

Screening para Tolerância à Deficiência de Fósforo no Solo com Acessos de Arroz (*Oryza sativa*)

Miriam Suzane Vidotti¹, José Manoel Colombari Filho², Maria da Conceição Santana Carvalho³, Nand Kumar Fageria⁴, Saulo Muniz Martins⁵, Orlando Peixoto de Moraes⁶ e Patrícia Guimarães Santos Melo⁷

Resumo

A deficiência de fósforo (P) no solo é um dos principais fatores limitantes a produtividade de arroz de terras altas na região do cerrado brasileiro. Neste sentido, a exploração dos recursos genéticos disponíveis para maior eficiência no uso do P, constitui uma importante estratégia para o melhoramento genético. O objetivo deste estudo foi pré-identificar acessos da Coleção Nuclear de Arroz da Embrapa (CNAE) que possuam eficiência na absorção e uso do P presente no solo, para após validação em condições de campo, serem utilizados como genitores no programa de melhoramento de arroz de terras altas da Embrapa. Os 284 acessos da CNAE, adaptados ao sistema de terras altas, foram conduzidos em um experimento, em casa de vegetação, para avaliação do caráter produção de grãos (PG, em g planta⁻¹) sob dois níveis de P no solo: baixo (25 mg kg⁻¹ de solo) e alto (200 mg kg⁻¹ de solo). Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial, 284 acessos x 2 níveis de P, com 4 repetições. A unidade experimental foi constituída por uma planta individual, em vasos contendo 4 plantas. Em cada vaso foram adicionados 7 kg de solo proveniente de uma área com histórico conhecido de ausência de adubação fosfatada. Com base na análise química e granulométrica do solo, foi realizada a correção da acidez do solo, bem como a adubação para os demais nutrientes, de modo a garantir do adequado desenvolvimento das plantas. Os resultados revelaram uma redução de 36% na média geral de PG dos acessos quando submetidos às condições de deficiência de P no solo, assim como uma redução da variância fenotípica entre os acessos. No entanto, foram detectadas diferenças significativas ($p \leq 0,01$) para todas as fontes de variação, havendo diferenças entre acessos, independente do nível de P e dentro dos níveis baixo e alto de P no solo, evidenciando a existência de variabilidade genética entre os acessos para PG e para tolerância à deficiência de P no solo. A significativa interação entre acessos x níveis de P, bem como baixa correlação fenotípica entre os níveis de P de 0,49, ressaltou a necessidade de ter avaliado os acessos nos dois níveis de P para a identificação daqueles eficientes e responsivos ao P. Através do gráfico de dispersão das médias de PG sob as duas condições de P, foram identificados 128 acessos do CNAE eficientes e responsivos ao P, sendo dentre estes, selecionados 113 acessos, através da média harmônica da performance relativa (), para serem posteriormente avaliados em condições de campo para tolerância à deficiência de P no solo.

Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das culturas de maior importância social e econômica no mundo. O Brasil é o principal produtor mundial quando excetuada a Ásia, onde essa espécie é cultivada sob dois sistemas de produção: terras altas e irrigado (Vilar and Ferreira 2005). O sistema de terras altas possui grande potencial de expansão pela disponibilidade de área para o cultivo de grãos, principalmente na região do cerrado brasileiro (Pinheiro et al. 2006). Entretanto, essa região caracteriza-se por possuir solos deficientes em fósforo (P), devido tanto ao baixo teor desse elemento no solo, quanto à sua adsorção pelas partículas de solo. (Fageria 1982). Este é um fator limitante para a produtividade do arroz, sendo que, para se alcançar produtividades satisfatórias, o uso de fertilizantes fosfatados é uma prática indispensável (Crusciol et al. 2005). Assim, considerando o alto custo dos fertilizantes e a limitação das reservas mundiais de fosfato, uma alternativa adequada seria a exploração dos recursos genéticos disponíveis para maior eficiência no uso do P através de melhoramento genético. Para isto, é importante considerar simultaneamente os atributos

1 Mestranda em Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade Federal de Goiás - UFG. e-mail: miriamvidotti@hotmail.com

2 Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão - CNPAF - EMBRAPA/Santo Antônio de Goiás. e-mail: jose.colombari@embrapa.br

3 Pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão - CNPAF - EMBRAPA/Santo Antônio de Goiás. e-mail: maria.carvalho@embrapa.br

4 Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão - CNPAF - EMBRAPA/Santo Antônio de Goiás. e-mail: nand.fageria@embrapa.br

5 Mestrando em Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade Federal de Goiás - UFG. e-mail: munizsaulo1990@hotmail.com

6 Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão - CNPAF - EMBRAPA/Santo Antônio de Goiás. e-mail: orlando.morais@embrapa.br

7 Professora do Departamento de Melhoramento de Plantas, Universidade Federal de Goiás - UFG. e-mail: pgsantos@gmail.com

de aquisição e eficiência na utilização desse elemento no solo, dado que os genótipos respondem de maneira diferente a baixa disponibilidade de P (Rotili et al. 2010).

Os Bancos Ativos de Germoplasma de grandes culturas, geralmente, possuem um elevado número de acessos, que muitas vezes inviabiliza a caracterização de todos para uma variável. Nesses casos, uma das estratégias tem sido a criação de Coleções Nucleares que não visam substituir a coleção de germoplasma, mas representar a variabilidade genética disponível, a fim de viabilizar estudos de caracterização para uma série de variáveis pela redução significativa do número de acessos a serem avaliados. Nesse sentido, os estudos realizados em Coleções Nucleares possibilitam uma visão geral das propriedades encontradas na coleção completa (Hintum et al., 2000). A Coleção Nuclear de Arroz da Embrapa (CNAE) foi sintetizada no ano de 2002, a qual equivaleu na ocasião, em termos numéricos, a 10% dos acessos da coleção completa de arroz da Embrapa, representativos de, no mínimo, 80% da variabilidade genética (Brown, 1989).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo pré-identificar acessos da CNAE que possuem os atributos de eficiência no uso P e resposta a presença desse elemento no solo, por meio do caráter produção de grãos (PG).

Material e Métodos

O material genético deste estudo foi composto por 284 acessos da CNAE adaptados ao cultivo em terras altas. Esses acessos foram conduzidos em um experimento, em casa de vegetação da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás/GO, com dois níveis de P no solo (baixo e alto).

Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial, com 284 acessos x 2 níveis de P, com 4 repetições. A unidade experimental foi constituída por uma planta individual, em vasos contendo 4 plantas. Em cada vaso foram adicionados 7 kg de solo proveniente de uma área com histórico conhecido de ausência de adubação fosfatada. Com base na análise química e granulométrica do solo, foi realizada a correção da acidez do solo com calcário Filler (PRNT 100%, CaO 30%, MgO 18%) na dose de 1 g kg⁻¹ de solo, com 30 dias de incubação. Cada vaso recebeu ainda por kg de solo, 310 mg de N (150 mg no plantio e 260 mg em cobertura aos 45 a 50 dias após o plantio), 250 mg de K, 30 mg de S e 20 mg de Zn. Os dois níveis de fósforo foram definidos como: baixo (25 mg kg⁻¹, aplicando 0,7 g de superfosfato triplo por vaso de 7 kg) e alto (200 mg kg⁻¹, aplicando 7 g de superfosfato triplo por vaso de 7 kg). Aos 35 dias após a antese floral, foi avaliada a característica produção de grãos (PG), em que se obteve o peso total de grãos por planta, em gramas.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software estatístico SAS[®] (SAS Institute 2012), via procedimentos *proc glm*. Considerou-se o seguinte modelo aleatório: em que: observação do acesso, no nível de fósforo (P), na repetição; é a média geral (constante inerente a todas as observações); é o efeito aleatório de acesso ($= 1, 2, \dots$), assumindo; é o efeito aleatório de nível de P ($= 2$), assumindo; é o efeito aleatório da interação entre acessos e níveis de P, assumindo; e é o erro experimental associado à -ésima parcela, assumindo independente e identicamente distribuído, sob (Cochran and Cox 1966).

Foi estimada a performance relativa, com base na média de cada acesso em condições de baixo e alto nível de P, pela expressão em que é a média do acesso no nível e corresponde a média do nível. Posteriormente, para se obter a classificação dos acessos quanto à eficiência e resposta ao P, foi estimada a média harmônica da performance relativa () através da expressão. Para auxiliar na identificação dos acessos eficientes e responsivos, foi elaborado um gráfico de dispersão a partir das médias de PG sob as duas condições de P. Na ordenada e abscissa do gráfico foram plotados os resultados de baixo e alto nível de P, respectivamente, e, com base nas médias de cada ambiente, o plano cartesiano foi dividido em quatro partes.

Resultados e Discussão

A precisão experimental foi satisfatória, visto que valor de CV% foi de 12,25%, o qual é considerado adequado para o caráter PG na cultura do arroz de terras altas (Tabela 1) (Costa et al. 2002). Foram detectadas diferenças significativas ($p \leq 0,01$) para todas as fontes de variação. O estresse provocado pela deficiência

de P afetou significativamente ($p \leq 0,01$) a média dos acessos, conforme observado pelo efeito de nível de P na análise de variância, ocasionando uma redução de aproximadamente 36% na média de PG (Tabela 1).

Houve diferença significativa entre acessos ($p \leq 0,01$), independente do nível de P e dentro dos níveis baixo e alto de P no solo, evidenciando a existência de variabilidade genética entre os acessos para PG e para tolerância à deficiência de P no solo. Além disso, notou-se que a deficiência de P no solo reduziu a variância fenotípica entre os acessos (quadrado médio) dentro do baixo nível em relação ao alto nível de P, provavelmente pelo fato do estresse haver restringido a expressão do caráter PG, provocando uma menor amplitude da variação das médias.

O comportamento dos acessos quando submetidos aos dois níveis de P foi variável, revelado pela ocorrência de interação significativa ($p \leq 0,01$) entre acessos e níveis de P ($A \times N$), sendo o mesmo verificado por Guimarães et al. (2007). Essa observação corrobora com a baixa correlação fenotípica (r) entre os níveis de P, igual a 0,49, indicando que os acessos eficientes e responsivos para P poderiam ser identificados somente caso testados em níveis contrastantes de P (Figura 1).

Tabela 1. Análises de variância dos acessos em dois níveis de fósforo (P) no solo (baixo e alto) e desdobramento da interação Acesso x Nível de P (AxN). Coeficiente de variação experimental (CV%), média geral dos acessos da Coleção Nuclear de Arroz da Embrapa (CNAE) para os dois níveis de P, e dentro do baixo e do alto nível de P, para o caráter produção de grãos (PG, em g planta⁻¹).

FV	GL	QM	
Níveis de P (N)	1	17.115,68	**
Acessos (A)	283	63,31	**
Interação A x N	283	38,30	**
Acessos dentro do baixo nível de P	283	26,33	**
Acessos dentro do nível alto de P	283	75,28	**
Resíduo	1704	5,45	
Média Geral		19,06	
Média de acessos dentro do baixo nível de P		9,50	
Média de acessos dentro do alto nível de P		14,99	
CV%		12,25	

^{ns}, * e **: não significativo, significativo 5% e 1%, respectivamente.

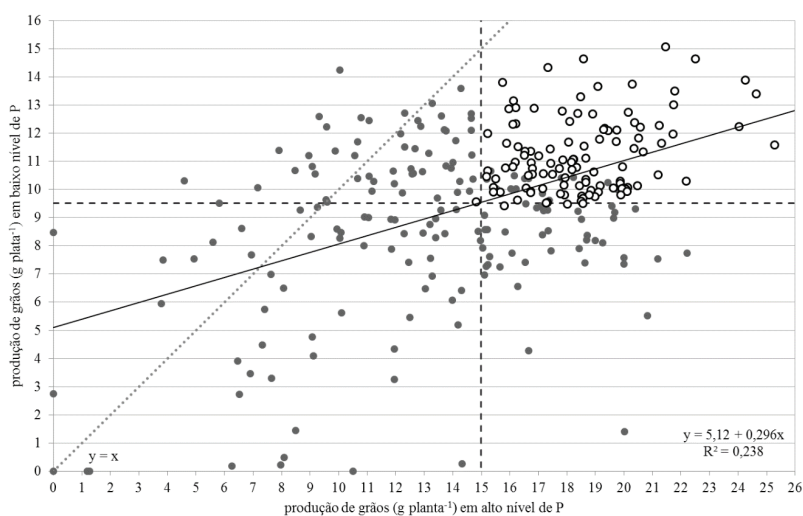


Figura 1. Médias dos acessos da Coleção Nuclear de Arroz da Embrapa sob condições de baixo e alto nível de fósforo (P) no solo, para o caráter produção de grãos (PG, em g planta⁻¹), em que: (○) são as médias gerais sob condição de baixo e alto nível de P no solo (●) são os acessos não selecionados; (●) são os acessos selecionados; (---) é a regressão linear ($y = x$) para avaliação da estabilidade; e (—) é a regressão linear para correlação da PG entre as duas condições.

Na Figura 1, os acessos que se localizaram próximo à linha pontilhada ($y = x$) foram os mais estáveis, já que esta representa a situação de produtividade equivalente nas duas condições de P no solo. A maioria dos acessos apresentou maior produtividade com alto nível de P, como era esperado, uma vez que a resposta da cultura do arroz à aplicação de P é expressiva. O fato de alguns acessos terem ficado acima da linha pontilhada, ou seja, com maior PG no nível baixo em relação ao nível alto de P, provavelmente, refere-se aqueles pouco melhorados e com maior sensibilidade a altas doses de P, que pode diminuir a disponibilidade de micronutrientes no solo como Cu, Fe, Mn e Zn.

Com base na dispersão gráfica das médias de PG dos 284 acessos, sob condições de baixo e alto nível

de P no solo, os acessos puderam ser classificados em: ineficientes e não responsivos (produziram abaixo da média nos dois níveis); eficientes e não responsivos (produziram acima da média no baixo nível de P e abaixo da média no alto nível de P); ineficientes e responsivos (abaixo da média no baixo nível e acima da média no alto nível de P); e eficientes e responsivos (acima da média nas duas condições de P), conforme Figura 1.

Assim, pela análise gráfica foi possível identificar 128 acessos com bom desempenho nos dois níveis de P, ou seja, eficientes e responsivos (Figura 1). No entanto, somente com essa informação seria difícil aumentar a intensidade de seleção dentro desse grupo de acessos. Desta forma, foi empregada a média harmônica da performance relativa (\bar{H}) a qual leva em consideração, simultaneamente, os resultados de eficiência e resposta ao uso do P em uma única medida, fornecendo suporte a tomada de decisão. Ou seja, um índice que permite selecionar os acessos que apresentam melhor performance relativa considerando os dois níveis de P, penalizada pelo maior desvio de comportamento entre os níveis de P, pela média harmônica.

Desse modo, o método \bar{H} foi importante como critério para aumentar da intensidade de seleção, pois com base nos valores da \bar{H} foi possível obter uma classificação dos melhores acessos da CNAE (Tabela 2) e, com isso, eliminar mais 15 acessos com a finalidade de obter o número final desejado de 113 acessos. Esses acessos serão posteriormente avaliados em condições de campo para tolerância à deficiência de P no solo, através de ambientes contrastantes para disponibilidade de P no solo e locais diferentes, para identificar os melhores para serem posteriormente utilizados como genitores no programa de melhoramento de arroz de terras altas da Embrapa.

Tabela 2. Média do caráter produção de grãos (PG, em g planta⁻¹) nas condições de baixo e alto nível de fósforo (P) no solo e Média Harmônica da Performance Relativa (\bar{H}) considerando os dois níveis de P simultaneamente. Os 30 melhores acessos da Coleção Nuclear de Arroz da Embrapa selecionados segundo \bar{H} .

Class.	Código Acesso [†]	Média		†	Class.	Código Acesso	Média		†
		Baixo	Alto				Baixo	Alto	
1	CA880078 Levanta Testa	13,89	24,25	1,54	16	CA790300 Agulha	12,23	20,57	1,33
2	CA880088 Cacho Grande	14,64	22,49	1,52	17	CA800177 Agulhão	11,66	21,31	1,32
3	CNA0004120 Rio Paranaíba	13,40	24,62	1,52	18	CA780319 Carolina	13,31	18,47	1,31
4	CNA0009115 CT11632-3-3-M	15,07	21,44	1,50	19	CA810012 Terra Preta	14,34	17,31	1,31
5	CA870182 Bae Comprido	13,50	21,77	1,44	20	CNA0010618 IAC 201	11,84	20,50	1,30
6	CNA0010445 Yunlu N 1	12,25	24,02	1,43	21	CA820071 Canhoto	12,70	18,90	1,30
7	CNA0010533 1r65907-188-1-B	11,59	25,28	1,42	22	CNA0008545 CT11216-10-12-B-Brm-10	12,13	19,73	1,30
8	CA830114 Bico Preto	13,02	21,72	1,41	23	CNA0002075 IAC 165	12,18	19,31	1,28
9	CA790006 Rabo de Burro	13,75	20,28	1,40	24	CNA0007024 CNAX 1503-12-9-4-B	12,11	19,43	1,28
10	CNA0003287 IREM 123-2-1	14,64	18,57	1,37	25	CA830072 Jaguary	12,14	19,28	1,28
11	CA790222 Cateto	12,28	21,23	1,35	26	CNA0004172 Guaporé	11,34	20,67	1,28
12	CNA0004487 Makouta	13,66	19,07	1,35	27	CNA0008412 Bluebonnet 50	12,71	18,37	1,28
13	CA870086 3 Meses/Ferrão Preto	11,99	21,71	1,35	28	CNA0004168 Rio Doce	11,46	20,33	1,28
14	CA210023 Amarelão Precoce	12,76	20,14	1,34	29	CA790048 Cutirão Branco	11,70	19,71	1,27
15	CA810017 Arroz de Morro	12,38	20,37	1,33	30	CNA0004428 N.7384 [Rpl x Daniela]	12,80	17,84	1,26

[†]Médias gerais dos acessos em condições de baixo e alto nível de P no solo iguais a 9,50 g planta⁻¹ e 14,99 g planta⁻¹, respectivamente; e

[‡]Código de registro do acesso no Banco Ativo de Germoplasma de Arroz da Embrapa.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e a FAPEG pelo apoio financeiro ao projeto, ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado a primeira autora e a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado ao quinto autor.

Referências

- Brown AHD (1989) Core collections: a practical approach to genetic resources management. **Genome** 31: 818-824.
- Cochran WG and Cox GM (1996) **Experimental design**. John Wiley, New York, 611p.
- Costa NHAD, Seraphin JC and Zimmermann FJP (2002) Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37: 243-249.

- Crusciol CAC et al. (2005) Doses de fósforo e crescimento radicular de cultivares de arroz de terras altas. **Bragantia** 64: 1-9.
- Fageria NK (1982) Tolerância diferencial de cultivares de arroz ao alumínio em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 17: 1-9.
- Guimarães CM, Stone LF and Neves PCF (2007) Resposta fenotípica de arroz de terras altas ao estresse de fósforo no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 11: 578-584.
- Hintum TJJ, Brown AHD, Spillane C, Hodgkin T (2000) Core collections of plant genetic resources. International Plant Genetic Resources Institute, Roma. 48 p.
- Pinheiro BS, Castro EM and Guimarães CM (2006) Sustainability and profitability of aerobic rice production in Brazil. **Field Crops Research** 97: 34-42.
- Rotili EA, Fidelis RR, Santos MM, Barros HB and Pinto LC (2010) Eficiência do uso e resposta à aplicação de fósforo de cultivares de arroz em solos de terras altas. **Bragantia** 69: 705-710.
- SAS Institute (2012) **SAS Technical report SAS/STAT Software**. Cary Nc, SAS Institute.
- Vilar PM and Ferreira CM (2005) Dinâmicas territoriais do arroz de terras altas na região Centro-Oeste do Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia** 22: 97-107.