

Ganhos em Dez Anos de Melhoramento da População-elite de Arroz de Terras Altas da Embrapa

Orlando Peixoto de Morais¹, Adriano Pereira Castro², José Manoel Colombari Filho³, Marley Marico Utumi⁴, Flávio Jesus Wruck⁵, Flávio Breseghello⁶, Roni de Azevedo⁷, José Almeida Pereira⁸, Cleber Morais Guimarães⁹, Antônio Alves Soares¹⁰.

Resumo

A evolução da capacidade produtiva das cultivares de arroz de terras altas, desenvolvidas pela Embrapa e seus parceiros, e o melhoramento de sua tolerância a estresses bióticos e abióticos e de sua qualidade de grãos tem sido frequentemente registrada. Essas respostas favoráveis vêm sendo suportadas pela aplicação de seleção recorrente (SR) em populações-base (PB) de ampla base genética, manejada com objetivos de longo prazo, e que frequentemente oferecem genitores novos para inclusão nos cruzamentos-elite, visando o desenvolvimento de novas cultivares. No melhoramento da população-elite (PE), por sua vez, o programa vem adotando desde 2002/03 a estratégia de avaliação de famílias F2:4 para produtividade de grãos, visando identificar precocemente aquelas de alto valor para inclusão em novos cruzamentos e, com isso, reduzir a duração de cada ciclo de seleção. Nesse trabalho mostra-se que daquele ano até 2011/12 os ganhos em produção de grãos, obtidos com o melhoramento da PE de arroz de terras altas da Embrapa, foi de 2,66% anualmente, tomando como referência a produtividade estimada para o ano agrícola inicial. Sua altura média não se alterou significativamente, tendo, contudo, sido observado um ligeiro aumento de 0,8% ao ano na duração de seu ciclo vegetativo, tendência que convêm ser revertida com o prosseguimento do programa.

Introdução

O programa de melhoramento do arroz de terras altas em desenvolvimento pela Embrapa vem apresentando resultados importantes no aumento da produção e estabilidade produtiva das cultivares (Breseghello et al. 2011). Conforme comentado por Morais et al. (2011), a Embrapa e seus parceiros adotam a seguinte estratégia no melhoramento genético do arroz: (1) ampliação frequente da variabilidade genética de suas populações-bas (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 para produção de grãos de famílias F2:4 (progênies de plantas selecionadas em F2), 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. A redução da duração do ciclo de seleção, que são, em geral, caracteristicamente, muito longos programas convencionais de melhoramento de plantas autógamas (Morais, 2001) contribui diretamente para os ganhos anuais. Os ensaios de avaliação das famílias F2:4 são conduzidos nos ambientes alvos e seleção, baseada na análise conjunta dos mesmos, considerando-se, além de produção de grãos, informações de altura, duração do ciclo vegetativo, severidade de doenças, incidência de acamamentos e características relacionadas com qualidade de grãos.

O objetivo desse trabalho foi quantificar os ganhos observados com o melhoramento da PE do programa de melhoramento de arroz de terras altas da Embrapa, durante o período de 2002/03 a 2011/12, considerando as características avaliadas sistematicamente em totós os ensaios: produção de grãos, altura de planta e dias para a floração média .

¹ Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão – EMBRAPA/Santo Antônio de Goiás. e-mail: orlando.morais@embrapa.br

² Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão – EMBRAPA/Santo Antônio de Goiás. e-mail: adriano.castro@embrapa.br

³ Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão – EMBRAPA/Santo Antônio de Goiás. e-mail: jose.colombari@embrapa.br

⁴ Pesquisador da Embrapa Rondônia – EMBRAPA/Vilhena. e-mail: marley.utumi@embrapa.br

⁵ Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão – EMBRAPA/Sinop. e-mail: flavio.wruck@embrapa.br

⁶ Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão – EMBRAPA/Santo Antônio de Goiás. e-mail: flavio.breseghello@embrapa.br

⁷ Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental – EMBRAPA/Belém. e-mail: roni.azevedo@embrapa.br

⁸ Pesquisador da Embrapa Meio Norte – EMBRAPA/Teresina. e-mail: jose.almeida@embrapa.br

⁹ Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão – EMBRAPA/Santo Antônio de Goiás. e-mail: cleber.guimaraes@embrapa.br

¹⁰ Professor Adjunto do Departamento de Agricultura – UFLA/Lavras. e-mail: aasoares@ufla.br

Material e Métodos

Foram utilizados dados de produção de grãos, altura de planta e dias para a floração média, obtidos de 47 Ensaio de Rendimento de Famílias F2:4, ERF, da PE, conduzidos durante os anos agrícolas de 2002/03 a 2011/12. Anualmente quatro a seis locais representativos de áreas de cultivo de arroz de terras altas (Santo Antônio de Goiás, GO, Vilhena, RO, Sinop, MT, Paragominas, PA e, em alguns anos, Santa Carmem, MT, Teresina, PI, Goianira, GO, ou Lambari, MG), foram utilizados para instalação dos ensaios, em delineamento de blocos aumentados de Federer, empregando quatro cultivares-elite como tratamentos comuns aos blocos. Nos últimos dois anos foram instalados duas repetições em cada local (BAF duplicado), buscando maior precisão experimental. Ao todo foram utilizadas sete cultivares testemunhas dentro do período estudado e, entre dois anos sucessivos, sempre se mantiveram três testemunhas comuns, pelo menos.

Durante os dez anos foram avaliados 1934 famílias, sendo os tratamentos, na análise conjunta, agrupados em 11 categorias: grupo testemunha e grupos (dez) correspondentes às famílias avaliadas em cada ano ou ciclo de seleção. Os dados foram submetidos à análise estatística, via *proc glm* do aplicativo estatístico SAS® (SAS Institute 2012), empregando o seguinte modelo (para análise conjunta geral): $y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \alpha_j + \beta_k + \gamma_l + \delta_{ij} + \epsilon_{ijk} + \eta_{ijkl}$, em que y_{ijkl} é a observação do tratamento (testemunha ou família) do grupo i no bloco j da repetição k do local l do ano t ; μ é a média geral; τ_i é o efeito do ano; α_j é o efeito de local j dentro do ano t e o efeito da repetição dentro do local j e do ano t ; β_k é o efeito do bloco k dentro da repetição k do local j do ano t ; γ_l é o efeito do grupo i ; δ_{ij} é o efeito de famílias ou de cultivares-testemunha dentro do grupo i ; ϵ_{ijk} é o erro associado à i -ésima parcela, assumido independente e uniformemente distribuídos, sob $N \cap (0, \sigma^2)$. Apenas grupo e testemunhas foram considerados fatores de efeito fixo, sendo os demais, aleatórios. As interações de grupos e de famílias/dentro de grupos com locais foram consideradas componentes do erro experimental, condição necessária para a estimabilidade das médias ajustadas dos tratamentos (Searle 1971). Com o procedimento de análise adotado, as estimativas de média de grupos e de tratamentos/grupo foram ajustadas para efeito de ano, local/ano, repetição/(local x ano) e bloco/(repetição x local x ano).

Foram obtidas as estimativas de ganho médio conforme Breseghello et al. (2011) por meio da análise de regressão linear generalizada para médias ajustadas de grupo, referentes aos dez anos. Devido à falta de ortogonalidade entre 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

Em uma análise de variância conjunta preliminar, incluindo as interações de grupos e de tratamentos dentro de grupo com locais dentro de ano, constataram-se, como esperado, valores significativos para essas fontes de variação. O objetivo, contudo, é o melhoramento da PE para a área representada pelos locais utilizados para instalação dos ensaios, devendo-se, por isso, basear-se nas estimativas obtidas pela análise conjunta, o que sempre foi efetivamente praticado a cada ano de seleção. A exclusão dessas fontes de variação do modelo, tornando-as componentes do erro experimental, não o aumentou significativamente. O coeficiente de variação experimental, CV, para produção de grãos, por exemplo, aumentou-se em apenas 1,59 pontos percentuais.

Na Tabela 1 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 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 esses parâmetros indicavam situações bastante favorável à seleção.

Em anos como o de 2004/05 em que o p valor relativo ao teste F é maior do que 0,05, não se deve, contudo, admitir a hipótese de nulidade de variação genética entre as famílias, pois a análise conjunta utilizando apenas os ensaios daquele ano proporciona um F valor altamente significativo ($F=1,59$; $p<0,001$). A variância residual da análise conjunta daquele ano correspondeu a 65,04% do valor obtido na análise conjunta envolvendo a totalidade das observações, não sendo, por isso, tão discrepante, mas suficientemente menor para proporcionar significância no teste de F.

Tabela 1. 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 avaliadas durante os anos agrícolas de 2002/03 a 2011/12.

Grupos*	F Valor	p>F	AS	h^2	CVg(%)	CVr
1. Ano 2002/03	1,52	<0,0001	0,58	34,08	9,94	0,45
2. Ano 2003/04	1,40	<0,0001	0,53	28,49	7,60	0,34
3. Ano 2004/05	1,14	0,0714	0,35	11,94	4,51	0,20
4. Ano 2005/06	2,10	<0,0001	0,72	52,30	8,57	0,38
5. Ano 2006/07	2,62	<0,0001	0,79	61,82	14,32	0,64
6. Ano 2007/08	1,24	0,048	0,44	19,43	5,20	0,23
7. Ano 2008/09	2,42	<0,0001	0,77	58,73	14,42	0,65
8. Ano 2009/10	2,80	<0,0001	0,80	64,32	11,31	0,51
9. Ano 2010/11	1,62	0,0008	0,62	38,25	5,45	0,24
10. Ano 2011/12	4,07	<0,0001	0,87	75,42	11,53	0,52

*Grupos de famílias de cada ciclo de seleção ou ano de avaliação.

Na Tabela 2 encontram-se as médias dos grupos de famílias e das cultivares testemunhas, para as características estudadas. A testemunha mais antiga, entre as utilizadas, é a Canastra e a mais nova, a BRS Sertaneja, lançadas, respectivamente em 1997 e em 2006. Vê-se que a primeira é a menos e a segunda, a mais produtiva, o que concorda com as respostas favoráveis do programa de melhoramento de arroz de terras altas, apontadas por Breseghello et al. (2011) e Colombari Filho et al. (2013). Uma análise comparativa dos grupos de famílias com testemunhas mostra que as famílias avaliadas no primeiro ano foram, em conjunto, as menos produtivas, ao passo que as do último ano constituíam um dos grupos mais produtivos. A comparação com as testemunhas também demonstra o aumento, ao longo do tempo, do potencial produtivo da PE. Os grupos de famílias dos dois primeiros anos foram significativamente menos produtivos do que as testemunhas, em conjunto, enquanto os três últimos grupos superaram-nas, de acordo com o teste de comparação (Tukey) empregado ($p<0,05$).

Tabela 2. Produção de grãos (Prod, kg.ha⁻¹), altura de planta (Alt, cm), dias para a floração média (Flo, dias) dos grupos de famílias avaliadas e das testemunhas. ERFs, 2002/03 a 2011/12.

Grupos	Prod	Alt	Flo	Testemunha	Prod	Alt	Flo
1. Ano 2002/03	2748 g	99,8 a	83,4 c	BRS Talento	3198 bc	88,8 c	85,3 b
2. Ano 2003/04	3062 f	96,0 c	78,5 f	Canastra	2868 d	94,5 b	89,2 a
3. Ano 2004/05	3310 bcde	99,9 a	75,4 g	BRS Primavera	3143 c	102,9 a	76,0 d
4. Ano 2005/06	3114 f	99,2 ab	78,2 f	BRS Aimoré	3305 b	88,6 c	70,3 e
5. Ano 2006/07	3333 bcd	93,0 e	86,4 a	BRS Bonança	3243 b	89,0 c	81,9 c
6. Ano 2007/08	3682 a	96,3 c	80,0 e	BRSMG Curinga	3491 a	91,9 b	85,7 b
7. Ano 2008/09	3250 cdef	95,0 cde	80,2 e	BRS Sertaneja	3553 a	101,5 a	82,1 c
8. Ano 2009/10	3811 a	96,9 bc	83,0 bc	-	-	-	-
9. Ano 2010/11	3416 bc	96,9 c	85,5 b	-	-	-	-
10. Ano 2011/12	3561 ab	96,1 bcd	82,7 c	-	-	-	-
Testemunhas*	3257 de	93,9 de	81,5 d	-	-	-	-
CV (%)	22,27	9,69	4,39	-	-	-	-

*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.

Considerando os dez anos analisados, o ganho médio em produção de grãos observado por ano foi de 2,66%, tomando como referência o valor estimado pela regressão linear ajustada ($y=2893,5 + 79,09x$;

$R^2=43,19\%$; x variando de 1 a dez), correspondente ao ano 1, representada na Figura 1. O intervalo de confiança para o ganho médio de $79,09 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ estimado varia de $65,3$ a $92,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, ao nível de probabilidade de 1% , sendo, portanto, uma estimativa do coeficiente de regressão altamente significativo.

Trabalhando com linhagens avaliadas em VCU, ensaios de avaliação do valor de cultivo e uso, Breseghello et al. (2011) encontraram estimativa de ganho anual de $1,44\%$ ao ano, mas todas as linhagens contempladas nesse estudo derivaram de populações desenvolvidas antes de 2000, portanto sem se beneficiar dessa estratégia de melhoramento de PE por seleção recorrente modificada, que se iniciou em 2002/03 e que conduz, adicionalmente a uma substancial redução da duração do ciclo de seleção, com reflexos positivos nas respostas anuais à seleção.

Estudo idêntico ao realizado para produção de grãos foi feito também para altura de planta e número de dias para floração média. Além de um esforço para aumento da capacidade produtiva das populações-elite, procurou-se, em menor intensidade, reduzir altura de planta e a duração do período vegetativo das mesmas. A evolução das médias dessas características da PE contempladas nesse trabalho pode ser observada na Tabela 2 e Figura 2. Observou-se que a altura de planta variou de $93,0$ a $99,8$ dias, sem nenhuma relação linear significativa com os anos de avaliação das famílias. No caso de dias para a floração média, observou-se, contudo, um ligeiro aumento dos primeiros para os últimos anos de avaliação. Em média, foi $0,6$ dias por ano, tendência que convém ser revertida nos ciclos de seleção subsequentes a serem realizados.

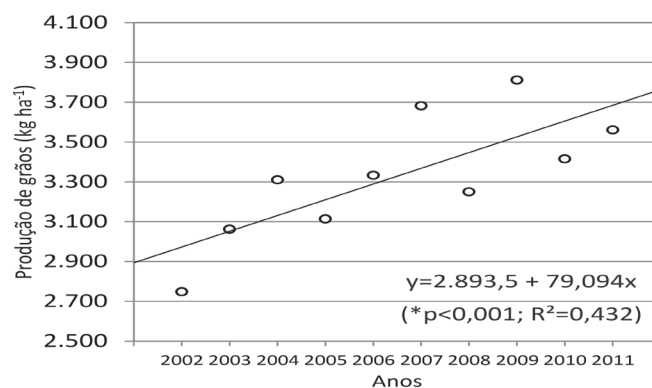


Figura 1. Ganho genético para produção de grãos (kg/ha), observado no melhoramento da população-elite de arroz de terras altas da Embrapa, no período de 2002/03 a 2011/12.

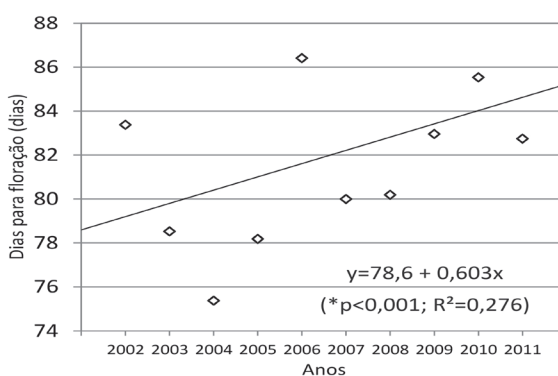
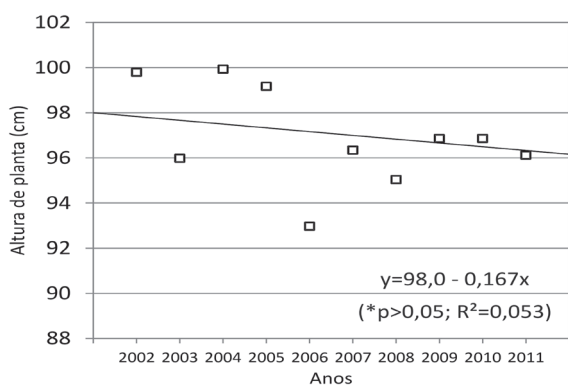


Figura 2. Resposta observada em altura de planta (à esquerda) e dias para o floração média (à direita) com a seleção recorrente praticada na população-elite de arroz de terras altas da Embrapa no período de 2002/03 a 2011/12.

Figura 3 resposta observada à seleção para altura de planta (à esquerda) e dias para a floração média (à direita) no melhoramento da população- elite de arroz de terras altas da Embrapa, durante o período de 2002/03 a 2011/12.

Referências

- Breseghello F, Morais OP, Pinheiro PV, Silva ACS, Castro EM, Guimarães EP, Castro AP, Pereira, JA, Lopes AM, Utumi MM and Oliveira JP (2011) Results of 25 Years of Upland Rice Breeding in Brazil. **Crop Science** **51**: 914-923
- Morais OP, Castro AP, Breseghello F, Colombari Filho JM, Wruck FJ, Lopes AM, Azevedo M and Bastos, RA (2011) Avaliação precoce de rendimento de grãos no melhoramento de arroz de terras altas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6.**, 2011, Búzios. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil. [Búzios]: SBMP, 2011. 1 CD-ROM.
- Morais OP Seleção recorrente em autógamias. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1.**, 2001, Goiânia. Anais... [Goiânia]: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. 1 CD-ROM.
- Resende MDV and Duarte JB (2007) Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecária Tropical** **37**(3): 182-194.
- SAS Institute (2011) **SAS Technical report SAS/STAT Software**. CaryNc, SAS Institute. Searle SR (1971) **Linear models**. John Wiley & Sons, New York.