

## Avaliação para Tolerância à Deficiência de Fósforo no Solo em Seleção Recorrente de Arroz de Terras Altas

José Manoel Colombari Filho<sup>1</sup>, Maria da Conceição Santana Carvalho<sup>2</sup>, Maria Luiza Perez Villar<sup>3</sup>, Aurinelza Batista Teixeira Condé<sup>4</sup>, Orlando Peixoto de Morais<sup>5</sup>, Adriano Pereira Castro<sup>6</sup>, Flávio Breseghello<sup>7</sup>, Miriam Suzane Vidotti<sup>8</sup> e Odilon Peixoto de Morais Júnior<sup>9</sup>

### Resumo

O arroz de terras altas possui um elevado potencial de expansão na região do cerrado brasileiro, onde os solos possuem baixa disponibilidade de fósforo (P). A tolerância à deficiência de P no solo é um caráter quantitativo e, com isso, a seleção recorrente (SR) é uma alternativa que permite concentrar gradualmente os alelos favoráveis. O objetivo deste estudo foi avaliar progênies da população CNA9|3|1 de arroz de terras altas da Embrapa, em melhoramento por meio de SR, quanto à eficiência no uso do P no solo através do caráter produção de grãos (PG, em kg ha<sup>-1</sup>). Em uma área com baixo teor de P no solo, foram conduzidos dois ensaios contrastantes para P: teor baixo (2,5 mg kg<sup>-1</sup> de solo) e teor alto (12 mg kg<sup>-1</sup> de solo) de P para 63% de argila, conforme análises de solo, sendo os demais nutrientes fornecidos sem discriminação. Foi adotado o delineamento em látice quadrado simples 14 x 14, composto por 189 progênies S<sub>0,2</sub> e 7 testemunhas, em parcelas de 4 linhas de 3 m de comprimento. As precisões experimentais foram satisfatórias para PG em todas as análises de variância com CV% entre 18,94 e 22,61%. Notou-se uma quebra de cerca de 27% na média geral da população e uma redução de cerca de 57% da estimativa da variância genética entre progênies S<sub>0,2</sub> (), devido a deficiência de P no solo. Observou-se interação entre tratamentos e níveis de P no solo, além de uma baixa correlação fenotípica entre os níveis de P de 0,47, o que ressaltou a necessidade de ter avaliado os genótipos nos dois níveis de P. Por fim, foi possível selecionar 25 progênies S<sub>0,2</sub> com maior eficiência no uso do P quando em baixa disponibilidade no solo e mais responsivos sob condições adequadas de P no solo.

### Introdução

No Brasil, o arroz de terras altas ocupa uma importante área de produção agrícola, sendo essa condição de cultivo a que possui maior potencial de expansão, haja vista a ampla disponibilidade de área para o cultivo de grãos, principalmente na região do cerrado brasileiro, com área potencial de 200 milhões de hectares (Pinheiro et al. 2006). Essa região caracteriza-se por possuir solos com baixa disponibilidade de fósforo (P), sendo a deficiência de P um dos principais fatores que limitam a produtividade do arroz, tanto devido ao baixo teor do elemento, como devido à sua intensa adsorção pelas partículas de solo. Diante desse cenário, que ganha cada vez mais importância pela projetada escassez mundial de recursos naturais, é fundamental o desenvolvimento de cultivares tolerantes a esse estresse abiótico restritivo a expansão da orizicultura.

Para caracteres quantitativos, existe a dificuldade de concentrar em curto prazo todos os alelos favoráveis em uma população ou indivíduo. Assim, uma alternativa é concentrá-los gradualmente por meio de seleção recorrente, buscando manter a variabilidade genética em níveis adequados e aumentar a média da população, para proporcionar ganhos factíveis em ciclos subsequentes (Geraldi 1997). O método de seleção recorrente é uma técnica amplamente utilizada em espécies alógamas, porém limitada em autógamas devido à dificuldade de realização dos cruzamentos para recombinação. Contudo, a descoberta da macho esterilidade genética em arroz, viabilizou o uso da seleção recorrente nessa espécie (Fujimaki 1979).

O objetivo deste trabalho foi avaliar progênies S<sub>0,2</sub> da população CNA9|3|1 de arroz de terras

<sup>1</sup> Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão - CNPAF - EMBRAPA/Santo Antônio de Goiás. e-mail: jose.colombari@embrapa.br

<sup>2</sup> Pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão - CNPAF - EMBRAPA/Santo Antônio de Goiás. e-mail: maria.carvalho@embrapa.br

<sup>3</sup> Pesquisadora da Empresa Matogrossense de Pesquisa Assistência e Extensão Rural - EMPAER/MT. e-mail: maluvillar@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Pesquisadora da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG. e-mail: aurinelza@gmail.com

<sup>5</sup> Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão - CNPAF - EMBRAPA/Santo Antônio de Goiás. e-mail: orlando.morais@embrapa.br

<sup>6</sup> Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão - CNPAF - EMBRAPA/Santo Antônio de Goiás. e-mail: adriano.castro@embrapa.br

<sup>7</sup> Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão - CNPAF - EMBRAPA/Santo Antônio de Goiás. e-mail: flavio.breseghello@embrapa.br

<sup>8</sup> Mestranda em Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade Federal de Goiás - UFG. e-mail: miriamvidotti@hotmail.com

<sup>9</sup> Doutorando em Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade Federal de Goiás - UFG. e-mail: odilonpmoras@gmail.com.br

altas da Embrapa, em terceiro ciclo de seleção recorrente, para eficiência no uso do P disponível no solo através do caráter produção de grãos.

### Material e Métodos

O material genético foi composto por progênies da população CNA9|3|1 de arroz de terras altas, sintetizada pela Embrapa em 1992/93, pela incorporação na população CNA-IRAT 5|2|1 de 22 genitores anteriormente caracterizados como tolerantes à deficiência hídrica e à deficiência de P no solo, além de maior resistência à brusone (*Magnaporthe grisea*) (Morais et al. 1997). Um QTL de efeito maior, responsável pelo aumento na eficiência de absorção de P e na produção de grãos sob deficiência de P, localizado no cromossomo 12 de arroz, *Pup1* (*Phosphorus uptake1*) (Wissuwa et al. 2002), foi identificado em dois importantes genitores dessa população, IAC 25 e IAC 47 (Chin et al. 2010).

Na safra de 2011/12, progênies  $S_{0.2}$  da CNA9|3|1 foram avaliadas em campo quanto à eficiência no uso do P, em Santo Antônio de Goiás/GO. Inicialmente foi prospectada uma área com histórico conhecido sem adubação fosfatada e realizada análise química para P disponível e granulométrica de 81 amostras coletadas em *grid* (10 m x 10 m) para a camada 0-20 cm de profundidade. Foram conduzidos dois ensaios em ambientes contrastantes de P no solo: teor baixo (2,5 mg kg<sup>-1</sup> de solo) e teor alto (12 mg kg<sup>-1</sup> de solo) de P para 63% de argila. A fonte de P foi o superfostato triplo e os demais nutrientes (N, K, S e Zn) foram fornecidos em níveis adequados conforme as recomendações técnicas para o arroz de terras altas.

Foi adotado o delineamento látice quadrado 14 x 14, com 2 repetições, composto por 189 progênies  $S_{0.2}$  e 7 testemunhas (BRS Esmeralda, BRS Bonança, BRS Monarca, BRS Pepita, BRS Primavera, BRS Sertaneja e BRSGO Serra Dourada). As parcelas foram constituídas por 4 linhas de 3 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,30 m e densidade de 60 sementes por metro.

Os dados de produção de grãos (PG, em kg ha<sup>-1</sup>) foram submetidos às análises estatísticas, via *proc glm* do aplicativo estatístico SAS® (SAS Institute 2012), adotando o seguinte modelo aleatório para análise conjunta (Cochran and Cox 1966): , em que  $y_{ijk}$  é a observação do genótipo  $i$ , na repetição  $j$ , no bloco  $k$ , no ambiente  $l$ , pertencente ao tipo  $t$ ;  $\mu$  é a média geral;  $\alpha_l$  é o efeito aleatório de ambiente (níveis de P no solo com  $l = 2$ ; sendo um nível baixo e outro alto);  $\beta_t$  é o efeito aleatório de tipo ( $t = 2$ ; sendo um grupo de progênies e outro de testemunhas);  $\gamma_{it}$  é o efeito aleatório do tratamento (progênies e testemunhas) dentro do tipo ( $i = 1, 2, \dots, , , \dots$ ; sendo  $i$  o número de progênies e  $i$  o número de testemunhas), assumindo  $\gamma_{it} \sim N(0, \sigma_{it}^2)$ ;  $\delta_{jl}$  é o efeito aleatório de repetição ( $j = 1, 2, \dots, ,$ ), dentro do ambiente  $l$ ;  $\epsilon_{kl}$  é o efeito aleatório de bloco ( $k = 1, 2, \dots, ,$ ), dentro da repetição  $j$  e dentro do ambiente  $l$ ;  $\zeta_{lkt}$  é o efeito aleatório da interação tratamento x ambiente (níveis de P no solo), assumindo  $\zeta_{lkt} \sim N(0, \sigma_{lkt}^2)$ ; e  $\eta_{ijkl}$  é o erro experimental associado à  $ijkl$ -ésima parcela, assumindo independente e idênticamente distribuído, sob  $\eta_{ijkl} \sim N(0, \sigma_{ijkl}^2)$ .

Com as médias, foi estimada a performance relativa ( $PR$ ) de cada genótipo nos ambientes de baixo e alto nível de P no solo, pela expressão  $PR = \frac{y_{ijk}}{\mu_{l}}$ , em que  $y_{ijk}$  é a média do tratamento no ambiente  $l$ ; e  $\mu_{l}$  corresponde a média do ambiente  $l$ . Em seguida, foi estimada a média harmônica da performance relativa ( $PR$ ) para classificar os genótipos quanto à eficiência e resposta ao P, pela expressão  $PR = \frac{1}{\frac{1}{PR_{baixo}} + \frac{1}{PR_{alto}}}$ . Para facilitar a identificação de genótipos eficientes e responsivos, as médias dos tratamentos em cada ambiente foram plotados em gráfico de dispersão, onde no eixo das abcissas foram plotados os resultados do ambiente de alto nível de P no solo e no eixo das ordenadas os resultados do ambiente de baixo nível de P no solo, com o plano cartesiano dividido em quatro quadrantes pelas médias de cada ambiente.

### Resultados e Discussão

As precisões experimentais dos ensaios foram satisfatórias considerando o delineamento e o tipo de parcela adotada para PG em arroz de terras altas, com valores de CV% classificados como médios (Tabela 1) (Costa et al. 2002). A deficiência de P no solo afetou expressivamente a média geral da população e a estimativa da variância genética entre progênies  $S_{0.2}$  ( $\sigma_{it}^2$ ) para PG. Houve uma quebra de cerca de 27% na média geral devido a deficiência de P no solo e uma redução de cerca de 57% da  $\sigma_{it}^2$ , sendo a esperança do quadrado médio do efeito de progênies igual a  $\sigma_{it}^2$ , em que  $\sigma_{it}^2$  é a variância do erro e  $n$  é o número de repetições (Tabela 1). Assim, esse estresse abiótico estreitou a  $\sigma_{it}^2$  por restringir a expressão do caráter PG, provocando uma menor amplitude da variação fenotípica das médias.

Em ambos os ambientes e na análise conjunta, as progênies  $S_{0.2}$  tiveram médias significativamente inferiores as de testemunhas (efeito de Tipo), provavelmente devido ao reduzido número de ciclos de seleção (dois) já

realizados com nessa população, bem como, pela presença do gene de macho esterilidade genética dentro das progênies  $S_{0,2}$  ( das plantas dentro de progênie são macho estéreis), afetando a produtividade.

O desdobramento do efeito de tratamentos (análises individuais e conjunta) revelou diferença altamente significativa ( $p \leq 0,01$ ) entre progênies  $S_{0,2}$ , evidenciando a presença de variabilidade genética nessa população para obtenção de progresso genético para PG sob as duas condições de P no solo. Verificou-se que o efeito da interação tratamento x ambiente (GxE) não foi significativo a 5% pelo teste F, no entanto, foi significativo com nível de probabilidade muito próximo, igual a 6,53%. Por isso, não se pode desprezar completamente a presença da interação GxE.

Tabela 1. Análises de variância individual para os dois ambientes com diferente níveis de fósforo (P) no solo (baixo e alto nível de P) e a conjunta, coeficiente de variação experimental (CV%), média geral, média das progênies  $S_{0,2}$  ( ) e média das testemunhas ( ), para o caráter produção de grãos (PG, em  $kg\ ha^{-1}$ ).

Análise individual					Análise conjunta				
FV	GL	QM			FV	GL	QM		
		Baixo P	Alto P						
Repetições (R)	1	38.135.556	**	21.379.572	**	Ambientes (E)	1	182.584.439	ns
Blocos/R	26	1.400.030	**	1.252.502	**	Repetições (R)/E	2	29.757.564	**
Tipo	1	23.416.693	**	14.925.940	**	Blocos/R/E	52	1.326.266	**
Tratamentos (G)	195	706.576	**	1.132.768	**	Tipo	1	37.866.667	**
Progênies $S_{0,2}$	188	585.929	**	1.012.262	**	Tratamentos (G)	195	1.351.184	**
Testemunhas	6	233.835	ns	2.376.996	**	Progênies $S_{0,2}$	188	1.136.840	**
Resíduo	169	348.721		459.063		Testemunhas	6	1.442.498	**
Média Geral		2.611		3.577		Interação G x E	195	488.160	ns†
CV%		22,61		18,94		Resíduo	338	403.892	
		2.563		3.538		Média Geral		3.094	
		3.928		4.627		CV%		20,54	
								3.050	
								4.278	

ns, \* e \*\*: não significativo, significativo 5% e 1%, respectivamente; e † nível de probabilidade de significância ( $Pr > F$ ) igual a 0,0653.

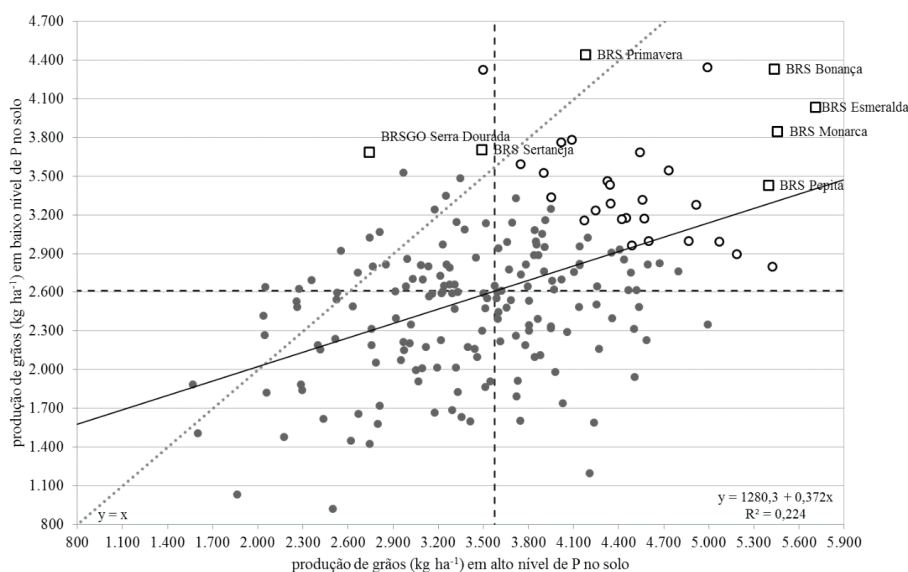


Figura 1. Médias dos tratamentos sob ambientes de baixo e alto nível de fósforo (P) no solo, para o caráter produção de grãos (PG, em  $kg\ ha^{-1}$ ), em que: (—) são as médias gerais dos ensaios sob condição de baixo e alto nível de P no solo (●); são as progênies descartadas; (●) são as progênies selecionadas; (—) é a regressão

linear ( $y = x$ ) para avaliação da estabilidade; e  $(\text{---})$  é a regressão linear para correlação da PG entre os dois ambientes.

Com base na dispersão gráfica das médias de PG dos 196 tratamentos, sob condições de baixo e alto nível de P no solo, os tratamentos 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.

Observou-se uma baixa correlação fenotípica ( $r$ ) entre os níveis de P de 0,47 (Figura 1). Assim, os tratamentos que apresentaram bom desempenho em um nível de P pode não ter mantido o mesmo comportamento em outro nível de P, ou seja, houve a presença de interação tratamento x nível de P no solo (GxE), corroborando com o observado na Tabela 1. A presença de interação GxE, associada com baixa correlação fenotípica entre níveis de P ressaltou a necessidade de ter avaliado os genótipos nos dois níveis de P.

Quanto à estabilidade, pode ser observado que os tratamentos localizados próximo à linha pontilhada ( $y = x$ ) são os mais estáveis, ou seja, expressaram comportamento produtivo equivalente entre os dois níveis de P. A maioria dos tratamentos apresentou maior produção com alto nível de P, como esperado, uma vez que a resposta da cultura do arroz à aplicação de P é expressiva. Assim, foi possível identificar 65 tratamentos (58 progênies  $S_{0,2}$  e 7 testemunhas) com bom desempenho nos dois níveis de P, ou seja, eficientes e responsivos (Figura 1).

A análise gráfica de dispersão auxilia na seleção do grupo de tratamentos eficientes e responsivos, porém, não permite que a seleção seja feita dentro desse grupo. Nesse sentido, a utilização dos valores de  $S_{0,2}$ , como um índice engloba as informações de eficiência e resposta ao uso do P em uma única medida, fornece suporte para a tomada de decisão. Ou seja, esse índice permite selecionar as progênies  $S_{0,2}$  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.

Assim, com base na  $S_{0,2}$  do caráter PG, foi possível classificar quais foram as 25 melhores progênies  $S_{0,2}$  dentre aquelas que apresentaram desempenho produtivo acima da média nos dois níveis simultaneamente, ou seja, que se encontravam no quadrante direito superior do gráfico de dispersão (Figura 1). Desse modo, infere-se que o método  $S_{0,2}$  foi adequado para seleção das melhores progênies de arroz para os atributos de eficiência e resposta ao P, simultaneamente, as quais farão parte da recombinação dessa população para o início do próximo ciclo de seleção recorrente.

Tabela 2. Média e Performance Relativa ( $PR$ ), para produção de grãos (PG, em  $\text{kg ha}^{-1}$ ), nos ambientes de baixo e alto nível de P no solo, e a Média Harmônica da Performance Relativa ( $PR_H$ ) considerando os dois ambientes simultaneamente. As 25 melhores progênies  $S_{0,2}$  selecionadas e melhores testemunhas segundo  $S_{0,2}$ .

Class.	Progênies	Baixo P*		Alto P*		$PR_H$	Class.	Progênies	Baixo P		Alto P		$PR_H$
		Média	$PR$	Média	$PR$				Média	$PR$	Média	$PR$	
1	BRS Pepita	4.333	1,66	5.432	1,52	1,59	16	CNA9/3/1-11-1	2.896	1,11	5.183	1,45	1,26
2	BRS Esmeralda	4.037	1,55	5.707	1,60	1,57	17	CNA9/3/1-88-2	2.799	1,07	5.420	1,52	1,26
3	CNA9/3/1-94-4	4.347	1,66	4.987	1,39	1,52	18	CNA9/3/1-1-4	3.175	1,22	4.568	1,28	1,25
4	BRS Monarca	3.849	1,47	5.455	1,53	1,50	19	CNA9/3/1-91-3	3.000	1,15	4.861	1,36	1,25
5	BRS Sertaneja	3.433	1,31	5.394	1,51	1,40	20	CNA9/3/1-62-5	3.292	1,26	4.343	1,21	1,24
6	BRSGO Serra Dourada	4.178	1,60	4.312	1,21	1,38	21	CNA9/3/1-132-5	3.181	1,22	4.449	1,24	1,23
7	CNA9/3/1-162-4	3.550	1,36	4.731	1,32	1,34	22	CNA9/3/1-90-2	4.329	1,66	3.496	0,98	1,23
8	CNA9/3/1-32-5	3.690	1,41	4.540	1,27	1,34	23	CNA9/3/1-125-2	3.170	1,21	4.419	1,24	1,22

9	CNA9/3/1-149-3	3.280	1,26	4.914	1,37	1,31	24	CNA9/3/1-128-2	3.001	1,15	4.599	1,29	1,21
10	CNA9/3/1-58-3	3.784	1,45	4.084	1,14	1,28	25	CNA9/3/1-54-5	3.236	1,24	4.242	1,19	1,21
11	CNA9/3/1-149-5	3.320	1,27	4.554	1,27	1,27	26	CNA9/3/1-91-5	3.527	1,35	3.898	1,09	1,21
12	CNA9/3/1-62-3	2.994	1,15	5.066	1,42	1,27	27	CNA9/3/1-136-1	2.964	1,14	4.487	1,25	1,19
13	CNA9/3/1-32-1	3.463	1,33	4.322	1,21	1,26	28	CNA9/3/1-117-5	3.598	1,38	3.747	1,05	1,19
14	CNA9/3/1-126-3	3.439	1,32	4.340	1,21	1,26	29	CNA9/3/1-62-4	3.160	1,21	4.170	1,17	1,19
15	CNA9/3/1-40-3	3.768	1,44	4.015	1,12	1,26	30	CNA9/3/1-82-4	3.339	1,28	3.948	1,10	1,18

\* Médias gerais dos ambientes com baixo e alto nível de P no solo iguais a 2.611 kg ha<sup>-1</sup> e 3.577 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e a FAPEG pelo apoio financeiro ao projeto.

### Referências

- Chin JH, Lu X, Haefele SM, Gamuyao R, Ismail, A, Wissuwa, M and Heuer, S (2010) Development and application of gene-based markers for the major rice QTL Phosphorus uptake 1. **Theoretical and Applied Genetics** 120: 1073-1086.
- 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.
- Fujimaki H (1979) Recurrent selection by using genetic male sterility for rice improvement. **JARQ** 13: 153-156.
- Geraldi IO (1997) Selección recurrente en el mejoramiento de plantas. In: Guimarães EP (ed.) **Selección recurrente en arroz**. CIAT, Cali, p. 3-11.
- Morais OP, Castro EM and Sant'Ana EP (1997) Selección recurrente em arroz de secano em Brasil. In: Guimarães EP (ed.) **Selección recurrente en arroz**. CIAT, Cali, Colombia, p. 99-115.
- Pinheiro BS, Castro EM and Guimarães CM (2006) Sustainability and profitability of aerobic rice production in Brazil. **Field Crops Research** 97: 34-42.
- SAS Institute (2012) **SAS Technical report SAS/STAT Software**. Cary Nc, SAS Institute.
- Wissuwa M, Wegner J, Ae N and Yano M (2002) Substitution mapping of Pup1: a major QTL increasing phosphorus uptake of rice from a phosphorus-deficient soil. **Theoretical and Applied Genetics** 105: 890-897.