos os cultivares avaliados responderam à aplicação de P independente da fonte utilizada (Figura 1 e Tabela 6). Considerando-se a dose de 25 mg P kg⁻¹ verifica-se uma ampla variação na produção de matéria seca pelos cultivares. Nesta dose, para todas as fontes avaliadas, a produção de matéria seca do cultivar tradicional Bico Ganga foi maior que no moderno Bonança (Tabela 6).

Neste sentido, tomando como exemplo as fontes de P de menor solubilidade Termo e FN, o cultivar Bico Ganga superou a produção de matéria seca do cultivar Bonança em 79 % e 88 %, respectivamente, indicando maior eficiência destas fontes para o cultivar tradicional Bico Ganga.

Na dose de 25 mg P kg⁻¹ a maior produção de matéria seca pelos cultivares foi obtida utilizando a fonte MFM, diferindo da fonte padrão (FMC) para os cultivares modernos. Esta diferença pode ser explicada pelo fato de que a produção de matéria seca destes cultivares na fonte FMC foi baixa (11,5 g vaso⁻¹) (Tabela 6). Este baixo rendimento pode estar relacionado à aplicação desta fonte na forma de pó, o que favorece o processo de adsorção de P pelo solo, tendo em vista que, conhecidamente, os fosfatos acidulados devem ser aplicados na forma granulada. Este mesmo efeito não foi observado nos cultivares tradicionais sugerindo que estes possuem algum mecanismo que possibilita a solubilização do P adsorvido. Estudos conduzidos por Liu, Shi e Fan (1990) demonstram que cultivares de arroz podem liberar quantidades significativas de ácidos orgânicos (malato e citrato) de suas raízes, provocando o abaixamento do pH, promovendo assim a solubilização do P fracamente adsorvido.

Os cultivares Guarani (tradicional) e Primavera (moderno) apresentaram maiores produções de matéria seca na dose de 100 mg P kg⁻¹ para todas as fontes avaliadas, excetuando a fonte FN em relação ao cultivar Bico Ganga. O menor rendimento na produção de matéria seca em todas as fontes testadas na dose de 100 mg P kg⁻¹ foi observado para o cultivar moderno Bonança. Resultados semelhantes foram também obtidos na dose de 25 mg P kg⁻¹, o que sugere que este cultivar apresenta baixa eficiência de utilização de P tanto em baixo como em elevado teor deste nutriente independente da fonte aplicada.

Avaliando-se o efeito das fontes, verifica-se que a menor produção de matéria seca pelos cultivares na dose de 100 mg P kg⁻¹ foi obtida com a aplicação de FN. Este resultado pode ser atribuído a menor solubilidade desta fonte em CNA + H₂O. Resultados obtidos por Oliveira et al., (1984) demonstraram que a produção de matéria seca de culturas anuais foi menor quando cultivados com FN obtidos de rochas brasileiras em comparação aos fosfatos acidulados. De maneira geral, a produção de matéria seca na maior dose de P seguiu a ordem de solubilidade das fontes em CNA + H₂O, sendo FMC > MFM > Termo > FN (Tabela 6).

Tabela 5 – Parâmetros estimativos da regressão raiz quadrada ajustada para descrever a relação entre a matéria seca por cultivares de arroz tradicionais e modernos em função das fontes e dose de P

Fonte de P	Parâmetro	Bico Ganga	Guarani	Bonança	Primavera
		Matéria seca da parte aérea			
	β_0	0,70	0,62	0,28	0,44
FMCpa	β_1	3,99**	4,61**	3,23**	3,23**
Termo	β_2	3,83**	3,98**	3,01**	3,01**
MFM	β_3	4,16**	4,33**	3,28**	3,28**
FN	β_4	3,66**	3,50**	2,60**	2,60**
Observações		144	144	144	144
$S_y^{\wedge}$		3,65	2,57	3,00	4,66
R^2		0,98	0,99	0,98	0,98

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

A produção de matéria seca foi um bom parâmetro para avaliar a resposta de cultivares de arroz de terras altas a aplicação de fontes e doses de P em experimentos conduzidos em condições controladas. Os cultivares tradicionais ou modernos apresentam diferentes capacidades de resposta à aplicação de P, o que pode ser explicado pela menor necessidade de P em cultivares com maior eficiência na utilização deste nutriente. Fontes de fósforo de menor solubilidade em água podem apresentar respostas semelhantes aos fosfatos acidulados, dependendo dos cultivares e doses de P aplicadas.

Figura 1 - Efeito de fontes e doses de fósforo na produção de matéria seca da parte aérea de cultivares de arroz tradicionais, Bico Ganga (A) e Guarani (B), e modernos, Bonança (C) e Primavera (D). FMC: fosfato monocálcico; Termo: termofosfato; MFM: multifosfato magnésiano; FN: fosfato natural de Arad. Mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$)

Tabela 6 - Efeito de cultivares, fontes e doses de fósforo na produção de matéria seca de cultivares de arroz tradicionais e modernos

Cultivar	Fonte	Matéria seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)					
		P aplicado (mg kg ⁻¹)					
		0		25		100	
Bico Ganga	FMC	0,7 C a	a	25,1 B a	a	38,5 A a	b
	Termo	0,7 C a	a	20,5 B b	a	38,7 A a	b
	MFM	0,7 C a	a	25,9 B a	a	40,2 A a	b
	FN	0,7 C a	a	24,7 B a	a	34,6 A b	a
Guarani	FMC	0,6 C a	a	21,9 B a	a	47,6 A a	a
	Termo	0,6 C a	a	17,3 B b	ab	42,1 A b	a
	MFM	0,6 C a	a	23,3 B a	a	43,4 A b	a
	FN	0,6 C a	a	20,5 B ab	b	34,5 A c	a
Bonança	FMC	0,3 C a	a	11,5 B b	b	35,1 A a	c
	Termo	0,3 C a	a	11,5 B b	c	32,4 A a	c
	MFM	0,3 C a	a	17,9 B a	b	32,5 A a	c
	FN	0,3 C a	a	13,1 B b	c	26,4 A b	b
Primavera	FMC	0,4 C a	a	11,5 B d	b	47,7 A a	a
	Termo	0,4 C a	a	17,2 B c	b	42,7 A b	a
	MFM	0,4 C a	a	24,5 B a	a	44,6 A ab	a
	FN	0,4 C a	a	21,1 B b	b	35,0 A c	a

¹ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05). Letras maiúsculas nas linhas comparam as doses para cada fonte e para cada cultivar; letras minúsculas em negrito nas colunas comparam as fontes dentro de cada dose e de cada cultivar; letras minúsculas normais nas colunas comparam os cultivares para cada fonte e para cada dose. FMC: fosfato monocálcico; Termo: termofosfato; MFM: multifosfato magnésiano; FN: fosfato natural de Arad.

3.2.3.3 Absorção de fósforo pelos cultivares de arroz

O modelo de regressão do tipo raiz quadrada apresentou melhor ajuste para avaliar a relação entre a quantidade de P acumulado pelas plantas e as doses de P aplicadas para todas as fontes. O mesmo foi observado para produção de matéria seca. Os coeficientes das regressões estão apresentados na Tabela 7, sendo os gráficos apresentados na Figura 2. A quantidade de P acumulado pelas plantas apresentou pouca variação em função da solubilidade das fontes

avaliadas, considerando a amplitude das doses. A única diferença significativa ($P \leq 0,05$) observada foi para o cultivar moderno Primavera, em que a aplicação das fontes de P de baixa solubilidade Termo e FN proporcionou menor acúmulo de P em relação ao MFM (Figura 1D). As razões que explicam o menor acúmulo de P estão relacionadas a menor disponibilidade deste nutriente em curto espaço de tempo pelas fontes de baixa solubilidade, o que não ocorre com as fontes de elevada solubilidade. Outro motivo pode estar relacionado à característica responsiva deste cultivar, na qual grandes quantidades de P disponíveis são necessárias para que o material genético expresse seu potencial produtivo. Isto está de acordo com os resultados encontrados por Hanyes (1992) que mostram que plantas com desenvolvimento muito rápido e com alta taxa de acúmulo de P necessitam de elevadas concentrações deste nutriente na solução do solo, sendo possível que os fosfatos naturais não mantenham o teor de P desejado.

Conforme demonstrado na análise da variância (Tabela 4), houve interação para o parâmetro P acumulado apenas para cultivar x dose e fonte x dose, indicando a necessidade de desdobramento, o que está apresentado nas Tabelas 8 e 9. A quantidade de P acumulado pelas plantas variou em função das doses de P aplicada, o que era esperado tendo em vista o aumento de disponibilidade de P com a dose. Considerando todas as fontes, os cultivares não diferiram quanto à absorção de P na dose de 25 mg kg^{-1} . No entanto na dose de 100 mg kg^{-1} , verifica-se que os cultivares Guarani (tradicional) e Primavera (moderno) apresentaram maior eficiência na absorção de P (Tabela 8), o que levou também a maior produção de matéria seca nesta dose.

Avaliando o efeito da aplicação de fontes de fósforo na quantidade de P acumulado pela matéria seca dos cultivares, é possível observar que na dose 25 mg kg^{-1} as fontes MFM e FN proporcionaram maior acúmulo de P em comparação à fonte padrão (FMC). Estes resultados sugerem que, apesar da menor solubilidade destas fontes, os cultivares avaliados foram mais eficientes na absorção de P provenientes destas fontes. Outra razão que explica esta diferença pode estar relacionado a maior fixação de P da fonte padrão, o que ficou evidente na produção de matéria seca de alguns cultivares.

A quantidade de P acumulado pela matéria seca dos cultivares na dose de 100 mg kg^{-1} foi maior para as fontes FMC e MFM, indicando que em doses mais elevadas a disponibilidade de P aumenta para as fontes de maior solubilidade.

Os cultivares variam quanto sua capacidade de absorver P do solo, independente da fonte utilizada, o que é explicado por três fatores principais: (i) efeito geométrico das raízes, (ii) efeitos

das associações com fungos micorrizícos e (iii) efeito da solubilização do P. As fontes apresentam variações quanto sua capacidade de fornecer P às plantas, dentre os fatores destaca-se a solubilidade das fontes e o processo de adsorção de P no solo.

Tabela 7 – Parâmetros estimativos das regressões raiz quadrada ajustadas para descrever a relação entre quantidade de P acumulado por cultivares arroz tradicionais e modernos em função das fontes e dose de P

Fonte de P	Parâmetro	Bico Ganga	Guarani	Bonança	Primavera
		P acumulado			
	β_0	0,59	0,56	0,25	0,30
FMCpa	β_1	6,40 **	7,59 **	6,25 **	7,33 **
Termo	β_2	5,59 **	6,07 **	5,14 **	6,32 **
MFM	β_3	6,33 **	6,81 **	6,43 **	7,96 **
FN	β_4	5,36 **	6,45 **	6,07 **	6,32 **
Observações		144	144	144	144
$\hat{S}_y$		8,06	11,72	9,17	10,05
R^2		0,97	0,95	0,96	0,95

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Figura 2 – Efeito de fontes e doses de fósforo na quantidade de P acumulado na matéria seca da parte aérea de cultivares de arroz tradicionais, Bico Ganga (A) e Guarani (B), e modernos, Bonança (C) e Primavera (D). FMC: fosfato monocálcico; Termo: termofosfato; MFM: multifosfato magnésiano; FN: fosfato natural de Arad. Mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$)

Tabela 8 – Efeito de cultivares e doses de fósforo na quantidade de P acumulado pela parte aérea de arroz de terras altas tradicionais e modernos

Cultivar	Tipo	Níveis de P mg kg ⁻¹		
		0	25	100
		P acumulado (mg vaso ⁻¹)		
Bico Ganga	Tradicional	0,6 Ca	25,6 Ba	62,1 Ab
Guarani	Tradicional	0,5 Ca	25,2 Ba	72,3 Aa
Bonança	Moderno	0,3 Ca	22,5 Ba	63,7 Ab
Primavera	Moderno	0,2 Ca	27,1 Ba	74,2 Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras minúsculas na coluna comparam os cultivares e letras maiúsculas na linha comparam as doses.

Tabela 9 – Efeito de fontes e doses de fósforo na quantidade de P acumulado pela parte aérea de arroz de terras altas tradicionais e modernos

Fonte	Níveis de P mg kg ⁻¹		
	0	25	100
	P acumulado (mg vaso ⁻¹)		
FMC	0,4 Ca	19,6 Bb	76,9 Aa
Termo	0,4 Ca	20,9 Bb	62,4 Ab
MFM	0,4 Ca	27,2 Ba	73,0 Aa
FN	0,4 Ca	32,6 Ba	59,9 Ab

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras minúsculas na coluna comparam as fontes e letras maiúsculas na linha comparam as doses; FMC: fosfato monocálcico; Termo: termofosfato; MFM: multifosfato magnésiano; FN: fosfato natural de Arad.

3.2.3.4 Eficiência agronômica de fontes de fósforo

Os resultados da eficiência agronômica relativa das fontes utilizando como parâmetro a produção de matéria seca e o P acumulado estão apresentados na Tabela 10. O cálculo da EAR foi feito utilizando os coeficientes angulares das regressões (Tabela 5), para avaliar as fontes testadas em relação à fonte padrão em cada cultivar na amplitude das doses de P aplicada.

De acordo com a Tabela 10, verifica-se que a EAR das fontes com base na produção de matéria seca dos cultivares segue uma tendência clara quanto à solubilidade em água, tendo em vista que as fontes de maior solubilidade (FMC e MFM) tiveram maior eficiência. Relações

diretas entre grau de solubilidade e eficiência agronômica de fosfatos foram comprovadas em culturas anuais por Goerdert e Souza (1986).

A avaliação da EAR das fontes evidenciou algumas diferenças em função dos cultivares. Neste sentido, tomando como exemplo o cultivar tradicional Bico Ganga, a EAR das fontes de menor solubilidade (Termo e FN) foi maior que nos cultivares modernos (Bonança e Primavera) (Tabela 10).

A eficiência agronômica relativa utilizando o P acumulado, assim como para produção de matéria seca, mostrou uma relação clara entre a solubilidade e a eficiência das fontes para alguns cultivares. Exemplificando, houve uma relação direta entre a EAR das fontes e a solubilidade em água ($FMC > MFM > FN > Termo$) para o cultivar tradicional Guarani e em $CNA + H_2O$ ($FMC > MFM > Termo > FN$) para o cultivar tradicional Bico Ganga. Estes resultados sugerem que para os cultivares tradicionais pode haver uma relação entre a quantidade de P acumulado e a solubilidade das fontes.

Apesar das observações feitas com relação a EAR e a solubilidade das fontes, vale ressaltar que o objetivo central do trabalho foi verificar se as fontes de menor solubilidade em água apresentavam maior EAR para cultivares tradicionais quando comparados aos modernos. Utilizando-se o exemplo da EAR das fontes de menor solubilidade (Termo e FN), para o parâmetro matéria seca dos cultivares tradicionais Bico Ganga e Guarani, verifica-se claramente que para o primeiro cultivar existe um ligeiro aumento na EAR para estas fontes quando comparados aos cultivares modernos (Tabela 10). Entretanto para o segundo cultivar, a EAR das fontes citadas anteriormente foi menor quando comparados aos modernos. Resultados semelhantes foram observados quando utilizou-se EAR para o parâmetro P acumulado. Considerando-se a amplitude das doses de P aplicadas, observa-se que não houve uma tendência clara para maior EAR das fontes de menor solubilidade para os cultivares de arroz tradicionais, sendo possível concluir que a hipótese não ficou comprovada. Uma análise mais detalhada da EAR das fontes para cada dose aplicada poderia oferecer informações para uma interpretação mais adequada dos resultados.

Tabela 10 – Eficiência agronômica relativa (EAR) das fontes de P, com base na produção de matéria seca e P acumulado, nos cultivares de arroz moderno e tradicional

Cultivar	Eficiência agronômica relativa (%)							
	FMC	Termo	MFM	FN	FMC	Termo	MFM	FN
	Matéria seca da parte aérea				P acumulado			
Bico Ganga	100	96	104	92	100	87	99	84
Guarani	100	86	94	76	100	80	90	85
Bonanza	100	93	102	81	100	82	103	97
Primavera	100	93	102	81	100	86	109	86

FMC: fosfato monocalcico; Termo: termofosfato; MFM: multifosfato magnésiano; FN: fosfato natural de Arad;

Utilizando-se os dados de produção de matéria seca apresentados na Tabela 6 foi calculada a EAR dentro de cada dose, sendo os resultados apresentados na Tabela 11. A EAR das fontes MFM, Termo e FN, calculada na dose 25 mg P kg⁻¹ foi menor para os cultivares tradicionais (Bico Ganga e Guarani) quando comparados aos cultivares modernos (Bonanza e Primavera). Esta diferença pode ser explicada pela menor produção de matéria seca dos cultivares modernos na fonte padrão (FMC) e não a um aumento de eficiência das fontes de menor solubilidade. Estudo realizado por Quispe (2004) mostrou que elevada EAR de fontes de baixa solubilidade em solos de alta capacidade de fixação foi devido à diminuição drástica da produção de matéria seca na fonte FMC.

Avaliando a EAR das fontes de baixa solubilidade na dose de 100 mg P kg⁻¹ verifica-se que para o FN houve uma redução na EAR para todos os cultivares avaliados. Esta redução é atribuída à melhora na eficiência da fonte padrão em doses mais elevadas. Resultados encontrados por Nakayama et al. (1998) demonstraram que houve redução na EAR para fosfatos naturais em doses elevadas de P, sendo que em doses menores estes fosfatos apresentaram eficiência similar ao fosfato acidulado.

As fontes de baixa solubilidade Termo e FN apresentaram um bom desempenho agronômico para o cultivar Bico Ganga tanto com baixo (EAR de 81 e 98 % respectivamente) como em alto teor de P (EAR de 101 e 90 % respectivamente). No entanto os resultados obtidos em ambas as doses (25 e 100 mg P kg⁻¹) evidenciam que a EAR das fontes de P com baixa solubilidade não foi maior nos cultivares tradicionais em comparação aos modernos, o que não

comprova a hipótese. Os resultados mostram que a EAR das fontes de baixa solubilidade varia de acordo com os cultivares, independentemente de ser tradicional ou moderno.

Tabela 11 – Eficiência agrônômica relativa (EAR) das fontes dentro de cada dose, com base na produção de matéria seca de cultivares de arroz tradicionais e modernos

Cultivar	Eficiência agrônômica relativa (%)							
	FMC	Termo	MFM	FN	FMC	Termo	MFM	FN
	25 mg P kg ⁻¹ solo				100 mg P kg ⁻¹ solo			
Bico Ganga	100	81	103	98	100	101	104	90
Guarani	100	78	106	93	100	88	91	72
Bonança	100	99	157	114	100	92	93	75
Primavera	100	151	216	185	100	89	93	73

FMC: fosfato monocálcico; Termo: termofosfato; MFM: multifosfato magnésiano; FN: fosfato natural de Arad.

3.3 Conclusões

Utilizando como parâmetro a produção de matéria seca, os cultivares de arroz tradicionais ou modernos apresentam diferentes capacidades de resposta à aplicação de fontes e doses de fósforo.

A eficiência agrônômica relativa das fontes FMC e MFM foi maior quando comparada com as fontes Termo e FN, em todos os cultivares avaliados para os parâmetros produção de matéria seca e P acumulado, estando diretamente relacionado com a solubilidade em água.

Considerando as fontes de fósforo e cultivares avaliados, é possível concluir que a EAR das fontes de baixa solubilidade Termo e FN varia de acordo com os cultivares, independentemente de ser tradicional ou moderno. Com base na produção de matéria seca a EAR destas fontes foi maior e menor para os cultivares tradicionais Bico Ganga e Guarani, respectivamente, em comparação aos cultivares modernos.

Referências

ALCARDE, J. C.; PONCHIO, C. O. Caracterização das solubilidades das rochas fosfatadas brasileiras e termofosfatos em diferentes extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, n. 3, p. 196-200, 1980.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DISUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico ANDA**. São Paulo, 2004. 2 v.

BARRETO, A.C; VOLKWEISS, S.J.; DIAS, V.M.C.; STAMMEL, J.G. Efeito da granulação na eficiência do fosfato de Gafsa e do superfosfato triplo. In: VOLKEWEISS, S.J. **Estudos de fosfatos em casa de vegetação**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1977. p. 1-6. (Informativo Interno, 02-78).

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Análise de corretivos fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais**. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, 1983. 104 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Divisão de Corretivos e Fertilizantes. **Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes e biofertilizantes destinados à agricultura: legislação e fiscalização**. Brasília, 2005. 127 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção mineral. **Anuário mineral brasileiro 2001**. Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/dnpm._legis/amb2001.html. Acesso em 27 nov. 2004.

CARMO, A.J.B. **Tecnologia e competitividade na indústria de fertilizantes fosfatados**. 1994. 223 p. Dissertação (Mestrado em Economia) - Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

CHIEN, S.H. Dissolution of phosphate rock in solution and soils. In: SEMINAR OF PHOSPHATE ROCK FOR DIRECT APPLICATION, 1978, Muscle Shoal. **Proceedings ...** Muscle Shoal: International Fertilizer Development Center, 1978. p. 97-129. (IFDC. Special Publication).

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 41, n. 2, p. 227-234, 1995.

CHIEN, S.H.; SALE, P.W.G.; HAMMOND, L.L. Comparison of the effectiveness of phosphorus fertilizer products. In: INTERNATIONAL SYPOSIUM ON PHOSPHORUS REQUIREMENTS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE IN ASIA AND OCEANIA, 1990. Manila. **Proceedings ...** Manila: IRRI, 1990. p. 143-156.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 1999. 370 p.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. Avaliação de cultivares de arroz em função de suas de suas tolerâncias ao baixo nível de fósforo disponível do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 6, n.2, p. 146-151, 1982.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. Phosphorus fixation in oxisol of central Brazil. **Fertilizers and Agriculture**, Paris, v. 94, p. 33-47, 1987.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.T. Aluminum toxicity in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 11, p. 303-319, 1988.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; CARVALHO, J.R.P. Response of upland rice to phosphorus fertilization on an Oxisol of central Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 51-56, 1982.

FERREIRA, C.M.; SOUSA, I.S.F.; VILLAR, P.M. del. **Desenvolvimento tecnológico e dinâmica da produção do arroz de terras altas no Brasil**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 118 p.

FRANCO, M. **Fosfatos parcialmente acidulados com H_3PO_4 , HCl e H_2SO_4 na cultura do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench) em solo de cerrado de Ituiutaba, MG**. 1977. 75 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1977.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 3, p. 311-318, 1980.

GOEDERT, W.J.; SOUZA, D.M.G. Avaliação preliminar da eficiência de fosfatos com acidulação parcial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 75-80, 1986.

GOEDERT, W.T.; REIN, T.A.; SOUZA, D.M.G. de. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 3., 1986, Brasília, **Anais...** São Paulo: IBRAFOS, 1986. p. 415-429.

GOEDERT, W.J.; REIN, T.A.; SOUZA, D.M.G. Eficiência agronômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 521-30, 1990.

GUARDANI, R. Termofosfato magnesiano fundido, novos desenvolvimentos na tecnologia de produção. **Fertilizantes**. São Paulo, v. 9, p. 9-13, 1987.

HAYNES, R.L. Relative ability of a range of crop species to use phosphate rock and monocalcium phosphate as P sources when grown in soil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 60, p. 205-211, 1992.

KER, J.C. **Mineralogia, sorção e desorção de fosfato, magnetização e elementos traços de latossolos do Brasil**. 1995. 181 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

KHASAWNEH, F.E.; DOLL, E.C. The use of phosphate rock for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 30, p. 159-206, 1978.

LEAL, J.R.; VELOSO, A.C.X. Absorção de fosfato em latossolos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 8, p. 81-88, 1973.

LEON, L.A.; FENSTER, W.E.; HAMMOND L.L. Agronomic potential of eleven phosphates rock from Brazil, Colombia, Perú and Venezuela. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, n.3, p.798-802, 1986.

LIU, Z.Y.; SHI, W.M.; FAN, X. Rhizosphere effects of phosphorus and iron in soils. In: INTERNATIONAL CONGRESS SOIL SCIENCE, 14., 1990, Kyoto. **Transactions...** Kyoto: International Society Soil Science, 1990. p. 147-153.

LOBO, M.G.; SILVA, R.M. Produção de fertilizantes fosfatados. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 1984. p. 73-102.

LOPES, A.S. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo. In: SIMPÓSIO DE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2003, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Potafos; ANDA, 2003. 1 CD-ROM

LOPEZ, A.S.; VASCONCELOS, C.A.; NOVAIS, R.F. de. Adubação fosfatada em algumas culturas nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. In: EMPRAPA. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, DID, 1982. p. 176-178. (Documentos, 21).

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1989. 201 p.

MARWAHA, B.C. Rock phosphate holds the key to productivity in acid soils – a review. **Fertiliser News**, New Delhi, v. 34, n. 3, p. 23-29, 1989.

NAKAYAMA, L.H.I.; CACERES, N.T.; ALCARDE, J.C.; MALAVOLTA, E. Eficiência relativa de fontes de fósforos de diferentes solubilidades na cultura do arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 2, p. 183-190, 1998.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, E.L. de.; MUZILLI, O.; IGUE, K.; TORNERO, M.T.T. Avaliação da eficiência agronômica de fosfatos naturais. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Campinas, v. 8, p. 63-67, 1984.

PROCHNOW, L.I. Eficiência agronômica de fosfatos totalmente acidulados. In: SIMPÓSIO DE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2003, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Potafos; ANDA, 2003. 1 CD-ROM

QUISPE, J.F.S. **Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados com solubilidade variável em água em solo distintos quando a capacidade de fixação de fósforos**. 2004. 57 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 31 p. (IAC. Boletim Técnico, 81).

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A; FURLANI, A.M.C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1987. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

REZENDE, M.; KER, J.C.; BAHIA FILHO, F.C. Desenvolvimento sustentado do cerrado. In: ALVAREZ, V.H.V. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS; UFV, 1996. p. 169-200.

RIEDER, J.H. Destinação racional dos jazimentos fosfáticos nacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 1986, Brasília. **Anais...** São Paulo: IBRAFOS, 1986. cap. 3, p. 135-172.

RODRIGUES, M.R. **Fatores que afetam a fixação de fosfatos nos solos do estado de São Paulo**. 1980. 88 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1980.

SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. Low-input technologies for managing Oxisols and ultisols in tropical América. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 34, p. 279-406, 1981.

SANT'ANA, E.V.P. Associação genética entre características da parte aérea e do sistema radicular em arroz de sequeiro. In: ENCONTRO DE GENETICISTAS GOIANOS, 2., 1994, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 1994. p. 370-381.

SANZONOWICZ, C.; GOEDERT, W.T. **Uso de fosfatos naturais em pastagens**. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1983. 33 p. (Circular Técnica, 21).

SAS INSTITUTE. **SAS for linear models**: a guide to the ANOVA and GLM procedures. 5th ed. Cary, 1985. 956 p.

SIQUEIRA, M.M.; FERREIRA, V.; NASCIMENTO, J.P. RS virus diagnosis: comparison of isolation, immunofluorescence and enzyme immunoassay. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 81, p. 225-232, 1986.

SOUZA, E.C.A. de; YASUDA, M. **Uso agrônomo do termofosfatato no Brasil**. 2.ed Poços de Caldas: Fertilizantes Mitsui, 2003. 50 p.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan., 1985. 754 p.

WEAVER, R.M. Soil of the central plateau of Brazil. In: CORNELL UNIVERSITY. **Chemical and mineralogical properties**. Ithaca, 1974. p. 74-78.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. **SANEST**: sistema de análises estatísticas para microcomputadores. Pelotas: UFPel, 1984. 75 p.

APÊNDICES

Apêndice A - Efeito de cultivares e doses de fósforo na produção de matéria seca da parte aérea de plantas de arroz de terras altas tradicional e moderno – Ensaio preliminar

Trat	Tipo	Cultivar	Fonte ¹	Dose	MSPA (g vaso ⁻¹)			Média
				mg kg ⁻¹⁽²⁾	A	B	C	
1	Tradicional	Caiapó	Controle	0	0,26	0,26	0,24	0,25
2	Tradicional	Caiapó	FMC	12,5	0,81	1,09	0,75	0,88
3	Tradicional	Caiapó	FMC	25	2,55	3,97	2,51	3,01
4	Tradicional	Caiapó	FMC	50	4,28	3,76	4,43	4,16
5	Tradicional	Caiapó	FMC	100	8,38	7,48	5,37	7,08
6	Moderno	Bonança	Controle	0	0,06	0,12	0,10	0,09
7	Moderno	Bonança	FMC	12,5	0,49	0,50	0,47	0,49
8	Moderno	Bonança	FMC	25	2,03	2,55	1,48	2,02
9	Moderno	Bonança	FMC	50	3,76	5,21	4,26	4,41
10	Moderno	Bonança	FMC	100	7,18	7,54	6,68	7,13

¹FMC: fosfato monocálcico; ⁽²⁾ mg de P por quilograma de terra.

Apêndice B - Efeito de cultivares e doses de fósforo na quantidade de P acumulado pela parte aérea de plantas de arroz de terras altas tradicional e moderno – Ensaio preliminar

Trat	Tipo	Cultivar	Fonte ¹	Dose	P acumulado (mg vaso ⁻¹)			Média
				mg kg ⁻¹⁽²⁾	A	B	C	
1	Tradicional	Caiapó	Controle	0	0,10	0,10	0,10	0,10
2	Tradicional	Caiapó	FMC	12,5	0,57	0,68	0,55	0,60
3	Tradicional	Caiapó	FMC	25	2,55	3,41	2,64	2,87
4	Tradicional	Caiapó	FMC	50	5,31	4,29	7,27	5,62
5	Tradicional	Caiapó	FMC	100	12,57	12,79	12,67	12,68
6	Moderno	Bonança	Controle	0	0,01	0,03	0,03	0,02
7	Moderno	Bonança	FMC	12,5	0,33	0,27	0,29	0,30
8	Moderno	Bonança	FMC	25	2,19	2,73	1,76	2,23
9	Moderno	Bonança	FMC	50	5,11	5,42	7,37	5,97
10	Moderno	Bonança	FMC	100	11,13	14,33	12,83	12,76

¹FMC: fosfato monocálcico; ⁽²⁾ mg de P por quilograma de terra.

Apêndice C - Tratamentos utilizados no experimento de eficiência na absorção e uso de fósforo em cultivares de arroz do tipo tradicional e moderno

Tratamento ¹	Cultura	Tipo	Cultivar	Fonte ²	Dose mg P kg ⁻¹ (3)
1	Arroz	Tradicional	Caiapó	Controle	0
2	Arroz	Tradicional	Caiapó	FMC	25
3	Arroz	Tradicional	Caiapó	FMC	100
4	Arroz	Tradicional	Carajás	Controle	0
5	Arroz	Tradicional	Carajás	FMC	25
6	Arroz	Tradicional	Carajás	FMC	100
7	Arroz	Tradicional	IAC 47	Controle	0
8	Arroz	Tradicional	IAC 47	FMC	25
9	Arroz	Tradicional	IAC 47	FMC	100
10	Arroz	Tradicional	Bico Canga	Controle	0
11	Arroz	Tradicional	Bico Canga	FMC	25
12	Arroz	Tradicional	Bico Canga	FMC	100
13	Arroz	Tradicional	Guarani	Controle	0
14	Arroz	Tradicional	Guarani	FMC	25
15	Arroz	Tradicional	Guarani	FMC	100
16	Arroz	Moderno	Bonança	Controle	0
17	Arroz	Moderno	Bonança	FMC	25
18	Arroz	Moderno	Bonança	FMC	100
19	Arroz	Moderno	Curinga	Controle	0
20	Arroz	Moderno	Curinga	FMC	25
21	Arroz	Moderno	Curinga	FMC	100
22	Arroz	Moderno	Vencedora	Controle	0
23	Arroz	Moderno	Vencedora	FMC	25
24	Arroz	Moderno	Vencedora	FMC	100
25	Arroz	Moderno	Primavera	Controle	0
26	Arroz	Moderno	Primavera	FMC	25
27	Arroz	Moderno	Primavera	FMC	100

¹Cada tratamento com três repetições; ²FMC: fosfato monocalcico; ⁽³⁾mg P por quilograma de terra

Apêndice D - Efeito de cultivares e doses de fósforo na concentração de P da matéria seca parte aérea de plantas de arroz de terras altas tradicionais e modernos

Trat.	Tipo	Cultivar	Fonte ¹	Dose	P (g kg ⁻¹)			Média
				mg kg ⁻¹⁽²⁾	A	B	C	
1	Tradicional	Caiapó	Controle	0	0,40	0,42	0,41	0,41
2	Tradicional	Caiapó	FMC	25	0,68	0,73	0,83	0,75
3	Tradicional	Caiapó	FMC	100	1,14	1,20	1,26	1,20
4	Tradicional	Carajás	Controle	0	0,36	0,35	0,35	0,35
5	Tradicional	Carajás	FMC	25	0,51	0,70	0,65	0,62
6	Tradicional	Carajás	FMC	100	1,20	0,98	1,19	1,12
7	Tradicional	IAC 47	Controle	0	0,33	0,38	0,37	0,36
8	Tradicional	IAC 47	FMC	25	0,66	0,63	0,54	0,61
9	Tradicional	IAC 47	FMC	100	0,96	1,03	1,10	1,03
10	Tradicional	Bico Ganga	Controle	0	0,34	0,43	0,47	0,41
11	Tradicional	Bico Ganga	FMC	25	0,66	0,62	0,69	0,66
12	Tradicional	Bico Ganga	FMC	100	0,88	1,04	0,91	0,94
13	Tradicional	Guarani	Controle	0	0,41	0,43	0,37	0,40
14	Tradicional	Guarani	FMC	25	0,89	0,80	0,73	0,81
15	Tradicional	Guarani	FMC	100	1,15	1,23	1,19	1,19
16	Moderno	Bonança	Controle	0	0,28	0,36	0,36	0,33
17	Moderno	Bonança	FMC	25	0,55	1,10	0,75	0,80
18	Moderno	Bonança	FMC	100	1,71	1,38	1,42	1,50
19	Moderno	Curinga	Controle	0	0,40	0,44	0,39	0,41
20	Moderno	Curinga	FMC	25	0,76	0,69	0,63	0,69
21	Moderno	Curinga	FMC	100	1,04	1,19	1,26	1,16
22	Moderno	Vencedora	Controle	0	0,36	0,45	0,47	0,43
23	Moderno	Vencedora	FMC	25	0,95	0,95	0,95	0,95
24	Moderno	Vencedora	FMC	100	1,14	1,44	1,34	1,31
25	Moderno	Primavera	Controle	0	0,33	0,36	0,52	0,40
26	Moderno	Primavera	FMC	25	0,62	0,64	0,62	0,63
27	Moderno	Primavera	FMC	100	1,01	1,24	1,06	1,10

¹ FMC: fosfato monocalcico; ⁽²⁾ mg de P por quilograma de terra.

Apêndice E - Efeito de cultivares e doses de fósforo na produção de matéria seca da parte aérea de plantas de arroz de terras altas tradicionais e modernos

Trat.	Tipo	Cultivar	Fonte ¹	Dose	MSPA (g vaso ⁻¹)			Média
				mg kg ⁻¹ (²)	A	B	C	
1	Tradicional	Caiapó	Controle	0	0,35	0,30	0,28	0,31
2	Tradicional	Caiapó	FMC	25	11,60	11,02	12,08	11,57
3	Tradicional	Caiapó	FMC	100	20,62	22,88	20,47	21,32
4	Tradicional	Carajás	Controle	0	0,28	0,26	0,30	0,28
5	Tradicional	Carajás	FMC	25	4,59	4,77	5,77	5,04
6	Tradicional	Carajás	FMC	100	21,27	22,73	16,82	20,27
7	Tradicional	IAC 47	Controle	0	0,29	0,32	0,32	0,31
8	Tradicional	IAC 47	FMC	25	4,92	3,79	5,80	4,84
9	Tradicional	IAC 47	FMC	100	21,70	22,15	20,90	21,58
10	Tradicional	Bico Ganga	Controle	0	0,27	0,43	0,77	0,49
11	Tradicional	Bico Ganga	FMC	25	9,70	7,31	12,17	9,73
12	Tradicional	Bico Ganga	FMC	100	22,91	21,85	22,65	22,47
13	Tradicional	Guarani	Controle	0	0,25	0,30	0,38	0,31
14	Tradicional	Guarani	FMC	25	10,87	11,93	10,20	11,00
15	Tradicional	Guarani	FMC	100	18,14	22,98	20,15	20,42
16	Moderno	Bonança	Controle	0	0,11	0,11	0,12	0,11
17	Moderno	Bonança	FMC	25	2,21	3,67	2,90	2,93
18	Moderno	Bonança	FMC	100	19,10	19,87	18,24	19,07
19	Moderno	Curinga	Controle	0	0,30	0,32	0,33	0,32
20	Moderno	Curinga	FMC	25	6,22	9,77	7,18	7,72
21	Moderno	Curinga	FMC	100	19,47	22,12	25,20	22,26
22	Moderno	Vencedora	Controle	0	0,25	0,23	0,19	0,22
23	Moderno	Vencedora	FMC	25	4,60	3,90	3,23	3,91
24	Moderno	Vencedora	FMC	100	18,23	16,50	17,03	17,25
25	Moderno	Primavera	Controle	0	0,34	0,32	0,26	0,31
26	Moderno	Primavera	FMC	25	2,30	3,42	2,57	2,76
27	Moderno	Primavera	FMC	100	18,82	20,51	19,56	19,63

¹ FMC: fosfato monocálcico; ⁽²⁾ mg de P por quilograma de terra.

Apêndice F - Efeito de cultivares e doses de fósforo na quantidade de P acumulado pela parte aérea de plantas de arroz de terras altas tradicionais e modernos

Trat.	Tipo	Cultivar	Fonte ¹	Dose	P (mg vaso ⁻¹)			Média
				mg kg ⁻¹⁽²⁾	A	B	C	
1	Tradicional	Caiapó	Controle	0	0,14	0,13	0,11	0,13
2	Tradicional	Caiapó	FMC	25	7,89	8,04	10,03	8,65
3	Tradicional	Caiapó	FMC	100	23,51	27,46	25,79	25,59
4	Tradicional	Carajás	Controle	0	0,10	0,09	0,11	0,10
5	Tradicional	Carajás	FMC	25	2,34	3,34	3,75	3,14
6	Tradicional	Carajás	FMC	100	25,52	22,28	20,02	22,61
7	Tradicional	IAC 47	Controle	0	0,10	0,12	0,12	0,11
8	Tradicional	IAC 47	FMC	25	3,25	2,39	3,13	2,92
9	Tradicional	IAC 47	FMC	100	20,83	22,81	22,99	22,21
10	Tradicional	Bico Ganga	Controle	0	0,09	0,18	0,36	0,21
11	Tradicional	Bico Ganga	FMC	25	6,40	4,53	8,40	6,44
12	Tradicional	Bico Ganga	FMC	100	20,16	22,72	20,61	21,17
13	Tradicional	Guarani	Controle	0	0,10	0,13	0,14	0,12
14	Tradicional	Guarani	FMC	25	9,67	9,54	7,45	8,89
15	Tradicional	Guarani	FMC	100	20,86	28,27	23,98	24,37
16	Moderno	Bonança	Controle	0	0,03	0,04	0,04	0,04
17	Moderno	Bonança	FMC	25	2,03	4,04	2,18	2,75
18	Moderno	Bonança	FMC	100	26,74	27,42	25,90	26,69
19	Moderno	Curinga	Controle	0	0,12	0,14	0,13	0,13
20	Moderno	Curinga	FMC	25	4,73	6,74	4,52	5,33
21	Moderno	Curinga	FMC	100	20,25	26,32	31,75	26,11
22	Moderno	Vencedora	Controle	0	0,09	0,10	0,09	0,09
23	Moderno	Vencedora	FMC	25	4,37	3,71	3,07	3,71
24	Moderno	Vencedora	FMC	100	20,78	23,76	22,82	22,45
25	Moderno	Primavera	Controle	0	0,11	0,12	0,14	0,12
26	Moderno	Primavera	FMC	25	1,43	2,19	1,59	1,74
27	Moderno	Primavera	FMC	100	19,01	25,43	20,73	21,72

¹ FMC: fosfato monocalcico; ⁽²⁾ mg de P por quilograma de terra.

Apêndice G - Efeito de cultivares e doses de fósforo na eficiência de utilização de P (EUP) em plantas de arroz de terras altas tradicionais e modernos

Trat.	Tipo	Cultivar	Fonte ¹	Dose	EUP (g g ⁻¹)			Média
				mg kg ⁻¹ (²)	A	B	C	
1	Tradicional	Caiapó	Controle	0	2,50	2,38	2,44	2,44
2	Tradicional	Caiapó	FMC	25	1,47	1,37	1,20	1,35
3	Tradicional	Caiapó	FMC	100	0,88	0,83	0,79	0,83
4	Tradicional	Carajás	Controle	0	2,78	2,86	2,86	2,83
5	Tradicional	Carajás	FMC	25	1,96	1,43	1,54	1,64
6	Tradicional	Carajás	FMC	100	0,83	1,02	0,84	0,90
7	Tradicional	IAC 47	Controle	0	3,03	2,63	2,70	2,79
8	Tradicional	IAC 47	FMC	25	1,52	1,59	1,85	1,65
9	Tradicional	IAC 47	FMC	100	1,04	0,97	0,91	0,97
10	Tradicional	Bico Ganga	Controle	0	2,94	2,33	2,13	2,46
11	Tradicional	Bico Ganga	FMC	25	1,52	1,61	1,45	1,53
12	Tradicional	Bico Ganga	FMC	100	1,14	0,96	1,10	1,07
13	Tradicional	Guarani	Controle	0	2,44	2,33	2,70	2,49
14	Tradicional	Guarani	FMC	25	1,12	1,25	1,37	1,25
15	Tradicional	Guarani	FMC	100	0,87	0,81	0,84	0,84
16	Moderno	Bonança	Controle	0	3,57	2,78	2,78	3,04
17	Moderno	Bonança	FMC	25	1,09	0,91	1,33	1,11
18	Moderno	Bonança	FMC	100	0,71	0,72	0,70	0,71
19	Moderno	Curinga	Controle	0	2,50	2,27	2,56	2,45
20	Moderno	Curinga	FMC	25	1,32	1,45	1,59	1,45
21	Moderno	Curinga	FMC	100	0,96	0,84	0,79	0,87
22	Moderno	Vencedora	Controle	0	2,78	2,22	2,13	2,38
23	Moderno	Vencedora	FMC	25	1,05	1,05	1,05	1,05
24	Moderno	Vencedora	FMC	100	0,88	0,69	0,75	0,77
25	Moderno	Primavera	Controle	0	3,03	2,78	1,92	2,58
26	Moderno	Primavera	FMC	25	1,61	1,56	1,61	1,60
27	Moderno	Primavera	FMC	100	0,99	0,81	0,94	0,91

¹ FMC: fosfato monocalcico; (²) mg de P por quilograma de terra.

Apêndice H – Equações de regressão para produção de matéria seca da parte aérea e P acumulado em função das doses de P aplicada

Cultivares	Tipo	MSPA	R ²	P acumulado	R ²
Caiapó	Tradicional	$y = 0,3100 + 2,1313\sqrt{x}$	0,99	$y = 0,1300 + 2,3773\sqrt{x}$	0,95
Carajás	Tradicional	$y = 0,2800 + 1,7900\sqrt{x}$	0,89	$y = 0,1000 + 1,9221\sqrt{x}$	0,81
IAC 47	Tradicional	$y = 0,3100 + 1,8829\sqrt{x}$	0,88	$y = 0,1100 + 1,8807\sqrt{x}$	0,81
Bico Ganga	Tradicional	$y = 0,4900 + 2,1279\sqrt{x}$	0,98	$y = 0,2100 + 1,9258\sqrt{x}$	0,93
Guarani	Tradicional	$y = 0,3100 + 2,0367\sqrt{x}$	0,99	$y = 0,1200 + 2,2906\sqrt{x}$	0,97
Bonança	Moderno	$y = 0,1100 + 1,6295\sqrt{x}$	0,83	$y = 0,0400 + 2,2401\sqrt{x}$	0,79
Curinga	Moderno	$y = 0,3200 + 2,0516\sqrt{x}$	0,95	$y = 0,1300 + 2,2862\sqrt{x}$	0,87
Vencedora	Moderno	$y = 0,2200 + 1,5103\sqrt{x}$	0,88	$y = 0,0900 + 1,9341\sqrt{x}$	0,84
Primavera	Moderno	$y = 0,3100 + 1,6437\sqrt{x}$	0,88	$y = 0,1200 + 1,7930\sqrt{x}$	0,76
Média dos tradicionais		$y = 0,3400 + 1,9938\sqrt{x}$	0,98	$y = 0,1300 + 2,0798\sqrt{x}$	0,91
Média dos modernos		$y = 0,2400 + 0,7041\sqrt{x}$	0,88	$y = 0,1000 + 2,0628\sqrt{x}$	0,81

Apêndice I – Tratamentos utilizados no experimento de eficiência agrônômica de fontes de P em cultivares de arroz do tipo tradicional e moderno

Tratamento ¹	Cultura	Tipo	Cultivar	Fonte ²	Dose mg kg ⁻¹ (3)
1	Arroz	Tradicional	Bico Ganga	-	0
2	Arroz	Tradicional	Bico Ganga	FMC	25
3	Arroz	Tradicional	Bico Ganga	FMC	100
4	Arroz	Tradicional	Bico Ganga	Termo	25
5	Arroz	Tradicional	Bico Ganga	Termo	100
6	Arroz	Tradicional	Bico Ganga	MFM	25
7	Arroz	Tradicional	Bico Ganga	MFM	100
8	Arroz	Tradicional	Bico Ganga	FN	25
9	Arroz	Tradicional	Bico Ganga	FN	100
10	Arroz	Tradicional	Guarani	-	0
11	Arroz	Tradicional	Guarani	FMC	25
12	Arroz	Tradicional	Guarani	FMC	100
13	Arroz	Tradicional	Guarani	Termo	25
14	Arroz	Tradicional	Guarani	Termo	100
15	Arroz	Tradicional	Guarani	MFM	25
16	Arroz	Moderno	Guarani	MFM	100
17	Arroz	Moderno	Guarani	FN	25
18	Arroz	Moderno	Guarani	FN	100
19	Arroz	Moderno	Bonança	-	0
20	Arroz	Moderno	Bonança	FMC	25
21	Arroz	Moderno	Bonança	FMC	100
22	Arroz	Moderno	Bonança	Termo	25
23	Arroz	Moderno	Bonança	Termo	100
24	Arroz	Moderno	Bonança	MFM	25
25	Arroz	Moderno	Bonança	MFM	100
26	Arroz	Moderno	Bonança	FN	25
27	Arroz	Moderno	Bonança	FN	100
28	Arroz	Moderno	Primavera	-	0
29	Arroz	Moderno	Primavera	FMC	25
30	Arroz	Moderno	Primavera	FMC	100
31	Arroz	Moderno	Primavera	Termo	25
32	Arroz	Moderno	Primavera	Termo	100
33	Arroz	Moderno	Primavera	MFM	25
34	Arroz	Moderno	Primavera	MFM	100
35	Arroz	Moderno	Primavera	FN	25
36	Arroz	Moderno	Primavera	FN	100

¹ Cada tratamento constará de três repetições; ² FMC: fosfato monocalcico, Termo: termofosfato, MFM: multifosfato magnésiano, FN: fosfato natural de Arad. ⁽³⁾ mg kg⁻¹ por quilograma de solo.

Apêndice J – Efeito de fontes e doses de fósforo na concentração de P da matéria seca de cultivares de arroz de terras altas tradicionais e modernos

Trat.	Tipo ¹	Cultivar	Fonte ²	Dose		Teor de P (g kg ⁻¹)			Média
				mg kg ⁻¹⁽³⁾		A	B	C	
1	T	Bico Ganga	X	0		0,79	0,84	0,93	0,85
2	T	Bico Ganga	FMC	25		0,93	0,97	1,02	0,97
3	T	Bico Ganga	FMC	100		1,62	2,03	1,71	1,79
4	T	Bico Ganga	Termo	25		1,16	1,02	1,16	1,11
5	T	Bico Ganga	Termo	100		1,43	1,76	1,43	1,54
6	T	Bico Ganga	MFM	25		0,84	0,93	1,02	0,93
7	T	Bico Ganga	MFM	100		1,76	1,99	1,34	1,69
8	T	Bico Ganga	FN	25		0,97	1,11	1,71	1,26
9	T	Bico Ganga	FN	100		1,34	1,62	1,57	1,51
10	T	Guarani	X	0		0,84	0,79	1,07	0,90
11	T	Guarani	FMC	25		1,02	0,93	0,97	0,97
12	T	Guarani	FMC	100		1,66	1,89	1,80	1,79
13	T	Guarani	Termo	25		0,97	1,25	1,34	1,19
14	T	Guarani	Termo	100		1,76	1,71	1,25	1,57
15	T	Guarani	MFM	25		1,25	1,20	1,16	1,20
16	T	Guarani	MFM	100		1,62	2,08	1,30	1,66
17	T	Guarani	FN	25		1,34	1,62	1,62	1,53
18	T	Guarani	FN	100		1,76	2,17	1,76	1,89
19	M	Bonança	X	0		0,79	0,79	1,02	0,87
20	M	Bonança	FMC	25		1,66	1,62	0,97	1,42
21	M	Bonança	FMC	100		2,22	2,08	1,76	2,02
22	M	Bonança	Termo	25		1,48	1,30	1,94	1,57
23	M	Bonança	Termo	100		1,94	1,71	1,48	1,71
24	M	Bonança	MFM	25		1,39	1,20	1,48	1,36
25	M	Bonança	MFM	100		2,12	2,17	2,03	2,11
26	M	Bonança	FN	25		2,26	2,63	2,40	2,43
27	M	Bonança	FN	100		2,31	2,17	2,35	2,28
28	M	Primavera	X	0		0,70	0,67	0,65	0,67
29	M	Primavera	FMC	25		1,57	1,39	1,48	1,48
30	M	Primavera	FMC	100		1,71	1,85	1,71	1,76
31	M	Primavera	Termo	25		1,20	1,48	1,25	1,31
32	M	Primavera	Termo	100		1,71	1,62	1,48	1,60
33	M	Primavera	MFM	25		1,25	1,48	1,25	1,33
34	M	Primavera	MFM	100		1,94	1,80	1,89	1,88
35	M	Primavera	FN	25		1,76	1,94	1,48	1,72
36	M	Primavera	FN	100		1,94	1,71	1,62	1,76

¹ T: Tradicional, M: Moderno; ² FMC: fosfato monocalcico, Termo: termofosfato, MFM: multifosfato magnesiano, FN: fosfato natural de Arad; ⁽³⁾ mg de P por quilograma de terra.

Apêndice K – Efeito de fontes e doses de fósforo na produção de matéria seca da parte aérea de cultivares de arroz de terras altas tradicionais e modernos

Trat.	Tipo ¹	Cultivar	Fonte ²	Dose	MSPA (g vaso ⁻¹)			Média
				mg kg ⁻¹ (³)	A	B	C	
1	T	Bico Ganga	X	0	0,70	0,75	0,65	0,70
2	T	Bico Ganga	FMC	25	25,11	25,13	25,14	25,13
3	T	Bico Ganga	FMC	100	38,78	38,14	38,46	38,46
4	T	Bico Ganga	Termo	25	17,42	21,99	22,00	20,47
5	T	Bico Ganga	Termo	100	39,82	36,36	39,93	38,70
6	T	Bico Ganga	MFM	25	25,98	23,36	28,36	25,90
7	T	Bico Ganga	MFM	100	41,25	39,05	40,15	40,15
8	T	Bico Ganga	FN	25	23,72	25,40	24,84	24,65
9	T	Bico Ganga	FN	100	33,07	35,68	34,94	34,56
10	T	Guarani	X	0	0,69	0,50	0,66	0,62
11	T	Guarani	FMC	25	22,21	24,74	18,79	21,91
12	T	Guarani	FMC	100	47,66	47,61	47,55	47,61
13	T	Guarani	Termo	25	18,88	15,54	17,50	17,31
14	T	Guarani	Termo	100	41,84	45,13	39,21	42,06
15	T	Guarani	MFM	25	23,04	23,79	22,97	23,27
16	T	Guarani	MFM	100	44,33	41,86	44,14	43,44
17	T	Guarani	FN	25	19,14	23,21	19,01	20,45
18	T	Guarani	FN	100	35,08	37,49	30,95	34,51
19	M	Bonança	X	0	0,21	0,35	0,28	0,28
20	M	Bonança	FMC	25	8,19	12,23	14,18	11,53
21	M	Bonança	FMC	100	34,99	34,33	35,89	35,07
22	M	Bonança	Termo	25	10,74	11,43	12,11	11,43
23	M	Bonança	Termo	100	32,40	34,34	30,48	32,41
24	M	Bonança	MFM	25	15,19	19,79	18,75	17,91
25	M	Bonança	MFM	100	32,78	32,55	32,28	32,54
26	M	Bonança	FN	25	13,87	13,80	11,62	13,10
27	M	Bonança	FN	100	24,57	25,74	28,99	26,43
28	M	Primavera	X	0	0,46	0,44	0,41	0,44
29	M	Primavera	FMC	25	11,75	11,57	11,38	11,57
30	M	Primavera	FMC	100	50,03	45,00	47,95	47,66
31	M	Primavera	Termo	25	15,13	17,59	18,90	17,21
32	M	Primavera	Termo	100	41,24	41,44	45,30	42,66
33	M	Primavera	MFM	25	22,51	25,95	24,99	24,48
34	M	Primavera	MFM	100	43,36	44,33	46,02	44,57
35	M	Primavera	FN	25	20,21	20,46	22,54	21,07
36	M	Primavera	FN	100	35,64	34,26	34,95	34,95

¹ T: Tradicional, M: Moderno; ² FMC: fosfato monocálcico, Termo: termofosfato, MFM: multifosfato magnésiano, FN: fosfato natural de Arad; ⁽³⁾ mg de P por quilograma de terra.

Apêndice L – Efeito de fontes e doses de fósforo na quantidade de P acumulado pela matéria seca da parte aérea de cultivares de arroz de terras altas tradicionais e modernos

Trat.	Tipo ¹	Cultivar	Fonte ²	Dose	P acumulado (mg vaso ⁻¹)			Média
				mg kg ⁻¹ (³)	A	B	C	
1	T	Bico Ganga	X	0	0,55	0,63	0,60	0,59
2	T	Bico Ganga	FMC	25	23,28	24,45	25,62	24,45
3	T	Bico Ganga	FMC	100	62,72	77,49	65,75	68,65
4	T	Bico Ganga	Termo	25	20,16	22,41	25,46	22,68
5	T	Bico Ganga	Termo	100	57,07	63,83	57,23	59,38
6	T	Bico Ganga	MFM	25	21,69	21,66	28,90	24,08
7	T	Bico Ganga	MFM	100	72,41	77,54	53,85	67,93
8	T	Bico Ganga	FN	25	23,08	28,22	42,46	31,26
9	T	Bico Ganga	FN	100	44,36	57,71	54,90	52,32
10	T	Guarani	X	0	0,58	0,39	0,70	0,56
11	T	Guarani	FMC	25	22,63	22,94	18,28	21,28
12	T	Guarani	FMC	100	79,28	90,15	85,66	85,03
13	T	Guarani	Termo	25	18,37	19,41	23,47	20,42
14	T	Guarani	Termo	100	73,45	77,15	48,98	66,53
15	T	Guarani	MFM	25	28,78	28,62	26,58	28,00
16	T	Guarani	MFM	100	71,70	86,97	57,17	71,95
17	T	Guarani	FN	25	25,67	37,54	30,75	31,32
18	T	Guarani	FN	100	61,58	81,34	54,33	65,75
19	M	Bonança	X	0	0,17	0,28	0,29	0,24
20	M	Bonança	FMC	25	13,62	19,78	13,80	15,73
21	M	Bonança	FMC	100	77,53	71,33	63,00	70,62
22	M	Bonança	Termo	25	15,89	14,80	23,49	18,06
23	M	Bonança	Termo	100	62,84	58,70	45,09	55,54
24	M	Bonança	MFM	25	21,07	23,81	27,74	24,21
25	M	Bonança	MFM	100	69,61	70,62	65,58	68,61
26	M	Bonança	FN	25	31,37	36,29	27,89	31,85
27	M	Bonança	FN	100	56,70	55,85	68,24	60,26
28	M	Primavera	X	0	0,32	0,30	0,27	0,29
29	M	Primavera	FMC	25	18,46	16,05	16,83	17,12
30	M	Primavera	FMC	100	85,52	83,14	81,97	83,54
31	M	Primavera	Termo	25	18,20	26,02	23,61	22,61
32	M	Primavera	Termo	100	70,50	67,03	67,01	68,18
33	M	Primavera	MFM	25	28,12	38,39	31,22	32,58
34	M	Primavera	MFM	100	84,10	79,86	87,14	83,70
35	M	Primavera	FN	25	35,48	39,68	33,34	36,17
36	M	Primavera	FN	100	69,13	58,57	56,53	61,41

¹ T: Tradicional, M: Moderno; ² FMC: fosfato monocalcico, Termo: termofosfato, MFM: multifosfato magnesiano, FN: fosfato natural de Arad; ⁽³⁾ mg de P por quilograma de terra.