

PROGRESSO GENÉTICO DO PROGRAMA DE MELHORAMENTO DE ARROZ DE TERRAS ALTAS DE MINAS GERAIS UTILIZANDO MODELOS MISTOS

Vanderley BORGES¹
Antonio Alves SOARES¹
Marcos Deon Vilela de RESENDE²
Moizés Souza REIS³
Vanda Maria Oliveira CORNÉLIO³
Plínio César SOARES⁴

- RESUMO: Todo programa de melhoramento deve, periodicamente, ser avaliado, visando quantificar sua eficácia ou para identificar e corrigir possíveis erros de planejamento. Nesse contexto, a estimativa do progresso genético constitui uma das opções utilizadas nessa avaliação. O objetivo desse trabalho foi verificar o progresso genético e a acurácia de seleção de linhagens de arroz de terras altas, no período entre 1997/98 a 2007/08, do programa de melhoramento do Estado de Minas Gerais, baseado em modelos mistos. Utilizaram-se os resultados de produtividade de grãos obtidos dos ensaios de valor de cultivo e uso realizados pelas parceiras UFLA, EPAMIG, UFV e Embrapa Arroz e Feijão. Utilizou-se o aplicativo SELEGEN REML/BLUP, adotando-se o modelo 114 Estabilidade, Adaptabilidade e Produtividade: Blocos completos, genótipos, várias plantas por parcela, vários locais e vários anos. Observou-se que o ganho genético anual foi positivo em apenas quatro anos. O ganho acumulado total foi de $-42,87 \text{ kg ha}^{-1}$. O ganho genético anual foi $-1,21\%$. Conclui-se que o ganho genético do programa de melhoramento ficou praticamente estável de 1997/98 a 2007/08.
- PALAVRAS-CHAVES: *Oryza sativa*; REML; BLUP.

1 Introdução

O progresso genético é um aspecto de fundamental importância em programas de melhoramento (Barbosa Neto et al., 2000). Pois é com esse indicador, que os programas devem ser avaliados periodicamente, na tentativa de averiguar seu sucesso, buscar novas metodologias que venham ampliar sua eficácia, orientar futuras ações de pesquisa e uma

¹ Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Caixa. Postal. 3037, CEP::37200-000, Lavras, MG, Brasil. E-mail: vanderley-agro@ig.com.br / aasoares@ufla.br

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Caixa-Postal: 319, CEP: 83411-000, Colombo, PR. E-mail: marcos.deon@ufv.br

³ Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG, Campus da UFLA, Caixa-Postal: 176, CEP: 37200-000, Lavras, MG, Brasil. E-mail: moizes@epamig.ufla.br / vanda.cornelio@epamig.ufla.br

⁴ Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG, CTZM, Campus da UFV, Caixa Postal 216, CEP: 36571-000, Viçosa, MG, Brasil. E-mail: plinio@epamig.ufv.br

reavaliação sobre os mesmos. Nesse contexto, a estimativa do progresso genético obtida pelo programa de melhoramento constitui uma das opções utilizadas na sua avaliação.

Via de regra, verificar o progresso genético em um programa de melhoramento tem o sentido de estimar a contribuição efetiva do melhoramento genético, na elevação da média dos genótipos selecionados em um ano e posteriormente testados no ano seguinte

Vencovsky et al. (1988) demonstraram que é possível que os dados dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) sejam utilizados para a estimação dos ganhos genéticos para produtividade de grãos. Essa estimativa fornece uma oportunidade de correlacionar ganhos alcançados com os métodos de melhoramento empregados, possibilitando a alteração dos objetivos propostos inicialmente; auxiliar na identificação de caracteres com maior contribuição para o incremento da produtividade e da qualidade de grãos (Barbosa Neto et al., 2000); definir estratégias a serem seguidas, a fim de que cada unidade de recursos investidos resulte no máximo ganho possível (Souza et al., 2007). Portanto, é necessário que de tempos em tempos, cada programa de melhoramento genético faça uma autoavaliação no sentido de verificar se houve progresso efetivo, se determinada condição de cultivo (época de semeadura, ou região, etc.) foi privilegiada pelo melhoramento e corrigir eventuais distorções de metas (Fonseca Júnior, 1997).

Existe na literatura atual uma série de metodologias as quais podem ser empregadas para estimar progressos genéticos em programas de melhoramento das mais variadas culturas. No Brasil, vários trabalhos vêm sendo executados utilizando e modificando tais métodos.

Em arroz, diversas análises foram realizadas objetivando estimar os ganhos anuais dos diversos programas de melhoramento de arroz no Brasil. No Paraná (Abud, 1991), Minas Gerais (Souza, et al., 2007; Atroch et al., 2000; Santos et al., 1999; Soares et al., 1999; 1994; Soares e Ramalho, 1993); no Nordeste (Breseghello et al., 1999); no Meio-norte – Maranhão e Piauí (Rangel et al., 2000), Goiás, Minas Gerais, Maranhão, Piauí e Mato Grosso (Breseghello et al., 2006).

Um problema dos métodos já desenvolvidos, é que a maioria é baseado em estimativas de quadrados mínimos. Ou seja, todas as análises são baseadas em valores fenotípicos o que, em virtude dos elevados graus de desbalanceamentos (de locais, repetição, anos, genótipos) e da dinâmica dos programas pela constante inserção (ou retirada) de um dos efeitos, torna a análise por demais trabalhosa, necessitando, portanto, de softwares estatísticos robustos e, ou uso de técnicas estatísticas não muito comuns como Quadrados Mínimos Ponderados, Quadrados Mínimos Generalizados, Estimadores de Quadrados Mínimos Residuais, e diversas formas de programação computacional. Além do que, nas situações de desbalanceamento de dados, valores fenotípicos costumam ser estimativas não fiéis do valor genético verdadeiro.

Métodos que permitam estimar o progresso de um programa de melhoramento de forma eficiente e acurada são importantes. O método atualmente mais eficiente para a análise de dados, tanto balanceados como não balanceados, é o REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viesada) (Resende, 2007a, 2004, 2002; Resende et al., 2000). Nesse método, efeitos de tratamentos são considerados como de efeitos aleatórios, e os demais efeitos principais como de efeitos fixos. A técnica REML/BLUP envolve, simultaneamente, a predição dos valores genéticos e estimação de componentes de variância, sendo o procedimento ótimo de estimação/predição para estimação de componentes de variância/predição de valores genéticos.

O uso da técnica REML/BLUP já é consagrado em melhoramento animal (Mrode, 2006; Gama et al., 2004; van Vleck et al., 1987) e em plantas perenes (Resende, 2007a, 2002). Em plantas anuais ou semi-anuais, seu uso ainda é restrito. No Brasil, foi utilizado em feijão (Carbonnel et al., 2007), cana-de-açúcar (Bastos et al., 2007; Oliveira et al., 2005), batata-doce (Borges et al., 2010). Em arroz, Xu et al. (2000) utilizou BLUP na predição da performance de híbridos. No Brasil, ainda não há registros de sua utilização em arroz. Essa técnica também já é de uso bastante comum na Inglaterra e Austrália (Smith et al., 2005; Smith et al., 2001), no Canadá (Yan e Rajcan, 2003) e na Alemanha (Piepho et al., 2007). Porém, Modelos de análises de progresso genético com base em valores genotípicos (BLUP) ou baseando-se em modelos mistos (REML/BLUP) ainda não foram desenvolvidos, apesar de ser possível e de muita utilidade.

Outro aspecto importante em um programa de melhoramento de plantas é a acurácia de seleção de genótipos. A precisão experimental, que serve como base para as comparações e seleção dos melhores tratamentos (genótipos) dos ensaios de campo, tem sido historicamente avaliada pelo coeficiente de variação ambiental. Todavia, o uso do CVe tem sido criticado (Cargnelutti Filho e Storck, 2007; Resende e Duarte, 2007), pois ele depende apenas da variação residual como proporção da média do experimento e serve tão somente para a classificação de experimentos com médias semelhantes.

Segundo Resende e Duarte (2007), os ensaios de avaliação de cultivares devem ser abordados do ponto de vista genético e estatístico, e não apenas sob a perspectiva estatística. Dessa forma, tem sido mais recomendado por esses autores o uso da acurácia seletiva, que considera as proporções entre as variações de natureza genética e residual associadas ao caráter em avaliação, além da magnitude da variação residual.

Nos experimentos de VCU conduzidos anualmente, visando a recomendação de cultivares melhoradas, conforme as exigências estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, alguns parâmetros estatísticos têm sido recomendados para a avaliação da precisão e qualidade desses experimentos. Nesse sentido, o coeficiente de variação ambiental (ou simplesmente CVe) é o que tem sido mais utilizado. No uso do CVe, este deve ser mantido em níveis adequados para cada espécie cultivada e caráter sob avaliação.

A acurácia evidencia alta precisão nas inferências das médias genotípicas, pois, de acordo com Resende (2002) e Resende e Duarte (2007), esta tem a propriedade de informar sobre o correto ordenamento das cultivares para fins de seleção e, também, sobre a eficácia da inferência acerca do valor genotípico da cultivar (ou genótipo). Por ser uma correlação entre o valor genotípico verdadeiro do tratamento genético e aquele estimado ou predito a partir das informações dos experimentos é representada por $r_{\hat{a}a}$ (Van Vleck et al. 1987). A acurácia seletiva é, portanto, uma correlação entre o valor genotípico verdadeiro do tratamento genético e aquele estimado ou predito a partir das informações dos experimentos, sendo representada por $r_{\hat{a}a}$, podendo ser uma ferramenta segura na seleção de genótipos. A acurácia varia de 0 a 1 e Resende e Duarte (2007) a classifica como muito alta ($r_{\hat{a}a} \geq 0,90$), alta ($0,70 \leq r_{\hat{a}a} < 0,90$), moderada ($0,50 \leq r_{\hat{a}a} < 0,70$), e baixa ($r_{\hat{a}a} < 0,50$). A acurácia seletiva foi utilizada em experimentos com feijão por Nesi (2008) e em batata-doce por Borges et al.(2010).

Objetivou-se nesse trabalho avaliar o progresso genético e a acurácia de seleção do programa de arroz de terras altas desenvolvido em Minas Gerais no período de 1997/98 a 2007/08 via modelo misto.

2 Material e métodos

Foram 11 locais ao todo, distribuídos em várias regiões do Estado de Minas Gerais que cultivam arroz de terras altas. O período considerado para esse estudo foi de 11 anos, ou seja, de 1997/1998 a 2007/2008, contudo, nem todos locais foram contemplados em todos os anos agrícolas. A relação dos locais por ano agrícola é a seguinte: 1997/98: Lambari, Lavras, Patos de Minas; 1998/99: Felixlândia, Lambari, Lavras, P. de Minas, Patrocínio e Uberaba.; 1999/2000: Felixlândia, Lambari, Lavras, Paracatu, P. de Minas, Patrocínio, Uberaba; 2000/01: Felixlândia, Lambari, Lavras, P. de Minas, Patrocínio e Uberaba; 2001/02: Felixlândia, Lambari, Patos de Minas, Uberaba, Uberlândia e Viçosa; 2002/03: Lambari, Lavras, Patos de Minas, Patrocínio, Uberaba, Uberlândia e Viçosa; 2003/04: Felixlândia, Lambari, Patos de Minas, Patrocínio, Piumhi e Viçosa; 2004/05: Felixlândia, Lambari, Lavras, Patos de Minas, Patrocínio e Viçosa; 2005/06: Lambari, Lavras, Patos de Minas, Patrocínio e Piumhi; 2006/07: Lambari, Lavras, Patos de Minas, Patrocínio, Piumhi e S. S. Paraíso e 2007/08: Lambari, Lavras, Patos de Minas, Patrocínio, Piumhi e S. S. do Paraíso.

Utilizaram-se os resultados de produtividade de grãos obtidos dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU's) do programa cooperativo de melhoramento de arroz de terras altas desenvolvido em Minas Gerais pelas parceiras UFLA, EPAMIG, UFV e Embrapa Arroz e Feijão, no período 1997/98 a 2007/08. Em cada ano agrícola, foram avaliadas 20 linhagens e cultivares, incluindo-se as testemunhas, sendo que em todos os anos, procedeu-se a seleção e descarte de linhagens de pior desempenho, mantendo-se as superiores. Eventualmente, também, algumas testemunhas foram substituídas por outras mais novas. Dessa forma, foram avaliadas 107 linhagens nos diferentes locais ao longo dos 11 anos agrícolas.

Para as análises, considerou-se o seguinte modelo estatístico linear:

$$y_{ijkn} = \mu + g_i + b_{j|k|n} + a_k + l_n + ga_{ik} + gl_{kn} + gal_{ikn} + gbal_{ij|k|n}$$

em que: y_{ijkn} é o valor da observação referente ao tratamento i na repetição j , no ano k dentro do local n ; g_i é o efeito do genótipo i ; μ é a média geral; $b_{j|k|n}$ é o efeito do bloco j dentro do ano k dentro do local n ; a_k é o efeito do ano de plantio k ; l_n é o efeito do local n ; ga_{ik} é o efeito da interação genótipos x anos de plantio; gl_{kn} é o efeito da interação genótipos x locais; gal_{ikn} é o efeito da interação genótipos x anos x locais; $gbal_{ij|k|n}$ é o erro ou resíduo aleatório.

Na forma matricial o modelo correspondente é:

$$y = Xb + Zg + Qga + Tgl + Ugl + e$$

sendo que: y é o vetor de observações; b é o vetor dos efeitos das combinações repetição-local-ano (efeitos fixos do modelo) somados a média geral; g é o vetor de efeitos genotípicos, g (assumido como aleatórios); ga é o vetor dos efeitos da interação de genótipos x anos, ga (aleatórios); gl é o vetor dos efeitos da interações de genótipos x locais, gl (aleatório); gla é o vetor dos efeitos da interação tripla genótipos x locais x anos, gla (assumidos como aleatórios); e é o vetor de erros (aleatórios); X , Z , Q , T e U representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos, respectivamente.

Os efeitos de anos, locais e bloco/anos/locais são agrupados no efeito b , pois são

efeitos puramente ambientais (Resende, 2007b).

A estrutura de médias e variâncias é dada a seguir, conforme Resende (2007a):

$$E \begin{pmatrix} y \\ g \\ ga \\ gl \\ gla \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{var} \begin{pmatrix} g \\ ga \\ gl \\ gla \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I\sigma_g^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & I\sigma_{ga}^2 & 0 & 0 & 0 \\ & & I\sigma_{gl}^2 & 0 & 0 \\ & & & I\sigma_{gla}^2 & 0 \\ & & & & I\sigma_e^2 \end{pmatrix}$$

simétrica

As equações de modelo misto para o modelo adotado são:

$$\begin{pmatrix} \hat{b} \\ \tilde{g} \\ \tilde{ga} \\ \tilde{gl} \\ \tilde{gla} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'X & X'Z & X'Q & X'T & X'U \\ Z'X & Z'Z + I\lambda_1 & Z'Q & Z'T & Z'U \\ Q'X & Q'Z & Q'Q + I\lambda_2 & Q'T & Q'U \\ T'X & T'Z & T'Q & T'T + I\lambda_3 & T'U \\ U'X & U'Z & U'Q & U'T & U'U + I\lambda_4 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} X'y \\ Z'y \\ Q'y \\ T'y \\ U'y \end{pmatrix}$$

sendo que:

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_g^2} = \frac{1 - h_g^2 - c_{ga}^2 - c_{gl}^2 - c_{gla}^2}{h_g^2}, \quad \lambda_2 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_{ga}^2} = \frac{1 - h_g^2 - c_{ga}^2 - c_{gl}^2 - c_{gla}^2}{c_{ga}^2},$$

$$\lambda_3 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_{gl}^2} = \frac{1 - h_g^2 - c_{ga}^2 - c_{gl}^2 - c_{gla}^2}{c_{gl}^2} \quad \text{e} \quad \lambda_4 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_{gla}^2} = \frac{1 - h_g^2 - c_{ga}^2 - c_{gl}^2 - c_{gla}^2}{c_{gla}^2}.$$

Para todos os ensaios, foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. As parcelas foram constituídas de cinco linhas de 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,4 m (10,00 m²), utilizando-se a densidade de 70 sementes por metro. Como área útil, foram colhidos os 4,0 m centrais das três linhas internas, totalizando uma área de 4,80 m².

A estimativa do ganho genético foi então encontrada, utilizando-se o Excel Microsoft, procedendo-se da seguinte forma: Para a obtenção do progresso genético anual, utilizaram-se os valores genotípicos denominados *u+g+gem*, obtidos pela análise do modelo 114 - Estabilidade, Adaptabilidade e Produtividade: várias plantas por parcela, vários locais e anos – método MHPRVG com o aplicativo SELEGEN REML/BLUP versão janeiro 2008 (Resende, 2007b). Os valores genotípicos *u+g+gem*, são BLUP's para a média de locais e anos, que capitalizam o efeito médio da interação.

A estimativa do ganho genético foi então encontrada, procedendo-se da seguinte forma:

- 1) considerou-se o primeiro ano agrícola (1997/98) como ano base ou de referência;
- 2) determinaram-se os valores genotípicos médios dos novos genótipos introduzidos nos anos posteriores ao ano base;
- 3) os ganhos genéticos anuais foram obtidos subtraindo-se os valores genotípicos médios

de um determinado ano agrícola do imediatamente anterior;

- 4) os ganhos acumulados foram obtidos somando-se os ganhos genéticos anuais, ano a ano;
- 5) os ganhos genéticos acumulados percentuais foram obtidos, dividindo-se os ganhos acumulados pelo valor genotípico médio do ano base, multiplicando o resultado por 100;
- 6) o ganho genético médio anual (%) foi obtido, dividindo-se por 10 o ganho genético acumulado percentual nos dez anos que se sucederam ao ano base.

A acurácia seletiva foi obtida por meio de $\hat{r}_{gg} = \sqrt{1 - PEV / \sigma_G^2}$ (Resende e Duarte,

2007; Resende, 2002; van Vleck et al., 1997). Sendo: *PEV*: variância do erro de predição dos valores genotípicos e σ_g^2 : variância genotípica.

3 Resultados e discussões

O nível de adoção das cultivares pelos agricultores, certamente, é o modo mais eficiente de se avaliar o desempenho de um programa de melhoramento de plantas. Contudo, existem outras alternativas, que podem ser utilizadas, como a avaliação do progresso genético, utilizando dados disponíveis dos ensaios de VCU. Empregando esta alternativa, e aproveitando os resultados de avaliação de produtividade de grãos da rede de ensaios de VCU, quantificou-se o progresso genético do programa de melhoramento de arroz de terras altas desenvolvido em Minas Gerais, no período de 1997/98 a 2007/08.

Os resultados das avaliações dos ganhos genéticos anuais e acumulados são apresentados na Tabela 1. Para tanto, foram utilizados os valores genotípicos das linhagens incluídas em cada ano agrícola. Nos ensaios de VCU, anualmente, descartam-se as linhagens inferiores, de forma que, em cada par de anos, permanece um certo número de linhagens de bom desempenho e as testemunhas comuns. Na verdade, o progresso genotípico avalia apenas se as novas linhagens incluídas, a cada ano, na rede de ensaios, são superiores as que foram descartadas.

Observando a Tabela 1, nota-se que os ganhos genéticos anuais foram positivos apenas em quatro anos agrícolas e negativos nos outros seis. A coluna do ganho genético acumulado, resultado da soma dos ganhos anuais ano-a-ano, mostra o ganho acumulado total, que, no caso, foi negativo, ou seja, de $-42,87 \text{ kg ha}^{-1}$. Os ganhos genéticos foram expressos anualmente, também em percentagem, sendo que o ganho genético percentual acumulado, em todo o período, foi de $-1,21\%$. Estimou-se também o ganho genético anual médio em percentual, que consiste da divisão do ganho percentual acumulado pelos dez anos, que se sucederam ao ano base, resultando, portanto, em um ganho anual médio de $-0,12\%$. Assim, pode-se inferir que o ganho genético do referido programa de melhoramento ficou praticamente inalterado de 1997/98 a 2007/08. Caso a avaliação tivesse iniciado em 1998/99, o ganho acumulado teria ficado também praticamente estável, só que com sinal positivo ($1,85\%$). Assim, o desempenho das linhagens no ano base interfere bastante no ganho genético acumulado, ou no ganho anual médio.

Tabela 1 - Ganho genético anual (kg há⁻¹), ganho genético acumulado (kg há⁻¹) e ganho genético percentual acumulado do programa de melhoramento de arroz de terras altas desenvolvido em Minas Gerais no período 1997/98 a 2007/08

| Ano agrícola | VG ¹ médio (kg ha ⁻¹) | Ganho genético anual (kg ha ⁻¹) | Ganho genético acumulado (kg há ⁻¹) | Ganho genético percentual acumulado |
|--------------|--|--|--|---|
| 1997/98 | 3549,223 | - | - | - |
| 1998/99 | 3442,599 | - 106,62 | - 106,62 | -3,00 |
| 1999/00 | 3452,474 | 9,88 | - 96,74 | -2,73 |
| 2000/01 | 3537,465 | 84,99 | - 11,75 | -0,33 |
| 2001/02 | 3533,409 | - 4,06 | - 15,81 | -0,45 |
| 2002/03 | 3492,352 | - 41,06 | - 56,87 | -1,60 |
| 2003/04 | 3530,947 | 38,60 | - 18,27 | -0,51 |
| 2004/05 | 3520,855 | - 10,09 | - 28,36 | -0,80 |
| 2005/06 | 3624,072 | 103,22 | 74,86 | 2,11 |
| 2006/07 | 3581,484 | - 42,59 | 32,27 | 0,91 |
| 2007/08 | 3506,349 | - 75,14 | - 42,87 | -1,21 |
| GGAM % | | | | - 0,12 |

1VG: valor genotípico.

2 GGAM: Ganho genético anual médio

O ganho genético obtido nesse trabalho difere do de outros autores que também avaliaram o ganho genético de programas de melhoramento de arroz de terras altas, utilizando outras metodologias e em períodos diferentes. Como exemplo, Souza et al. (2007) por meio de regressão linear das médias das cultivares, por década em que foi lançada, constataram em Minas Gerais um progresso genético, em 51 anos (1951 a 2001), de 0,3% para cultivares precoces e de 2,09% para as de ciclo tardio. Soares e Ramalho (1993) encontraram valores próximos de 3,0% para o ganho anual no período de 1979/80 a 1988/89, utilizando o método de Vencovsky et al. (1986) e o da regressão linear de quadrados mínimos.

No período de 1975 a 1980, Santos et al. (1999), usando o método de médias ajustadas, desenvolvida por Breseghello et al. (1998) obtiveram ganho genético anual de 6,06%. Aqui, cabe ressaltar que, o período do estudo de Santos et al. (1999) foi justamente quando as linhagens do tipo tradicional foram substituídas por linhagens do tipo moderno (porte mais baixo, folhas eretas e perfilhadoras), o que resultou nesse elevado ganho.

Soares et al. (1999) elaborou outro estudo de avaliação do ganho genético de arroz de terras altas em Minas Gerais, no período de 21 anos (1974/75 a 1994/95), desta vez, utilizando método de Breseghello et al. (1998) de médias ajustadas. Nesse trabalho, obteve-se um ganho genético médio anual de 1,26% para os materiais precoces e 3,37% para os materiais de ciclo médio/tardio.

Dessa forma, todos os trabalhos anteriores detectaram ganhos genéticos positivos e superiores ao desse estudo. Sobre as diferenças observadas, alguns comentários merecem ser feitos: i) o método aqui empregado utiliza valores genotípicos livres de todos os

efeitos que não os dos genótipos obtidos por REML/BLUP, os demais utilizam valores obtidos pela ANAVA; ii) o período de avaliação considerado nos trabalhos anteriores são diferentes do atual, sobretudo, o ano base, e iii) mudança dos objetivos do programa de melhoramento de arroz de terras altas a partir de meados da década de 1980, onde a prioridade principal passou a ser a qualidade de grãos, em detrimento da produtividade, uma vez que grãos longos e de conteúdo de amilose baixa, perderam espaço para os grãos longo-finos e de conteúdo de amilose alto e intermediário.

Sobre as mudanças de prioridades do programa de melhoramento de arroz de terras altas da Embrapa Arroz e Feijão e parceiras, nas últimas décadas, Breseghello et al. (2006) fazem os seguintes comentários: “produtividade de grãos e resistência a brusone são prioridades constantes, porém, a resistência ao acamamento, precocidade e, especialmente, a qualidade de grãos foram os principais objetivos a partir do final da década de 1980 até meados da década de 1990. Para isso, foi necessário introduzir germoplasma exótico ao programa em grande proporção e intensificar a pressão de seleção para fatores relacionados a qualidade de grãos, o que dificultou o ganho para outras características. Assim, a maior mudança ocorrida nas cultivares de arroz de terras altas, na última década, foi a qualidade de grãos, o que certamente, muito contribuiu para a estagnação de ganhos de produtividade na década de 1990”.

Breseghello et al. (2006) afirmam também que o germoplasma elite da Embrapa Arroz e Feijão atingiu recentemente uma relativa uniformidade dos grãos na classe longo-fino (agulhinha), portanto, as prioridades do programa de melhoramento poderão voltar para outras características, como produtividade de grãos, resistência a brusone e a seca.

Considerando que a introdução de germoplasma exótico, geralmente pouco adaptados, é depressiva, a manutenção do potencial genético das cultivares/linhagens, no período desse estudo (1997/2008), por si só, já é um progresso efetivo, confirmando o esforço dos melhoristas de arroz de terras altas. Além do mais, na avaliação do progresso genético, considera-se o ganho médio, envolvendo todas as linhagens. Ora, se considerar apenas as cultivares lançadas a partir de 1997 (BRSMG Caravera – 2007; BRSMG Relâmpago – 2007; BRS Pepita – 2007; BRS Conai – 2004; BRS Colosso – 2004; BRS Talento – 2004; Carisma – 1999 e BRS Primavera – 1997), constata-se, conforme outros trabalhos (Souza et al., 2007; Santos et al., 1999; Soares et al., 1999), que as mesmas foram superiores, às demais cultivares, lançadas anteriormente e testadas na rede de VCU desse estudo. A única exceção foi a cultivar Guarani, que foi superada apenas pela BRSMG Caravera. Portanto, pode-se inferir que o programa de melhoramento de arroz de terras altas, desenvolvido em Minas Gerais pelas parceiras UFLA/Epamig/Embrapa Arroz e Feijão, apesar de não se ter obtido ganhos para produtividade, foi eficiente.

Os resultados da avaliação da acurácia de seleção, bem como os intervalos de confiança (LIIC e LSIC) dos valores genéticos preditos para as 20 cultivares e linhagens de maior média são apresentados na Tabela 2. Como se observa, todos os valores da acurácia estão situados nas classes de moderada (0,50 a 0,70) a alta (0,70 a 0,90). Portanto, pode-se inferir que o processo de seleção foi efetivo, baseado na eficácia de seleção, todos os materiais apresentam valores para acurácia maior ou igual 0,6782. Esses valores estão próximos dos recomendados por Resende e Duarte (2007) e Resende (2007a), que sugerem para o processo de seleção, em programas de melhoramento, valores de acurácia acima de 0,70 (ou 70%).

Tabela 2 - Ordem, genótipo, limite inferior e superior do intervalo de confiança (LIIC e LSIC, respectivamente) e acurácia, para produtividade de grãos ($t\ ha^{-1}$) dos 20 melhores genótipos de arroz

| Ordem | Genótipo | LIIC | LSIC | Acurácia |
|-----------------|----------------|---------|---------|----------|
| 1 | BRSMG Caravera | 3757.49 | 4290.75 | 0.8245 |
| 2 | Curinga-3 | 3623.61 | 4293.07 | 0.7038 |
| 3 | MG 1089 | 3491.24 | 4100.03 | 0.7633 |
| 4 | MG1097 | 3497.05 | 4068.07 | 0.7955 |
| 5 | CNA 8436 | 3427.84 | 4120.09 | 0.6785 |
| 6 | BRA 01506 | 3401.46 | 4084.71 | 0.6887 |
| 7 | CNA 8983 | 3465.4 | 4018.36 | 0.8097 |
| 8 | Guarani | 3493.01 | 3969.9 | 0.8625 |
| 9 | Carisma | 3497.9 | 3943.06 | 0.8814 |
| 10 | CNA 8536 | 3371.04 | 4063.29 | 0.6785 |
| 11 | BRA 01596 | 3372.87 | 4056.12 | 0.6887 |
| 12 | BRS Colosso | 3411.14 | 4009.96 | 0.7721 |
| 13 | CNA 8824 | 3405.65 | 4004.51 | 0.7721 |
| 14 | CRO 97505 | 3369.86 | 4032.54 | 0.711 |
| 15 | CNA 10227 | 3420.96 | 3980.5 | 0.8046 |
| 16 | IAC202 | 3393.21 | 4005.61 | 0.76 |
| 17 | CNA 8541 | 3352.44 | 4044.69 | 0.6785 |
| 18 | BRS Primavera | 3447.33 | 3949.47 | 0.8462 |
| 19 | MG 1084 | 3358.83 | 4023.14 | 0.7092 |
| 20 | CG3 118-6 | 3336.71 | 4018.21 | 0.6906 |
| Acurácia máxima | | | | 0.88 |
| Acurácia mínima | | | | 0.68 |

Como a acurácia seletiva refere-se a correlação entre o valor genotípico verdadeiro do tratamento genético e aquele estimado ou predito a partir das informações do experimento, Costa et al. (2005) destacam que ensaios com baixa acurácia indicam que os genótipos têm grandes desvios absolutos entre os valores genotípicos verdadeiros e aqueles estimados a partir das informações do experimento. Dessa forma, as inferências realizadas ficam comprometidas ou irreais, aumentando a probabilidade da não reprodução das médias fenotípicas dos ensaios nos plantios comerciais. Neste estudo, pôde ser verificado que tal fato não ocorreu, como mostrou a acurácia de seleção que variou de média a alta.

Conclusões

O progresso genético para produtividade de grãos, ocorrido de 1997 a 2008, manteve-se estagnado ou nulo, contudo, as cultivares lançadas nesse período são

superiores àquelas que as precederam, em qualidade de grãos, a resistência à brusone e ao acamamento, sugerindo que o programa foi eficiente.

BORGES, V.; SOARES, A. A.; RESENDE, M. D. V.; REIS, M. S.; CORNÉLIO, V. M.; PLÍNIO CÉSAR SOARES, P. C. Genetic progress for the upland rice breeding program in Minas Gerais using mixed models methodology. *Rev. Bras. Biom.*, São Paulo, v.27, n.3, p.478-490, 2009.

- **ABSTRACT:** *The objective of this study was to quantify the genetic progress obtained by the genetic improvement of upland rice from period 1997/98 to 2007/08, using mixed model. We used the results of grain yield obtained from the tests of value for cultivation and use made by the UFLA, EPAMIG, UFV and Embrapa Arroz e Feijão. Date of grain yield were from 11 sites in 11 years. The experiments were installed in a randomized complete block design, with three replications. 107 genotypes planted in the period from 1997/98 to 2007/08. The Genetic progress was estimated using the genotypic values average sites, capitalized on the average effect of the interaction. We used the software Selegen REML/BLUP, adopting the model 114-Stability, adaptability and yield with locations and years: blocks, genotypes, several plants per plot, multiple locations. Observed that the annual genetic gain was positive in only four years. The total accumulated gain was - 42.87 kilograms ha⁻¹. The annual genetic gain was - 1.21%. Concluded that the genetic gain in the breeding program was virtually nil, or stable, from 1997/98 to 2007/08*
- **KEYWORDS:** *Oryza sativa; REML/BLUP; genetic gain; evaluation genotypic.*

Referências

ABBUD, N. S. *Melhoramento genético do arroz de sequeiro (Oryza sativa L.) no Estado do Paraná de 1975 a 1989*. 1991. 141f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

ATROCH, A. L.; SOARES, A. A.; RAMALHO, M. A. P. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de arroz de sequeiro testadas no estado de minas gerais. *Ciênc. Agrotecnol. Lavras*, v.24, n.3, p.541-548, 2000.

BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELLI, L. A.; SILVEIRA, L. C. I. da; DONDA, L. R.; FORTUNATO, A. A.; COSTA, P. M. de A.; FIGUEIREDO, I. C. R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.37, n.4, p.195-203, 2007.

BARBOSA NETO, J. F.; MATIELLO, R. R.; CARVALHO, F. I. F. de; OLIVEIRA, J. M. S.; PEGORARO, D. G.; SCHNEIDER, F.; SORDI, M. E. B.; VACARO, E. Progresso genético no melhoramento da aveia-branca no sul do Brasil. *Pesq. Agropec. Bras., Brasília*, v.35, n.8, p.1605-1612, 2000.

BORGES, V.; FERREIRA, P. V.; SOARES, L.; SANTOS, G. M.; SANTOS, A. M. M. Seleção de clones de batata-doce pelo procedimento REML/BLUP. *Acta Sci.*, Maringá, v.32, n.4, 2010 (no prelo).

BRESEGHELLO, F.; CASTRO, E. M.; MORAIS, O. P. *Progresso genético pelo melhoramento de arroz de terras altas da Embrapa para os Estados de Goiás, Minas*

Gerais, Maranhão, Piauí e Mato Grosso. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 24 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

BRESEGHELLO, F.; MORAIS, O. P.; RANGEL, P. H. N. A new method to estimate genetic gain in annual crops. *Genet. Mol. Biol.*, Ribeirão Preto, v.21, n.4, p.551-555, 1998.

BRESEGHELLO, F.; RANGEL, P. H. N.; MORAIS, O. P. Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.34, n.3, p.399-407, 1999.

CARBONEL; S. A. M.; CHIORATO, A. F.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S.; BERBALDO, A. L. A.; PERINA, E. F. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v.66, n.2, p.193-201, 2007.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.42, n.1, p.17-24, 2007.

COSTA, R. B.; GONGALVES, P. S.; OLIVEIRA, L. C. S.; ARRUDA, E. J.; ROA, R. A. R.; MARTINS, W. J. Variabilidade genética e estimativas de herdabilidade para o caráter germinação em matrizes de *Hevea brasiliensis*. *Floresta Amb.*, Rio de Janeiro, v.12, n.1, p. 74-76, 2005.

FONSECA JÚNIOR, N. S. da. *Progresso genético na cultura do feijão no Estado do Paraná para o período de 1977 a 1995*. 1997. 160f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

GAMA, L. T.; MATOS, C. P.; CAROLINO, N. *Modelos mistos em melhoramento animal*. Lisboa: Direção geral de veterinária, Direção Geral de Agricultura e Alentejo, EZN, CYTED, 2004. (Arquivos Veterinários, 7).

MRODE, R. A. *Linear models for the prediction of animal breeding values*. 2nd. ed. Wallingford: CABI Publishing. 2005.

NESI, C. N.. Acurácia seletiva no controle de qualidade em experimentos com feijão. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 53., 2008. Lavras, MG. *Resumos...* Lavras: UFLA, 2008.

OLIVEIRA, R. A.; RESENDE, M. D. V.; DAROS, E.; BESPALHOK FILHO, J. C.; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; WEBER, H.; KOEHLER, H. S. Genotypic evaluation and selection of sugarcane clones in three environments in the state of Paraná. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.*, Londrina, v.5, n.4, p.426-434, 2005.

PIEPHO, H. P.; MOHRING, J.; MELCHINGER, A. E.; BUCHSE, A. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. *Euphytica*, Wageningen, v.161, n.1-2, p.209, 2008.

RANGEL, P. H. N.; PEREIRA, J. A.; MORAIS, O. P.; GUIMARAES, E. P. YOKOKURA, T. Ganhos na produtividade de grãos pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Meio-Norte do Brasil. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.35, n.8, p.1595-1604, 2000.

- RESENDE, M. D. V. *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: Embrapa Florestas, 2002. 975 p.
- RESENDE, M. D. V. *SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos*. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a. 15p. (Documentos 7).
- RESENDE, M. D. V. *Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético*. Colombo: Embrapa Florestas, 2007b. 561p.
- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.37, n.3, p.182-194, 2007.
- SANTOS, P. G.; SOARES, P. C.; SOARES, A. A.; MORAIS, O. P. de; CORNÉLIO, V. M. de O. Avaliação do progresso genético obtido em 22 anos no melhoramento do arroz irrigado em Minas Gerais. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.34, n.10, p.1889-1896, 1999.
- SMITH, A.; CULLIS, B.; THOMPSON R. Analyzing variety by environment data using multiplicative mixed models and adjustments for spatial field trend. *Biometrics*, Washington, v.57, n.4, p.1138-1147, 2001.
- SMITH, A. B.; CULLIS, B. R.; THOMPSON, R. Centenary review. The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials : an overview of current mixed model approaches. *J. Agric. Sci.*, Cambridge, v.143, p.449-462, 2005.
- SOARES, A. A.; SANTOS, P. G.; MORAIS, O. P. de; SOARES, P. C.; REIS, M. de S.; SOUZA, M. A. de. Progresso genético obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro em 21 anos de pesquisa em Minas Gerais. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.34, n. 3, p.415-424, 1999.
- SOARES, A. A.; RAMALHO, M. A. P. Estimativa do progresso genético no melhoramento do arroz (*Oryza sativa* L.). I. Comparação de métodos. *Ciênc. Prát.*, Lavras, v.17, n.1, p.27-34, 1993.
- SOARES, A. A.; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, A. F. Estimativa do progresso genético obtido pelo melhoramento do arroz irrigado da Epamig, na época de oitenta. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.29, n.1, p.97-104, 1994.
- SOARES, A. A. *Desempenho do programa de arroz de sequeiro e irrigado na década de oitenta em Minas Gerais*. 1992. 108f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1992.
- SOUZA, M. A. de; MORAIS, O. P.; HERÁ, R. E. C.; CARGNIN, A.; PIMENTEL, A. J. B. Progresso genético do melhoramento de arroz de terras altas no período de 1950 a 2001. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.42, n.3, 2007.
- Van VLECK, L. D.; POLLACK, E. J.; OLTENACU, E. A. B. *Genetics for animal science*. New York: W. H., Freeman, 1987. 391p.
- VENCOVSKY, R.; MORAIS, A.R.; GARCIA, J.C.; TEIXEIRA, N.M. Progresso genético em vinte anos de melhoramento do milho no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 9., 1988, Belo Horizonte, MG. *Anais ... Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS*, 1988. p.300-307.
- XU, W.; VIRMANI, S.S.; HERNANDEZ, J.E.; SEBASTIAN, L.S. Prediction of hybrid performance in rice: comparisons among best linear unbiased prediction (BLUP)

procedure, midparent value, and molecular marker distance. *Int Rice Res Notes* 25:12–13, 2000. Disponível em: <<http://www.irri.org/publications/irrn/pdfs/vol25no3/IRRN25-3Plantbreeding.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2008.

YAN, W.; RAJCAN, I. Prediction of cultivar performance based on single- versus multiple-year tests in Soybean. *Crop Sci.*, Madison, v.43, p.549-555, 2003.

Recebido em 15.07.2009.

Aprovado após revisão 15.09.2009.