

IMPACTO DA INTRODUÇÃO DE FONTES DE TOLERÂNCIA À TOXIDEZ POR FERRO E AO FRIO NA POPULAÇÃO CNA12S

Orlando Peixoto de Morais¹; José Manoel Colombari Filho¹; Paula Pereira Torga¹; Paulo Hideo Nakano Rangel¹; Paulo Ricardo Reis Fagundes²; Oneides Antônio Avozani³

Palavras-chave: *Oryza sativa* L.; genética quantitativa; melhoramento populacional; capacidade geral de combinação.

INTRODUÇÃO

O Programa de Melhoramento Genético de Arroz da Embrapa (MelhorArroz) se reorganizou no início da década de 90, quando passou a adotar o método de seleção recorrente de maneira sistemática. Para tanto, foram sintetizadas populações geneticamente diversificadas e de alto desempenho, principalmente, para que fossem fornecedoras recorrentes de novos genitores para o núcleo elite de cruzamentos. Apesar desses cruzamentos serem a principal fonte de segregação de genótipos para o desenvolvimento de cultivares, essas populações de seleção recorrente, também podem fornecer famílias para a extração de linhagens com uma frequência tão alta quanto for sua concentração de alelos favoráveis. Para o arroz irrigado na região Sul, atualmente cinco populações vêm sendo trabalhadas por meio de um esforço conjunto de melhoramento populacional entre a Embrapa e o IRGA, com uso de um esquema previamente estabelecido de seleção recorrente. Tal esquema é fundamentado nos desempenhos de famílias $S_{0,2}$ observados em ensaios conduzidos em locais representativos das principais regiões produtoras de arroz do Rio Grande do Sul.

Eventualmente, a variabilidade genética de uma população pode diminuir com os sucessivos ciclos de seleção (GERALDI, 1997). Assim, foi previsto no MelhorArroz a introdução de novos alelos em determinadas populações, cuja conveniência foi monitorada por procedimentos descritos por Morais et al. (1997). Uma das cinco populações de arroz irrigado subtropical é a CNA12S, que se encontra no terceiro ciclo de seleção recorrente. Essa população foi sintetizada sem o uso da macho-esterilidade genética, conforme Rangel et al. (2005), utilizando-se seis fontes de resistência à brusone e dez cultivares/linhagens elite. Este trabalho objetivou avaliar o impacto sobre a produtividade e outros caracteres agrônômicos advindos da introdução, nessa população, de alelos oriundos de fontes de tolerância à toxidez por ferro e/ou de tolerância ao frio.

MATERIAL E MÉTODOS

No início do terceiro ciclo de seleção, sete fontes de tolerância à toxidez por ferro e/ou tolerância ao frio foram cruzadas com quatro a seis subpopulações da CNA12S sempre utilizando as fontes como genitor feminino. Como fontes de tolerância ao frio foram utilizadas: INIA Tacuari, IR80730-1-3-2-1 e IRGA 426; como fontes de tolerância à toxidez por ferro: SCS 116 Satoru e Wu 10B; e, como tolerantes a ambos os estresses: BRS Querência e IRGA 424. As sementes F_1 dos 40 cruzamentos obtidos foram multiplicadas durante o primeiro semestre de 2013, e colhidos em bulk.

No ano agrícola 2013/14, os 40 cruzamentos em F_2 , as sete fontes de tolerância e duas testemunhas adicionais, IRGA 417 e BR-IRGA 409, foram avaliadas quanto à produção de grãos (kg ha^{-1}), altura de plantas (cm), dias para o florescimento (DAS), severidade de doenças na parcela (brusone do pescoço, escaldadura, mancha parda e mancha-de-grãos;

¹ Doutor, Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, 75375-000, Caixa Postal 179, Santo Antônio de Goiás, GO, orlando.morais@embrapa.br (autor correspondente)

² Doutor, Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, 96010-971, Caixa Postal 403, Pelotas, RS

³ Mestre, Pesquisador do Instituto Rio Grandense do Arroz, 94930-030, Caixa Postal 29, Cacheirinha, RS

com notas de 1 a 9, sendo 1 para parcelas sem sintomas e 9, com sintomas severos). Foi adotado o delineamento experimental látice simples 7x7, conduzido no Campo Experimental da Fazenda Palmital, Goianira/GO. As parcelas constituíam-se de 4 linhas de 5 m de comprimento, espaçadas de 0,17 m.

Especificamente neste trabalho, não havia interesse em explorar a variação entre cruzamentos oriundos de uma mesma fonte. Assim na análise de variância, os cruzamentos foram agrupados, buscando-se a variação entre unidades de avaliação constituídas de famílias de meios irmãos (FMI), fontes e testemunhas, adotando um modelo em que os cruzamentos, com uma fonte parental comum, foram aninhados dentro das respectivas FMI. A matriz de covariância do vetor de estimativas de médias foi obtida e as médias comparadas pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade.

O impacto da introdução de uma determinada fonte como genitor adicional a CNA12S, foi avaliado com base no comportamento *per se* das FMI correspondente, especialmente para o caráter produção de grãos como, também, pela estimativa da capacidade geral de combinação (CGC) com a população. A estimação da CGC da fonte *i* com a CNA12S foi obtida adotando-se o seguinte modelo: $y_i = \mu + g_i + \varepsilon_i$, em que: y_i corresponde às médias ajustadas das FMI correspondente a fonte *i* como genitora comum; μ é a constante associada a todas as observações; g_i é a capacidade geral de combinação da fonte *i* com a população; e ε_i é erro relativo da observação y_i .

Como os erros ε_i não são homogêneos e nem ortogonais, os cálculos foram efetuados adotando a metodologia de Silva et al. (2000), cuidando-se de proceder as adaptações necessárias, especialmente as relativas à matriz X e às restrições lógicas, correspondentes a cortes convenientes no espaço das soluções.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se ampla variação entre as estimativas de produção de grãos, dias para o florescimento e escaladura (Tabela 1). Uma variação um pouco menor foi observada para altura de plantas, mancha parda e mancha-de-grãos. Não houve variação significativa para brusone do pescoço, indicando baixa severidade dessa doença no ensaio, uma vez que houve reconhecidas diferenças de resistência a esse estresse biótico entre alguns dos tratamentos como IRGA 417, normalmente mais suscetível e IRGA 424, mais resistente (Tabela 1).

As FMI oriundas de fontes de melhor adaptação, como IRGA 424, SCS 116 Satoru, BRS Querência e IRGA 426, comportaram-se, em geral, como mais produtivas, exceto, a derivada de Wu 10B, que não diferiu dos genitores citados, mas, em cruzamento com a população, gerou famílias que se enquadraram entre as menos produtivas. As FMI derivadas de INIA Tacuari e IRGA 426 floresceram praticamente na mesma época do parental comum, enquanto aquelas oriundas de fontes mais tardias (IRGA 424, SCS 116 Satoru e Wu 10B) ou mais precoces (BRS Querência e IR80730-1-3-2-1) diminuíram ou aumentaram seus ciclos em relação aos respectivos genitores comuns, sem nenhuma evidência de efeitos de dominância do caráter precocidade apontado por Vergara & Chang (1985). Relações semelhantes ocorreram com o caráter altura de plantas, exceto no tocante às fontes BRS Querência e INIA Tacuari, que apresentam alturas semelhantes, mas as FMI delas derivadas diminuíram e aumentaram, respectivamente, suas alturas de plantas, quando cruzadas com a CNA12S.

A estimativa de média de produção de todas as FMI foi 5.972 kg ha⁻¹, que representa 68,1% da produção média da cultivar IRGA 424. Além da influência do efeito dos genitores menos adaptados às condições ambientais de Goianira/GO, onde foi conduzido o ensaio, há o efeito médio da própria CNA12S, que ainda é menos produtiva que as cultivares. Três das sete fontes em avaliação apresentaram estimativas de CGC negativas e de magnitude suficientemente alta para sugerir hipótese de nulidade ($p < 0,05$) (Tabela 2).

Tabela 1. Médias¹ de produção de grãos (PROD), dias para o florescimento (FLO), altura de plantas (ALT) e severidade de doenças na parcela (brusone do pescoço - BP, escaldadura foliar - ESC, mancha parda - MP e mancha-de-grãos - MG), das famílias de meio irmãos, linhagens genitoras e testemunhas. Ano agrícola 2013/14.

Tratamento	PROD (kg ha ⁻¹)	FLO (DAS)	ALT (cm)	BP (1-9)	ESC (1-9)	MP (1-9)	MG (1-9)
FMI\BRS Querência	6.545 cd	84 cd	93 c	2,0 a	3,3 cd	3,0 b	3,1 b
FMI\INIA Tacuari	4.603 f	80 e	112 a	2,0 a	3,2 d	2,7 cd	3,3 ab
FMI\IR80730-1-3-2-1	5.248 ef	81 e	102 b	2,0 a	3,3 cd	2,8 d	3,4 ab
FMI\IRGA 424	6.488 cd	81 e	96 bc	2,0 a	3,0 def	2,4 d	3,0 b
FMI\IRGA 426	6.736 bcd	85 c	90 c	2,0 a	3,1 d	2,7 cd	3,1 ab
FMI\SCS 16 Satoru	6.928 bcd	91 b	94 bc	1,9 a	3,6 bc	2,8 cd	3,1 ab
FMI\Wu 10B	5.255 ef	78 f	112 a	2,3 a	3,8 b	3,2 bc	3,5 a
BRS Querência	7.777 abc	80 de	101 b	2,7 a	4,4 a	6,2 a	3,4 ab
INIA Tacuari	4.074 fg	79 ef	99 b	1,9 a	3,0 def	2,0 d	2,8 bc
IR80730-1-3-2-1	2.267 g	74 g	71 d	2,0 a	2,3 f	2,2 d	2,3 c
IRGA 424	8.766 a	92 b	91 c	2,1 a	2,5 e	2,9 bc	3,2 ab
IRGA 426	7.056 abcd	87 c	94 bc	2,0 a	3,2 cd	2,5 cd	3,3 ab
SCS 16 Satoru	7.995 ab	104 a	88 c	2,0 a	4,2 ab	3,0 bc	3,1 ab
WU 10B	6.867 abcd	93 b	78 d	1,9 a	2,3 f	2,8 bcd	2,8 bc
IRGA 417	5.791 d	84 cd	94 bc	2,1 a	4,3 a	2,9 bc	3,7 a
BR IRGA 409	7.278 abcd	93 b	97 bc	2,6 a	3,5 bcd	3,9 b	3,6 a
CV (%)	17,7	2,1	6,6	17	12,8	22,8	12,9

¹Média seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Wu 10B é chinesa (YUNG, 1983), a IR80730-1-3-2-1 foi introduzida do IRRI e a INIA Tacuari é uma cultivar uruguaia. Essas três fontes são de origens bem diversas entre si e dos genitores originais da CNA12S, o que constitui um dos indicadores adicionais de divergência genética (OLIVEIRA, 1989). Em função dessa diversidade de origem, elas poderão contribuir com genes distintos de tolerância ao frio e, portanto, para se evitar prejuízos na capacidade de produção de grãos da CNA12S, deve-se buscar formas alternativas de incorporá-las na população. É recomendável nesse caso, realizar seleção de plantas com tolerância à toxidez por ferro, no caso das FMI derivadas da primeira, e com tolerância ao frio, no caso das derivadas das duas últimas, seguindo-se de pelo menos um retrocruzamento com a população. Com isso, elimina-se ou reduz-se substancialmente o impacto negativo direto sobre a capacidade de produção de grãos da população, que adviria da incorporação nela dessas fontes de tolerância aos estresses, de forma direta.

Tabela 2. Estimativas da capacidade geral de combinação (\hat{g}) de cada uma das fontes de tolerância à toxidez por ferro e/ou tolerância ao frio com a população CNA12S, com seus respectivos desvios-padrão e níveis de significância, para o caráter produção de grãos (kg ha⁻¹).

Fontes	$\hat{g} \pm$ desvio-padrão	p valor (teste t)
BRS Querência	572,8 ± 254,11	<0,050
INIA Tacuari	-1369,1 ± 322,33	<0,001
IR80730-1-3-2-1	-724,3 ± 323,75	<0,050
IRGA 424	516,5 ± 253,31	<0,050
IRGA 426	764,3 ± 259,53	<0,010
SCS 116 Satoru	956,4 ± 271,72	<0,001
Wu 10B	-716,6 ± 307,95	<0,050
Média das FMI	$\hat{\mu} = 5971,9 \pm 103,64$	-

A incorporação das fontes de tolerância BRS Querência, IRGA 424, IRGA 426 e SCS 116 Satoru, por outro lado, pode e deve ser direta, pois apresentaram estimativas de CGC positivas e significativas com a população, contribuindo para aumento da produção de grãos da mesma, sem nenhum impacto negativo sobre outras características agronômicas estudadas. Assim a CNA12S, que atualmente constitui-se de 18 subpopulações (RANGEL et al., 2005), poderia passar a constituir-se de 22 subpopulações, sendo as quatro adicionais oriundas das FMI derivadas dessas quatro fontes de tolerância a estresses, com

elevada capacidade de combinação genética com a população.

CONCLUSÃO

Se as fontes Wu 10B, INIA Tacuari e IR80730-1-3-2-1 fossem introduzidas diretamente na CNA12S, visando tolerância a toxidez por ferro (com a primeira) e tolerância ao frio (com as últimas), impactariam negativamente no potencial produtivo da população, em função da menor capacidade de combinação destas com a população. Não traria, contudo, prejuízos aparentes em altura de plantas, no ciclo vegetativo e nos níveis de resistência às doenças (brusone de pescoço, escaldadura, mancha parda e mancha-de-grãos).

A introdução direta da IRGA 426, SCS 116 Satoru, BRS Querência e IRGA 424, além da potencial contribuição para aumento da tolerância ao frio (a primeira) e a toxidez por ferro (a segunda) ou a tolerância a ambos os estresses (as duas últimas), contribuiria para aumentar significativamente o potencial produtivo da população, sem prejudicá-la em relação aos outros caracteres agrônômicos e de resistência a doenças.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRUZ, C. D. & REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1994. 390 p.

GERALDI, I. O. Selección recurrente en el mejoramiento de plantas. In: E.P. Guimarães (ed). **Selección recurrente en arroz**. Cali, Colombia: CIAT. 1997. pp. 3-12.

MORAIS, O. P. Tamanho efetivo de la población. . In: E.P. Guimarães (ed). **Selección recurrente en arroz**. Cali, Colombia: CIAT. 1997. pp. 25-44.

OLIVEIRA, E. J. de. **Análise multivariada no estudo da divergência genética entre cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Viçosa: UFV, 1989. 91 p. (Tese M. S.)

RANGEL, P. H. N.; CORDEIRO, A. C. C.; LOPES, S. I. G.; MORAIS, O. P.; BRONDANI, C.; BRONDANI, R. P. V.; YOKOYAMA, S.; BACHA, R.; ISHIY, T. Advances in population improvement of irrigated rice in Brazil. In: **Guimarães, E. P. Population improvement: a way of exploiting the rice genetic resources of Latin America**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2005. p. 145-186.

SILVA, S. A. G. E.; MORAIS, O. P.; RAVA, C. A.; COSTA, J. G. C. Método generalizado de análise de dialelos desbalanceados. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.35, n.10, p.1999-2005, 2000.

VERGARA, B. S.; CHANG, T. T. **The flowering response of the rice plant to photoperiod: a review of the literature**. Los Baños, Philippines: The International Rice Research Institute, 1985. 61p. (Fourth edition).

YOUNG, J. B; VIRMANI, S.S.; KUSH, G.S. Cyto-genetic relationship among cytoplasmic-genetic male-sterile, maintainer and restorer lines of rice. **Phillip. J. Crop. Sci.**, 8(3): 119-124, 1983.