

GANHOS EM DEZ ANOS DE MELHORAMENTO DA POPULAÇÃO-ELITE DE ARROZ IRRIGADO DA EMBRAPA NA REGIÃO SUBTROPICAL

Orlando Peixoto de Morais¹, Paulo Ricardo Reis Fagundes², Ariano Martins de Magalhães Júnior², Francisco Pereira Moura Neto³, Rubens Marschalek¹, Péricles Ferreira de Carvalho Neves⁵, José Manoel Colombari Filho⁵, Dino Magalhaes Soares³, Alcides C. M. Severo⁶, Jerry Adriani C. de Souza⁷

Palavras-chave: *Oryza sativa*, resposta à seleção, seleção precoce, ciclo de seleção.

INTRODUÇÃO

O programa de melhoramento de arroz irrigado em desenvolvimento pela Embrapa e seus parceiros vem apresentando resultados importantes no aumento da produção e na qualidade de grãos das cultivares. Conforme comentado por Morais et al. (2011), a seguinte estratégia é adotada no programa: (1) ampliação frequente da variabilidade genética de suas populações-base (PB); (2) melhoramento das PBs, por seleção recorrente, preservando tamanhos efetivos elevados, visando contínua oferta de genitores novos para cruzamentos-elite; (3) melhoramento da população-elite (PE), adotando-se a estratégia de avaliação precoce de produção de grãos em famílias $F_{2:4}$, visando identificar precocemente aquelas de alto valor para uso como genitores em nova série de cruzamentos; e (4) exploração de famílias recombinantes da PE de alto desempenho quanto à produção de grãos como material básico para o desenvolvimento de cultivares superiores. Os ensaios de avaliação das famílias ($F_{2:4}$) são conduzidos nos ambientes alvos e a seleção é baseada na análise conjunta dos mesmos, considerando-se, além de produção de grãos outras características de interesse geral, incluindo qualidade de grãos.

O objetivo desse trabalho foi quantificar os ganhos observados com o melhoramento da PE do programa de melhoramento de arroz irrigado da Embrapa para a região subtropical brasileira, durante o período de 2002/03 a 2011/12, considerando as características produção de grãos (PG), altura de planta (AP) e dias para a floração média (FLO).

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados de PG, AP e FLO, obtidos de 18 Ensaios de Rendimento de Famílias $F_{2:4}$, ERF, da PE, conduzidos durante os anos agrícolas de 2002/03 a 2011/12 (exceto 2006/07, quando não houve avaliação). Os locais de condução dos ensaios foram: Capão do Leão, Alegrete, Uruguaiana, Santa Maria, São Vicente do Sul (RS) e Itajaí (SC). Em cada ano, os ensaios foram instalados em delineamento de blocos aumentados de Federer, com uma ou duas repetições por local, empregando de três a quatro cultivares elite como tratamentos comuns aos blocos. Durante os dez anos foram avaliadas 1.725 famílias, que, na análise conjunta, foram agrupadas em nove categorias, correspondentes aos grupos de famílias avaliadas em cada ano ou ciclo de seleção. Estabeleceu-se também o grupo de cultivares testemunhas, totalizando dez grupos. Os dados foram submetidos à análise estatística via *proc glm* do aplicativo estatístico SAS® (SAS Institute, 2011), estimando as médias de grupos e de tratamentos genéticos dentro de grupos, ajustadas para efeito de ano, local/ano, repetição/local/ano e bloco/repetição/local/ano. Apenas as famílias, dentro dos respectivos grupos, e erro foram considerados fatores aleatórios.

Foram obtidas as estimativas de ganho médio conforme Bresseghe et al. (2011), por meio da análise de regressão linear generalizada para médias ajustadas de grupo,

¹ Pesquisador Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, Cx.P. 179, CEP 75375-000. E-mail: orlando.morais@embrapa.br

² Pesquisador Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Cx.P. 403, CEP 96010-971.

³ Analista Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, Cx.P. 179, CEP 75375-000.

⁴ Pesquisador Epagri, Itajaí, SC, Cx.P. 277, CEP 88301-970.

⁵ Pesquisador Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, Cx.P. 179, CEP 75375-000.

⁶ Assistente de pesquisa Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Cx.P. 403, CEP 96010-971

⁷ Assistente de pesquisa Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, Cx.P. 179, CEP 75375-000.

referentes aos nove anos. Devido à falta de ortogonalidade entre a regressão e desvio da regressão, para obtenção do coeficiente de determinação, foi adotada a equação geral da soma de quadrados de hipótese em modelos lineares (Searle 1971), para cada componente de variação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância foram detectadas significância estatísticas para grupos e famílias ou testemunhas dentro de grupos em níveis de probabilidade relacionados na Tabela 1, onde também encontram-se alistadas as estimativas dos parâmetros estatístico genéticos que têm sido utilizados para a avaliação da precisão e qualidade dos experimentos de programas de melhoramento (Resende e Duarte, 2007). Observam-se diferenças marcantes entre os ciclos de seleção (famílias avaliadas em cada ano) quanto às perspectivas de ganhos com a seleção. Houve anos onde se observaram baixas estimativas de acurácia seletiva (AS), herdabilidade (h^2), coeficiente de variação genética (CVg) e coeficiente de variação relativa (CVr); e, por outro lado, houve anos em que as estimativas desses parâmetros indicavam situações bastante favoráveis à seleção.

Nos dois primeiros, o p valor relativo ao teste F foi maior do que 0,05, no entanto, não se deve, admitir a hipótese de nulidade (H_0) de variação genética entre as famílias, sem uma investigação mais detalhada dos dados. Mesmo no caso do primeiro ano, onde o F valor é até menor do que a unidade havia, seguramente, variância genética entre as famílias, o que se constata com a análise dos dados apenas daquele ano, que revela $F=3,45$ ($p=0,0055$). O CV dessa análise foi de 11,38% e a $AS=0,84$, revelando, portanto, boa precisão experimental e ampla diferenciação entre as famílias. Neste ano, a seleção foi praticada entre as famílias, algumas delas muito efetivas como fonte de linhagens como a CNx8148-B-14, em que foi selecionada a BRS Pampa. A causa da não significância da variação devida aos efeitos de famílias do primeiro e no segundo, revelada pela análise conjunta, pode ser atribuída principalmente à escassez de observações por tratamento nestes dois anos, quando foi utilizado dados de apenas um ensaio em BAF sem repetição, conduzido em Alegrete. Relacionando os parâmetros de qualidade experimental da Tabela 2 com o número de locais de avaliação e de repetição por local, percebe-se a importância de se utilizar mais de um local para se conseguir melhorar a eficiência do processo seletivo. É importante aumentar o número de repetições por local, mas, para se conseguir melhor eficiência, é mais importante ainda aumentar o número de locais de avaliação.

Tabela 1. Número de locais de instalação dos ensaios por ano ($l_{j/a}$), número de repetições por local ($r_{j/la}$), Valor de F (F Valor), p valor ($p>F$), acurácia seletiva (AS), coeficiente de variação genética (CVg), herdabilidade (h^2) e coeficiente de variação relativa (CVr) para cada conjunto de famílias, durante os anos agrícolas de 2002/03 a 2011/12, quanto à produção de grãos.

Ano	Famílias	$l_{j/a}$	$r_{j/la}$	F Valor	P valor	AS	h^2	CVg (%)	CVr
2002/03	Ciclo 1	1	1	0,65	0,9999	0,00	.	.	.
2003/04	Ciclo 2	1	1	1,11	0,1146	0,31	9,54	6,46	0,37
2004/05	Ciclo 3	2	1	2,30	<0.0001	0,75	56,57	15,36	0,89
2005/06	Ciclo 4	3	1	1,52	<0.0001	0,58	34,28	8,36	0,49
2007/08	Ciclo 5	2	2	1,63	<0.0001	0,62	38,64	7,36	0,43
2008/09	Ciclo 6	2	2	2,06	<0.0001	0,72	51,53	10,92	0,63
2009/10	Ciclo 7	2	2	2,01	<0.0001	0,71	50,25	9,57	0,56
2010/11	Ciclo 8	2	2	2,29	<0.0001	0,75	56,40	9,72	0,56
2011/12	Ciclo 9	3	2*	1,71	<0.0001	0,64	41,37	6,68	0,39

*Um dos três locais (Itajai) com uma repetição (total de cinco repetições)

Na Tabela 2 encontram-se as médias dos grupos de famílias e das seis cultivares testemunhas em relação às características estudadas. A BRS Pampa, mesmo sendo mais precoce, se destaca pela capacidade de produção de grãos, além de outros atributos como qualidade de grãos e sanidade, informações não apresentadas nesse trabalho, mas disponibilizadas em outros como o Magalhães Jr. et al. (2011).

Tabela 2. PG (kg.ha⁻¹), AP (cm), FLO (dias) dos grupos de famílias avaliadas e das testemunhas. ERF, 2002/03 a 2011/12.

Grupos	Prod	Alt	Flo	Testemunha	Prod	Alt	Flo
Testemunhas*	8223 b	90,7 c	88,8 b	BR IRGA 409	8618 b	99,4 a	97,4 a
1. Ano 2002/03	7221 c	90,6 bc	88,6 b	BRS 7 Taim	8941 b	88,3 d	97,0 a
2. Ano 2003/04	7550 c	92,4 bc	84,7 c	IRGA 417	8344 c	89,7 cd	86,0 b
3. Ano 2004/05	8090 b	93,8 b	94,1 a	BRS 6 Chuí	8298 bc	90,8 bc	85,5 b
4. Ano 2005/06	7961 bc	94,6 a	93,1 a	BRS Bojuru	5243 d	82,7 e	84,5 bc
5. Ano 2007/08	8329 ab	91,8 bc	93,6 a	BRS Pampa	9895 a	93,1 b	82,6 c
6. Ano 2008/09	8273 ab	93,7 ab	90,1 b	.	.	.	.
7. Ano 2009/10	8315 ab	91,8 bc	92,8 a	.	.	.	.
8. Ano 2010/11	8800 a	90,7 bc	88,8 b	.	.	.	.
9. Ano 2011/12	8677 a	91,4 bc	83,9 c	.	.	.	.
CV (%)	17,24	6,50	5,08	17,24	6,50	5,08	17,24

*Média das cultivares testemunhas. OBS: em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

A simples comparação de médias de PG evidencia a evolução consistente das médias dos grupos de famílias nos sucessivos ciclos de seleção. Os conjuntos de famílias dos dois primeiros anos foram significativamente menos produtivos que do o conjunto de testemunhas ($p < 0,05$). As famílias dos cinco anos intermediários, por sua vez, já se comportavam como similares às testemunhas, mas, como continham boa presença de variação entre famílias dentro de grupo, como revelam os parâmetros genético estatísticos da Tabela 1, apresentavam alta frequência de famílias mais produtivas, o que sempre foi constatado nas análises anuais, nos momentos de realização das seleções. Como fruto do processo de contínuo de melhoramento, as famílias dos ERFs de 2010/11 e 2011/12, em média, superaram a média das testemunhas em PG em, cerca de, 5,4 a 10%. Famílias produtivas e com substancial nível de variação genética entre os indivíduos que a constituem representam, material básico de alto valor como fonte de novas cultivares. A evolução da produção de grãos das famílias ao longo dos sucessivos ciclos de seleção pode ser visualizada na Figura 1, onde se observa que o coeficiente de regressão linear de produção de grãos em função de ano de avaliação foi de 121,9 kg ha⁻¹, altamente significativo ($p < 0,001$), representando o ganho médio anual de produção de grãos observado como melhoramento da população-elite de arroz irrigado subtropical, durante os nove anos estudados.

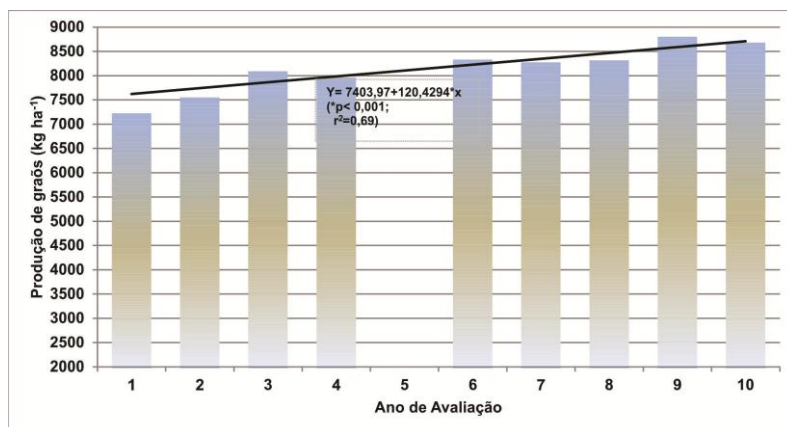


Figura 1. Ganho genético para produção de grãos (kg/ha), observado no melhoramento da população-elite de arroz irrigado subtropical, no período de 2002/03 a 2011/12.

A estimativa do coeficiente de determinação, R^2 , da regressão foi 0,69, indicando que a evolução das médias ajustadas dos sucessivos grupos de famílias, dentro do período estudado se ajusta razoavelmente bem ao modelo linear estabelecido. Considerando como valor de referência, a PG estimada pela regressão para o primeiro ano, 2002/03 (7.624,4 kg ha⁻¹), e ganho médio de 121,9 kg ha⁻¹, correspondente a 1,60%/ano, o que é muito promissor, quando comparado com os ganhos de outros programas, entre os quais se enumeram: arroz irrigado, Texas (EUA), 42,2 kg ha⁻¹/ano (Tabien et al., 2008); arroz irrigado, RS, 1979-2008, 0,94%/ano (Moura Neto et al., 2009); arroz de terras altas, Brasil, 1,44%/ano (Bresseghele et al., 2011); trigo, Brasil, 48 kg ha⁻¹/ano (Cargnin et al., 2008); milho, Nebraska (EUA), 37, ha⁻¹/ano (Mason et al., 2008).

Estudo idêntico ao realizado para PG também foi feito para AP e FLO. A evolução das médias dessas características da PE pode ser observada na Tabela 2. Observou-se que a AP variou de 99,6 a 94,6 cm, sem nenhuma relação linear significativa entre as médias dos grupos de famílias e anos de avaliação. No caso de FLO, observou-se, contudo, uma ligeira redução dos primeiros para os últimos ciclos de seleção. Em média, foram menos 0,4 dias por ano, significativos ($p < 0,01$), mas o modelo linear ajustado explica apenas 10% da variação das médias de FLO dos grupos de famílias. A redução de FLO da PE e das cultivares delas derivadas, combinada com aumento de PG e melhoria de outras características de interesse da cadeia produtiva de arroz, constitui um dos maiores desafios para os programas de melhoramento genético de arroz irrigado para o país.

CONCLUSÃO

A estratégia de avaliação precoce de famílias $F_{2,4}$ quanto à produção de grãos, combinada com a redução da duração do ciclo de seleção pela geração de novas populações de melhoramento a partir de cruzamentos envolvendo as famílias de alta performance propicia ganhos importantes, cerca de 1,6% ao ano, no melhoramento da população elite de arroz irrigado subtropical

REFERÊNCIAS

- BRESEGHELO F. et al. Results of 25 Years of Upland Rice Breeding in Brazil. **Crop Science** 51: 914-923, 2011.
- CARGNIN, A. et al. Progress in breeding of irrigated wheat for the Cerrado region of Brazil. **Crop Breed. Appl. Biotechnol.** 8:39-46, 2008.
- MAGALHÃES Jr. et al. BRS Pampa: nova cultivar de arroz irrigado para o Rio Grande do Sul. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 7.**, 2011, Balneário Camboriú, SC. Racionalizando recursos e ampliando oportunidades: anais. Itajaí: Epagri/Sosbai, 2011. p.: 156-159.
- MASON, S.C., et al. Yield increase has been more rapid for maize than for grain sorghum. **Crop Sci.** 48:1560-1568, 2008.
- MORAIS, O. P. et al. Avaliação precoce de rendimento de grãos no melhoramento de arroz. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 7.**, 2011, Balneário Camboriú, SC. Racionalizando recursos e ampliando oportunidades: anais. Itajaí: Epagri/Sosbai, 2011. p.: 113-114.
- MOURA NETO, F. et al. Contribuição da pesquisa de melhoramento genético para a elevação da produtividade da lavoura arrozeira do Rio Grande do Sul. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 7.**, 2011, Balneário Camboriú, SC. Racionalizando recursos e ampliando oportunidades: anais. Itajaí: Epagri/Sosbai, 2011. p.: 248-251.
- RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecária Tropical** 37(3): 182-194, 2007.
- SAS INSTITUTE. SAS Technical report SAS/STAT Software. CaryNc, SAS Institute, 2011.
- SEARLE, S.R. **Linear models.** John Wiley & Sons, New York, 1971. 532 p.
- TABIEN, R.E. et al. **Forty-eight years of rice improvement in Texas since the release of cultivar Bluebonnet in 1944.** Crop Sci. 48:2097-2106. 2008.