

GANHOS NA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS PELO MELHORAMENTO GENÉTICO DO ARROZ IRRIGADO NO MEIO-NORTE DO BRASIL¹

PAULO HIDEO NAKANO RANGEL², JOSÉ ALMEIDA PEREIRA³, ORLANDO PEIXOTO DE MORAIS²,
ELCIO PERPÉTUO GUIMARÃES² e TAKUMI YOKOKURA⁴

RESUMO - Objetivando avaliar os progressos obtidos pelo programa de melhoramento genético do arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado, desenvolvido no meio-norte do Brasil, foram analisados os dados de produtividade de grãos, floração média, altura de planta e acamamento das linhagens componentes de 37 ensaios comparativos avançados, conduzidos de 1984 a 1997. Além das testemunhas ('Cica 8' e 'Metica 1'), 89 linhagens foram contempladas neste estudo. Nesse período, o ganho médio anual de produtividade foi de apenas 0,3%, significativo ($p < 0,05$), porém de baixa magnitude. As correlações genéticas estimadas pelos métodos convencional e indireto foram de magnitudes semelhantes. Das seis cultivares recomendadas para cultivo no período avaliado, a Diamante proporcionou ganhos consideráveis quanto à qualidade dos grãos, em comparação com as testemunhas.

Termos para indexação: *Oryza sativa*, ganho genético, correlações genéticas, parâmetros genéticos, cultivares.

GENETIC GAINS FOR GRAIN YIELD BY IRRIGATED RICE BREEDING PROGRAM IN THE MID-NORTH REGION OF BRAZIL

ABSTRACT - Data from 37 advanced yield trials, conducted from 1984 to 1997, were analyzed to evaluate the genetic progress made by the Brazilian Mid-north Region irrigated rice (*Oryza sativa* L.) breeding program. The following traits were measured: grain yield, days to flowering, plant height, and lodging. These trials had 89 breeding lines and two checks ('Cica 8' and 'Metica 1'). During these 14 years of experiments, the annual gain for grain yield was small and equal to 0.3%, but statistically significant ($P < 0.05$). The genetic correlations estimated by the conventional and indirect methods were similar. Out of the six cultivars recommended for the region during this period, the cultivar Diamante provided significant gains for grain quality, when compared to the checks.

Index terms: *Oryza sativa*, genetic gain, genetic correlation, genetic parameters, cultivars.

INTRODUÇÃO

Na Região Nordeste, os estados do Maranhão e Piauí, que formam o meio-norte do Brasil, se destacam como grandes produtores de arroz. O arroz irri-

gado é cultivado no Piauí nas várzeas do Rio Parnaíba, tendo maior expressão nas microrregiões geográficas de Teresina, do Baixo Parnaíba e do Litoral; e no Maranhão, é concentrado na baixada maranhense. Em 1996 foram cultivados cerca de 14.200 hectares, com uma produtividade média de 4.100 kg/ha (Levantamento, 1996). Apesar da baixa representatividade em termos de Brasil, o arroz irrigado desta região tem grande importância econômica e social para os pequenos agricultores, predominantes na região. Por ser uma cultura cuja produção independe das variações climáticas, principalmente da ausência de chuvas por longos períodos (secas), tão comum na região, o arroz irrigado funciona como elemento agregador e fixador do homem à terra, evitando com isto o êxodo rural e garantindo o sustento de inúmeras famílias nordestinas.

¹ Aceito para publicação em 21 de julho de 1999.

² Eng. Agrôn., Dr., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAF), Caixa Postal 179, CEP 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO.
E-mail: phrangel@cnpaf.embrapa.br, peixoto@cnpaf.embrapa.br e eguimara@cnpaf.embrapa.br

³ Eng. Agrôn., M.Sc., Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte (CPAMN), Caixa Postal 1, CEP 64006-220 Teresina, PI.
E-mail: almeida@cpamn.embrapa.br

⁴ Eng. Agrôn., Empresa Maranhense de Pesquisa Agropecuária (EMAPA), Caixa Postal 176, CEP 65010-160 São Luís, MA.

O uso de cultivares melhoradas constitui a tecnologia de menor dispêndio para o produtor, e portanto, a de mais fácil adoção e que proporciona retornos econômicos em curto prazo. A Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte (CPAMN) e a Empresa Maranhense de Pesquisa Agropecuária (EMAPA) vêm participando, juntamente com outras instituições de pesquisa do Nordeste, de um esforço que visa ao lançamento de novas cultivares com alta produtividade e boa qualidade de grãos para os estados do Piauí e do Maranhão. Três tipos de ensaios são utilizados: ensaios de observação de linhagens (EOB), ensaios comparativos preliminares de rendimento (ECP) e ensaios comparativos avançados de rendimento (ECA). Com base nos resultados desses ensaios, são selecionadas as linhagens elites que serão lançadas como novas cultivares (Embrapa, 1994).

Após a substituição das cultivares tradicionais, de porte alto, pelas modernas, de porte baixo, no final da década de 70 e início da de 80, tem-se verificado que, apesar de todo o esforço despendido na condução dos programas de melhoramento de arroz irrigado, os ganhos genéticos, principalmente quanto à produtividade, quando obtidos, são de pequena magnitude. Breseghello (1995) estimou um ganho por ciclo, no que se refere à produtividade de grãos, de apenas 0,77%, ao avaliar o programa de melhoramento de arroz irrigado conduzido na Região Nordeste do Brasil. Santos et al. (1997), em Minas Gerais, e Silva (1996), no Espírito Santo, obtiveram ganhos de 0,25%

e 2,68%, respectivamente, para produtividade em arroz irrigado.

O objetivo do trabalho foi avaliar os progressos obtidos pelo Programa de Melhoramento de Arroz Irrigado, desenvolvido no meio-norte do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados de produtividade de grãos (PROD), floração média (FLO), altura de planta (ALT) e acamamento (ACA), obtidos de acordo com o manual de métodos de pesquisa em arroz (Embrapa, 1977), de 37 ECA's conduzidos no Piauí (28 ensaios) e no Maranhão (9 ensaios) de 1984 a 1997. Dos ensaios do Piauí, 12 foram conduzidos em Teresina, um em Eliseu Martins, um em Buriti dos Lopes, nove em Parnaíba e cinco em Miguel Alves, e no Maranhão todos os ensaios foram conduzidos na localidade de Arari. O delineamento experimental utilizado nos ensaios foi o de blocos ao acaso, com o número de repetições variando de três a quatro. Além das testemunhas ('Cica 8' e 'Metica 1'), 89 linhagens foram contempladas neste estudo, constituindo dez grupos de avaliação (Tabela 1).

Análise conjunta de variância e obtenção da matriz de covariância das médias

Os dados de PROD, FLO, ALT e ACA foram submetidos às análises conjunta de variância utilizando o procedimento GLM do SAS (SAS Institute, 1985), e estimadas as médias de grupos e de linhagens (dentro de grupo), ajustadas para o efeito de ano, ensaio dentro de ano e repetição

TABELA 1. Número de linhagens componentes de cada grupo de avaliação, ano de introdução e número de linhagens presentes nos ensaios de 1984 a 1997.

| Grupo | Nº de linhagens por grupo | Ano de introdução | Número de linhagens de cada grupo presentes nos ensaios | | | | | | | | | | | |
|-------|---------------------------|-------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1996 | 1997 |
| G1 | 2 ¹ | 1984 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| G2 | 18 | 1984 | 18 | 13 | 3 | 11 | 6 | 1 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| G3 | 2 | 1985 | | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| G4 | 10 | 1986 | | | 10 | 3 | 4 | 4 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| G5 | 8 | 1987 | | | | 8 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| G6 | 7 | 1988 | | | | | 7 | 4 | 5 | 5 | 5 | 2 | 0 | 0 |
| G7 | 8 | 1990 | | | | | | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| G8 | 10 | 1991 | | | | | | | 10 | 8 | 8 | 2 | 0 | 0 |
| G9 | 14 | 1994 | | | | | | | | | | 14 | 9 | 9 |
| G10 | 10 | 1996 | | | | | | | | | | | 10 | 10 |
| Total | 89 | | 20 | 17 | 15 | 26 | 23 | 21 | 28 | 21 | 20 | 19 | 20 | 20 |

¹ Cultivares testemunhas: Cica 8 e Metica 1.

dentro de ensaio dentro de ano, sendo as interações de grupos e de linhagens dentro de grupo com as demais fontes de variação consideradas componentes do erro experimental. Os dados de acamamento (notas 1, 3, 5, 7 e 9) foram transformados em \sqrt{x} antes de serem submetidos à análise de variância.

A matriz de covariância do vetor de médias estimadas (Y) foi obtida por:

$\hat{V}(\hat{V}) = A(X'X)^{-1}A'QMR\text{resíduo}$, conforme Breseghello et al. (1998)

em que:

A: matriz de coeficientes das soluções, tal que $Y = A\theta^0$ (conjunto de funções estimáveis), sendo θ^0 o vetor de soluções de quadrados mínimos do modelo estatístico utilizado; $(X'X)^{-1}$: inversa generalizada da matriz $X'X$, fornecida, como θ^0 , pelo procedimento GLM do SAS. X é a matriz de coeficientes dos parâmetros do modelo adotado; QMRresíduo: estimador do quadrado médio residual da análise de variância.

Avaliação dos ganhos de produtividade de grãos

Utilizando o vetor de médias ajustadas e suas respectivas estimativas de variâncias e covariâncias, foram feitas as comparações das médias dos grupos de linhagens introduzidas com a média do grupo testemunha (grupo 1), por meio do teste de Dunnett (Dunnett, 1955, 1964) e estimados os ganhos genéticos por meio do método de Breseghello et al. (1998).

Estimativas dos parâmetros genéticos do conjunto das linhagens avaliadas

Foram estimados os parâmetros coeficiente de determinação genética (b), coeficiente de variação genética (CV_g), índice de variação (q) dos dados de PROD, FLO, ALT e ACA, e, utilizando a metodologia convencional e a indireta, foram estimadas os coeficientes de correlações genotípicas do conjunto de linhagens avaliadas.

O coeficiente de determinação genética (b) foi obtido por: $b = [(QMT - QMR\text{resíduo})/QMT].100$

onde:

QMT = quadrado médio dos tratamentos (linhagens e testemunhas);

QMRresíduo = quadrado médio do resíduo.

Foram determinadas as variâncias associadas às estimativas desse parâmetro, utilizando a expressão proposta por Vello & Vencovsky (1974).

O coeficiente de variação genética (CV_g %) foi estimado de acordo com Vencovsky (1987):

$$CV_g (\%) = \{[(QMT - QMR\text{resíduo})/k]^{0,5}/m\}.100$$

onde:

k = coeficiente do componente quadrático referente a tratamentos (linhagens e testemunhas) na esperança de QMT; m = estimador da média das linhagens e das testemunhas.

O índice de variação (q) foi obtido conforme Vencovsky (1987), por:

$$q = CV_g/CV_e$$

sendo CV_e o coeficiente de variação experimental.

As correlações genéticas (r_g) foram estimadas pelos métodos tradicional e indireto. Pelo método tradicional, elas foram obtidas conforme Kempthorne (1973) e Mather (1965), por:

$$r_{g(xy)} = (COV_{g(xy)})/(\sigma_{g(x)}^2 \cdot \sigma_{g(y)}^2)^{1/2}$$

onde:

$COV_{g(xy)}$ = covariância genotípica entre médias de linhagens avaliadas quanto aos caracteres x e y;

$\sigma_{g(x)}^2$ = variância genética entre médias de linhagens quanto ao carácter x;

$\sigma_{g(y)}^2$ = variância genética entre médias de linhagens quanto ao carácter y.

Pelo método indireto, as correlações genéticas foram estimadas partindo-se do pressuposto de que a resposta indireta esperada no carácter y (RI_y) – quando a seleção é aplicada diretamente sobre o carácter x (R_x), utilizando a mesma intensidade de seleção referente a ambos os caracteres – pode ser obtida, conforme Cruz & Regazzi (1994), por:

$$RI_y = \hat{r}_{g(x,y)} (\hat{\sigma}_{gy} / \hat{\sigma}_{gx}) R_x \quad (1)$$

sendo: $\hat{\sigma}_{gy}$ e $\hat{\sigma}_{gx}$: os desvios-padrão genético dos caracteres y e x, respectivamente.

Na expressão 1, $RI_y = DI_y (\hat{\sigma}_{gy}^2 / \hat{\sigma}_{py}^2)$ e $R_x = D_x (\hat{\sigma}_{gx}^2 / \hat{\sigma}_{px}^2)$,

em que:

DI_y = diferencial de seleção do carácter y, sendo a seleção praticada em x;

D_x = diferencial de seleção em x;

$\hat{\sigma}_{py}^2$ e $\hat{\sigma}_{px}^2$ = estimadores das variâncias fenotípicas de y e x, respectivamente.

Pode-se, portanto, também estimar o diferencial de seleção indireta em y (DI_y) a partir da expressão (1):

$$DI_y = \hat{r}_{g(x,y)} (\hat{\sigma}_{py}^2 \hat{\sigma}_{gx} / \hat{\sigma}_{gy} \hat{\sigma}_{px}^2) D_x \quad (2)$$

Da expressão 2 obtém-se:

$$\hat{r}_{g(x,y)} = DI_y (\hat{\sigma}_{gy} \hat{\sigma}_{px}^2) / (\hat{\sigma}_{py}^2 \hat{\sigma}_{gx}^2) D_x \quad (3)$$

Se a seleção fosse realizada diretamente em y, e avaliando-se a resposta indireta em x, poder-se-ia, de forma semelhante, estimar $\hat{r}_{g(x,y)}$ por:

$$\hat{r}_g(x, y) = DI_x (\hat{\sigma}_{gx} \hat{\sigma}_{py}^2) / (\hat{\sigma}_{px}^2 \hat{\sigma}_{gy}) Dy. \quad (4)$$

Multiplicando (3) por (4), tem-se:

$$r_g^2 = DI_y DI_x / D_x D_y$$

ou

$$\hat{r}_2 = \pm (DI_y DI_x / D_x D_y)^{1/2}.$$

Avaliação de cultivares

Entre as linhagens introduzidas nos ensaios havia três que foram lançadas como cultivares (Moxotó, São Francisco e Diamante) para a Região Nordeste, e outras sete (Ceyswoni, Ciwini, Cica 4, Cica 9, MG 1, BR-IRGA 409 e BRS 7-Taim) que constituíam cultivares recomendadas para outras regiões. Dessas dez cultivares e das testemunhas (Metica 1 e Cica 8), além de PROD, FLO, ALT e ACA, foram obtidos dados de rendimento de grãos inteiros (RI) e total (RT), classe de grãos (CG), centro branco (CB), temperatura de gelatinização (TG) e teor de amilose (TA), que foram submetidos à análise de variância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desempenho dos grupos de linhagens introduzidas

As análises de variância – envolvendo os nove grupos de linhagens introduzidas e as duas testemunhas – das características produtividade de grãos (PROD), floração média (FLO) e acamamento (ACA) mostraram diferenças significativas, pelo teste F, em níveis de probabilidade inferiores a 1%, entre médias de grupos. Os coeficientes de variação experimental foram, respectivamente, 15,4%, 3,8% e 34,8% (Tabela 2). O maior coeficiente de variação obtido para acamamento foi resultante da avaliação subjetiva dessa característica, que foi feita por meio de uma escala de cinco notas (1, 3, 5, 7 e 9), onde: 1 = ausência de acamamento, e 9 = plantas totalmente acamadas, e, principalmente, a forte influência da variação do ambiente sobre essa característica. Não se detectou variação significativa entre as médias de grupos, quanto à altura da planta, cujo coeficiente de variação foi de 7,8%.

Nenhum dos nove grupos de linhagens introduzidos para avaliação nos ensaios avançados do Piauí e Maranhão, no período de 1984 a 1997, superou, em termos de produtividade média, o grupo das

testemunhas (G1), com 6.926 kg/ha (Tabela 2). Os grupos 3, 6, 7, 8 e 9 apresentaram produtividades médias semelhantes às do grupo das testemunhas. Essa situação tem sido uma constante dentro dos programas de melhoramento genético de arroz irrigado no Brasil e no mundo. Rangel et al. (1992) compararam a produtividade média das linhagens-elite geradas pelos vários programas brasileiros de melhoramento com a melhor testemunha, no período de 1985 a 1989, e verificaram não haver diferenças significativas. As linhagens introduzidas para avaliação superavam as testemunhas em resistência às doenças e qualidade de grãos.

A floração média dos grupos de linhagens variou de 81 dias, no grupo 7, a 88 dias no grupo 9; e os grupos 3, 5 e 6 não diferiram significativamente das testemunhas pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade (Tabela 2). Na Região Nordeste, o ciclo do arroz normalmente se reduz em cerca de 20 a 30 dias, em comparação com sua duração na Região Centro-Oeste. Assim, os programas de melhoramento devem buscar a obtenção de linhagens com floração média em torno de 85 a 90 dias, já que as precoces podem reduzir de maneira acentuada o seu ciclo, comprometendo a produtividade.

TABELA 2. Médias de produtividade de grãos (PROD), floração média (FLO), altura de planta (ALT) e acamamento (ACA) dos grupos de linhagens introduzidas nos ensaios comparativos avançados de rendimento no período de 1984 a 1997.

| Grupos | PROD (kg/ha) | FLO (dias) | ALT (cm) | ACA (1 a 9) |
|--------|-----------------|---------------|--------------------|----------------|
| G1 | 6926 | 85 | 95 | 3,4 |
| G2 | 6431* | 82* | 95 | 1,6* |
| G3 | 6546 | 84 | 96 | 2,5 |
| G4 | 6295* | 82* | 95 | 3,1 |
| G5 | 6345* | 86 | 95 | 2,5* |
| G6 | 6627 | 86 | 97 | 2,1* |
| G7 | 6739 | 81* | 95 | 3,1 |
| G8 | 6797 | 87* | 94 | 2,4* |
| G9 | 6678 | 88* | 97 | 2,6* |
| G10 | 6435* | 83* | 94 | 2,7* |
| F | 4,26** | 33,98** | 2,52 ^{ns} | 9,10** |
| CV(%) | 15,4 | 3,8 | 7,8 | 34,8 |

* Diferem significativamente da média das testemunhas (G1), pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade.

^{ns} e ** Não-significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente.

Quanto à altura de planta, não se observaram diferenças significativas entre os grupos (Tabela 2). Isto, de certa forma, era esperado, já que os programas de melhoramento genético de arroz irrigado buscam sempre obter linhagens com arquitetura de planta moderna e porte médio.

As testemunhas (grupo 1) e as linhagens dos grupos 4 e 7 mostraram tendência ao acamamento, com notas médias acima de 3,0 (Tabela 2). Os grupos de linhagens 3 e 5 apresentaram as mesmas notas médias (2,5) quanto a acamamento, mas o grupo 3 foi estatisticamente igual ao grupo das testemunhas, enquanto o 5 foi diferente (menor). Situações dessa natureza podem ocorrer, já que a significância, ou não, do contraste, depende da magnitude de sua variância. Quanto maior a variância do contraste, menor a chance de se detectarem diferenças significativas. A variância do contraste entre o grupo 1 e o grupo 3 corresponde ao dobro da variância do grupo 1 com o grupo 5. A maior variância pode ser explicada pelo fato de o grupo 3 ser constituído de duas linhagens que foram avaliadas apenas nos ensaios do Piauí, em poucos ambientes.

Ganhos na produtividade de grãos

Na Tabela 3 encontram-se os ganhos genéticos observados entre anos (par de anos). Os ensaios de 1989 e 1995 não foram utilizados, por terem sido

TABELA 3. Estimativas de ganhos observados com os respectivos desvios-padrão e em porcentagem da média, bem como ganho anual médio, durante o período de 1984 a 1997.

| Pares de anos | Ganhos ¹ (kg/ha) | Ganhos ² (% da média) |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1984-85 | 82 ± 64 | 1,3 |
| 1985-86 | -80 ± 120 | - 1,2 |
| 1986-87 | 48 ± 118 | 0,7 |
| 1987-88 | 94 ± 64 | 1,4 |
| 1988-90 | 126 ± 105 | 1,9 |
| 1990-(91;92;93) | 0,85 ± 103 | 0,01 |
| (1991;92;93)-94 | -3 ± 108 | - 0,05 |
| 1994-(96;97) | -135 ± 67 | -2,1 |
| Ganho anual médio | 18 ± 8 | 0,3 |

¹ O ganho genético é significativo quando o ganho observado é maior do que duas vezes o seu respectivo desvio-padrão.

² Calculado em relação à produtividade média das testemunhas.

prejudicados durante a condução (altos coeficientes de variação). Nenhuma estimativa de ganho, quando positiva, se revelou significativa, ou seja, superior a duas vezes o valor do respectivo desvio-padrão (El Rouby et al., 1973). O ganho (negativo) observado entre 1994 e os anos de 1996 e 1997 foi de -2,1% (em relação à média do primeiro ano) e significativo, a 5% de probabilidade.

O ganho anual médio na produtividade, estimado pelo método de Breseghello et al. (1998), foi de apenas 0,3% (em relação também à média do primeiro ano), considerado muito pequeno, em comparação com as estimativas obtidas em outras culturas (Rodrigues, 1990; Toledo et al., 1990). Esta situação vem se repetindo nos programas de melhoramento genético de arroz irrigado conduzidos no Brasil após a década de 80, com a substituição das variedades tradicionais de porte alto pelas modernas de porte baixo e altos rendimentos (Rangel et al., 1992). Como exemplo, temos o ganho na produtividade em arroz irrigado avaliado por Breseghello (1995), no Nordeste do Brasil, que foi de 0,77%. Santos et al. (1997), avaliando o programa de melhoramento de arroz irrigado de Minas Gerais de 1980/81 a 1995/96, fase posterior à substituição das cultivares tradicionais pelas modernas, de porte baixo, obtiveram um ganho de produtividade de apenas 0,25%, não-significativo. Dois fatores têm concorrido para isto: a) a priorização, dentro dos programas de melhoramento, da qualidade de grãos, em detrimento da produtividade; e b) estreitamento excessivo da base genética das populações utilizadas na extração de linhagens superiores (Breseghello, 1995; Rangel et al., 1996).

Até meados da década de 80, a qualidade dos grãos era uma característica varietal com baixa prioridade nos programas de melhoramento de arroz, principalmente na Região Nordeste, uma vez que os esforços estavam concentrados em melhorar a produtividade e o nível de resistência a pragas, doenças e outros estresses (Breseghello, 1995). Posteriormente, com o aumento da exigência do mercado consumidor por um produto de melhor qualidade, essa característica passou a ser decisiva na adoção de uma linhagem melhorada como uma cultivar comercial. Isto levou a um redirecionamento do programa de melhoramento, que passou a considerar a qualidade

dos grãos como o principal objetivo de pesquisa, muitas vezes relegando produtividade a um plano inferior.

É provável que a reduzida base genética das populações utilizadas nos programas de melhoramento esteja contribuindo para o estabelecimento de patamares de produtividade. No Brasil verificou-se que apenas dez ancestrais contribuem com 68% do conjunto gênico das cultivares brasileiras de arroz irrigado. Considerando as cultivares mais plantadas nos principais estados produtores de arroz irrigado, constata-se que sete ancestrais são mais freqüentes nas genealogias e são responsáveis por 70% dos genes (Rangel et al., 1996). Resultado semelhante foi obtido por Breseghello (1995), avaliando a base genética das linhagens testadas na Região Nordeste de 1984 a 1993. A principal conseqüência da limitação da diversidade genética é a redução das possibilidades de ganhos adicionais na seleção, uma vez que o melhorista passa a manejar um conjunto gênico de tamanho limitado.

Sendo a produtividade de grãos um caráter quantitativo, governado por um grande número de genes menores, a probabilidade de se encontrar um indivíduo, em qualquer geração segregante que contenha todos os alelos favoráveis, é muito pequena, e esta probabilidade diminui à medida que se aumenta a geração em consideração. Esses alelos geralmente estão dispersos nas famílias sob avaliação. Selecionando-se os indivíduos superiores dentro de populações geneticamente divergentes e inter cruzando-os, aumenta-se a freqüência dos alelos favoráveis na nova população, e com isso, têm-se maiores chances de encontrar indivíduos com todos os alelos favoráveis. Esse é o fundamento básico da seleção recorrente, que hoje vem sendo considerada como a melhor alternativa para obter ganhos em características quantitativas, como a produtividade, no programa de melhoramento genético do arroz de várzea (Rangel & Neves, 1997).

Parâmetros genéticos do conjunto das linhagens avaliadas

As estimativas do coeficiente de determinação genética (b), coeficiente de variação genética (CV_g) e índice de variação (q) das linhagens avaliadas, incluindo as testemunhas, 'Metica 1' e 'Cica 8', estão

apresentadas na Tabela 4. Os b's referentes a PROD, FLO, ALT e ACA foram de elevadas magnitudes, com pequenos erros associados às suas estimativas. Os altos valores observados, em parte, são devidos ao fato de serem oriundos de variação entre médias de linhagens. Rangel et al. (1991) obtiveram valores superiores a 80% em relação às características produtividade, floração média e altura das plantas, ao avaliarem um grupo de cultivares tradicionais de arroz. Semelhante a herdabilidade, o coeficiente de determinação genética prediz a confiabilidade do valor fenotípico como estimador do valor genético. Quanto maior o b, maior o ganho por seleção. Assim, no trabalho em pauta, os caracteres avaliados podem responder de maneira significativa à seleção.

O coeficiente de variação genética (CV_g), que é a razão entre o desvio-padrão genético e a média da população, é um indicador da grandeza relativa das mudanças que podem ser conseguidas em cada característica por meio da seleção. As estimativas de CV_g, no presente trabalho, foram de menor magnitude (Tabela 4), em comparação com as obtidas por Rangel et al. (1992), Moraes et al. (1997) e Rodríguez et al. (1998). O CV_g, neste caso, mede a variabilidade entre linhagens dentro de grupo. É possível que exista variabilidade quanto à produtividade entre as linhagens avaliadas ao longo dos anos dentro dos grupos. Entretanto, comparando-se as médias de produtividades (Tabela 2) de cada grupo de linhagens introduzidas em cada ciclo de avaliação, verifi-

TABELA 4. Estimativas do coeficiente de determinação genética (b) com os respectivos desvios-padrão, coeficiente de variação genética (CV_g) e índice de variação (q) quanto às características produtividade de grãos (PROD), floração (FLO), altura de planta (ALT) e acamamento (ACA) das linhagens de arroz irrigado avaliadas de 1984 a 1997 nos Estados do Piauí e do Maranhão.

| Características | b (%) | CV _g (%) | q | CV (%) |
|-----------------|--------------|---------------------|------|--------|
| PROD | 74,82 ± 4,42 | 4,88 | 0,32 | 15,4 |
| FLO | 97,92 ± 0,35 | 5,12 | 1,34 | 3,8 |
| ALT | 86,26 ± 2,48 | 3,65 | 0,47 | 7,8 |
| ACA | 85,35 ± 2,36 | 16,31 | 0,47 | 34,8 |

ca-se que elas foram, de maneira geral, semelhantes ou inferiores às do grupo das testemunhas (G1). Isto corrobora, de certa forma, o pequeno ganho genético obtido em produtividade.

O índice de variação q , segundo Morais et al. (1997), fornece informações análogas às da herdabilidade ou do coeficiente de determinação genética. Analisando-se a Tabela 4, verifica-se que as características que apresentaram maior coeficiente de determinação genética apresentaram, também, maior índice de variação. Segundo Vencovsky (1987), quando q vale 1 ou mais, tem-se uma situação muito favorável à seleção. Nesse caso, maior resposta à seleção pode ser obtida para floração média, que apresentou uma estimativa de q de 1,34.

Correlações genéticas

Não se observaram coeficientes de correlação genética (r_g) de magnitudes expressivas entre os caracteres PROD, FLO, ALT e ACA (Tabela 5), embora as estimativas de r_g obtidas entre PROD e FLO e entre FLO e ALT tenham sido significativamente diferentes de zero (teste t), a 5% de probabilidade. Essa associação positiva entre PROD e FLO é esperada em arroz (Jennings et al., 1979), o que tornaria facilitada a seleção para produtividade se fosse desejado, também, aumentar o ciclo da cultura. As estimativas listadas na Tabela 5 indicam, contudo, ser factível objetivar, nos programas de melhora-

mento, ganhos na produtividade, mantendo as médias de FLO e ALT das populações nos níveis atuais, já que são de baixa magnitude.

Também não se observou uma associação estreita entre altura das plantas e intensidade de acamamento. Outros fatores, como resistência do colmo ao dobramento ou quebramento, nível de envolvimento do colmo pela bainha da folha, entre outros, devem estar respondendo pela variação observada no acamamento, em maior grau do que no porte da planta.

Observa-se, ainda, na Tabela 5, que as estimativas de r_g obtidas pelo método indireto descrito são similares às obtidas convencionalmente, e, por conseguinte, igualmente informativas. Esse método constitui uma forma alternativa de estimar a magnitude das correlações genéticas, particularmente apropriadas para os casos em que não se dispõe de um programa computacional de análise que estime os produtos médios, além dos quadrados médios e os coeficientes dos componentes de variância e de covariância nas esperanças de quadrados médios e produtos médios. Embora já se tenham desenvolvido algoritmos que facilitem a estimação desses coeficientes (Silva, 1982), a sua utilização em uma estrutura de dados tão desbalanceados, como os utilizados neste trabalho, requer uma elaborada organização do número de observações presentes em cada nível hierárquico da estruturação das fontes de variação.

As estimativas relativas a esse método indireto de estimação de r_g foram obtidas supondo uma intensidade de seleção correspondente a 33,3% (1/3) do grupo avaliado.

Avaliação das linhagens lançadas como cultivares

O lançamento de novas cultivares para plantio é o principal indicador da eficiência de um programa de melhoramento genético. Das 12 cultivares de arroz irrigado recomendadas para plantio, no Nordeste do Brasil (Tabela 6), seis (Metica 1, Moxotó, MG 1, São Francisco, Diamante e BRS 7-Taim) foram lançadas com o advento da Comissão Técnica Regional de Arroz da Região III (CTArroz III) (Embrapa, 1994). Dessas, a Metica 1, que possui como principal característica a alta produtividade, foi plantada

TABELA 5. Estimativas das correlações genéticas (r_g) obtidas através do método tradicional (acima da diagonal) e pelo método indireto¹, entre as características produtividade de grãos (PROD), floração (FLO), altura de planta (ALT) acamamento (ACA).

| Características | PROD | FLO | ALT | ACA |
|-----------------|------|-------|-------|------|
| PROD | | 0,30* | 0,18 | 0,28 |
| FLO | 0,21 | | 0,34* | 0,05 |
| ALT | 0,20 | 0,36 | | 0,25 |
| ACA | 0,31 | 0,06 | 0,21 | |

¹ Não foi avaliada a significância das estimativas obtidas pelo método indireto.

* Significativo a 5% de probabilidade.

em toda a Região Nordeste até meados da década de 90, e a Diamante, que além da alta produtividade apresenta grãos de excelente qualidade industrial e culinária, é, atualmente, a mais cultivada na região. Isto, de certa forma, corrobora o trabalho de melhoramento que é conduzido de maneira cooperativa e integrada pelas várias instituições de pesquisa do Nordeste, onde o lançamento de novas cultivares passa a ser o somatório do esforço de todos.

Com exceção das cultivares Ciwini e Cica 9, as demais não mostraram diferenças significativas em termos de produtividade de grãos da testemunha Metica 1 (Tabela 6). Em relação ao ciclo, a Ciwini e a BRS 7-Taim foram as mais precoces com, respectivamente, 73 e 70 dias do plantio à floração média. De maneira geral, as linhagens de arroz irrigado tendem a reduzir o ciclo em cerca de 20 a 30 dias na Região Nordeste. Como exemplo, aponta-se a 'Metica 1', cuja floração média, em Goiânia, ocorre com 108 dias, e no Nordeste, com 82 dias. Isso evidencia que linhagens precoces ou mesmo de ciclo médio como a BRS 7-Taim, de regiões mais ao sul, têm poucas chances de serem cultivadas comercialmente no Nordeste, dada a redução acentuada do ciclo, que ocasiona um comprometimento da produtividade.

Maior altura de planta foi apresentada pelas cultivares Ciwini e Moxotó, com 103 cm; a primeira não diferiu significativamente da testemunha Metica 1, e a segunda mostrou diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett (Tabela 6). Semelhante ao que ocorreu com a característica acamamento entre os grupos de linhagens 3 e 5, a variância do contraste entre a cultivar Metica 1 e a Ciwini foi muito superior à da Metica 1 e Moxotó.

As cultivares Cica 8, Metica 1, Cica 9 e BRS 7-Taim apresentaram tendências ao acamamento, com notas superiores a 3 (Tabela 6). Considerando as cultivares Cica 4 e Diamante, que apresentaram as mesmas estimativas de intensidade de acamamento (1,8), observa-se que a primeira não diferiu significativamente da Metica 1, enquanto a segunda diferiu. Fato semelhante constata-se com a Moxotó e São Francisco.

Analisando os dados de qualidade de grãos mostrados na Tabela 6, verifica-se que a cultivar Diamante destaca-se por apresentar elevado rendimento de grãos inteiros (59,8%), significativamente diferente do rendimento das demais. Essa cultivar ocupa, atualmente, cerca de 90% da área de arroz irrigado do Nordeste, principalmente por sua alta produtividade e excelente qualidade industrial e culinária dos grãos.

TABELA 6. Estimativas de médias de produtividade de grãos (PROD), floração (FLO), altura das plantas (ALT), acamamento (ACA), rendimento de grãos inteiros (RI) e total (RT), classe de grãos (CG), centro branco (CB), temperatura de gelatinização (TG) e teor de amilose (TA) das testemunhas e das cultivares lançadas para plantio no Nordeste do Brasil.

| Cultivares | PROD (kg/ha) | FLO (dias) | ALT (cm) | ACA (1 a 9) | RI (%) | RT (%) | CG (1 a 5) | CB (1 a 5) | TG (1 a 7) | TA (%) |
|---------------|-----------------|---------------|-------------|----------------|-----------|-----------|---------------|---------------|---------------|-----------|
| Cica 8 | 6824 | 88* | 92* | 3,6 | 54,5 | 66,1 | 3,1 | 2,7 | 6,1 | 28,1 |
| Metica 1 | 7028 | 82 | 97 | 3,1 | 51,9 | 64,4 | 4,0 | 2,8 | 2,7 | 28,2 |
| Ceyswoni | 6812 | 86* | 93 | 1,0* | - | - | - | - | - | - |
| Ciwini | 5884* | 73* | 103 | 1,0* | - | - | - | - | - | - |
| Cica 4 | 6624 | 85* | 93 | 1,8 | 46,8 | 64,7 | - | 2,4 | - | - |
| Cica 9 | 6468* | 83 | 99 | 3,2 | 47,8 | 65,7 | - | 2,4 | - | - |
| Moxotó | 6958 | 86* | 103* | 2,4 | 58,8 | 65,0 | 3,2 | 2,7 | 4,7* | 28,7 |
| MG 1 | 6628 | 82 | 97 | 2,2 | 55,9 | 63,9 | - | 3,2 | - | - |
| BR-IRGA 409 | 6337 | 81 | 99 | 1,0* | 51,2 | 63,8 | 3,5 | 1,8 | 6,6* | 25,2 |
| São Francisco | 6742 | 81 | 92* | 2,4* | 50,5 | 63,7 | 2,9 | 2,1 | 4,5* | 28,7 |
| Diamante | 6695 | 86* | 88* | 1,8* | 59,8* | 67,3 | 2,6 | 2,6 | 4,6* | 23,2 |
| BRS 7-Taim | 6636 | 70* | 91 | 3,2 | 56,1 | 67,8 | 2,8 | 3,5 | 2,3 | 26,0 |
| CV (%) | 15,4 | 3,8 | 7,8 | 34,8 | 8,3 | 2,6 | 10,7 | 9,4 | 5,2 | 5,6 |

* Diferem significativamente da testemunha Metica 1, pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

1. O ganho genético médio anual de 18 kg/ha (0,3%) obtido é de baixa magnitude, porém significativo.
2. O método indireto pode ser utilizado com segurança para estimar as correlações genéticas.
3. A cultivar Diamante proporciona ganhos consideráveis em qualidade dos grãos do arroz irrigado produzido na região do meio-norte do Brasil.

REFERÊNCIAS

- BRESEGHELLO, F. **Ganhos para produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil**. Goiânia : UFG, 1995. 93p. Dissertação de Mestrado.
- BRESEGHELLO, F.; MORAIS, O.P. de; RANGEL, P.H.N. A new method to estimate genetic gain in annual crops. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v.21, n.4, p.551-555, 1998.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa : UFV, 1994. 390p.
- DUNNETT, C.W. A multiple comparison procedure for comparing several treatments with a control. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v.50, n.272, p.1096-1121, 1955.
- DUNNETT, C.W. A new table for multiple comparisons with control. **Biometrics**, Washington, v.20, n.3, p.482-491, 1964.
- EL ROUBY, M.M.; MORAYEN, Y.S.; NAWAR, A.A. Estimation of genetic variance and its components in maize under stress and non-stress environments. I. Planting date. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, Giza, v.2, p.10-19, 1973.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (Goiânia, GO). **Manual de métodos de pesquisa em arroz**. Goiânia, 1977. 106p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (Goiânia, GO). **Programa nacional de avaliação de linhagens**. Goiânia, 1994. 19p. (Embrapa-CNPAF. Documentos, 41).
- JENNINGS, P.R.; COFFMAN, W.R.; KAUFFMAN, H.E. **Rice improvement**. Los Baños : IRRI, 1979. 186p.
- KEMPTHORNE, O. **An introduction to genetic statistics**. Ames : Iowa State University Press, 1973. 454p.
- LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. Rio de Janeiro : IBGE, v.8, n.4, p.1-168, abr. 1996.
- MATHER, W.B. **Principles of quantitative genetics**. New York : Burgess, 1965. 152p.
- MORAIS, O.P. de; SILVA, J.C.; CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; NEVES, P. de C.F. Estimacão de parâmetros genéticos da população de arroz irrigado CNA-IRAT 4/0/3. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.4, p.421-433, abr. 1997.
- RANGEL, P.H.N.; NEVES, P. de C.F. Selección recurrente aplicada al arroz de riego en Brasil. In: GUIMARÃES, E.P. (Ed.). **Selección recurrente en arroz**. Cali : CIAT, 1997. p.79-97. (CIAT. Publicación, 267).
- RANGEL, P.H.N.; CRUZ, C.D.; VENCOSKY, R.; FERREIRA, R.P. Selection of local lowland rice cultivars based on multivariate genetic divergence. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v.14, n.2, p.437-453, 1991.
- RANGEL, P.H.N.; GUIMARÃES, E.P.; NEVES, P. de C.F. Base genética das cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.5, p.349-357, maio 1996.
- RANGEL, P.H.N.; ZIMMERMANN, F.J.P.; NEVES, P. de C.F. El CNPAF investiga: decresce en Brasil el rendimiento del arroz de riego? **Arroz en Las Américas**, Cali, v.13, n.1, p.2-4, 1992.
- RODRIGUES, J.A.S. **Progresso genético e potencial de risco da cultura do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) no Brasil**. Piracicaba : ESALQ, 1990. 171p. Tese de Doutorado.
- RODRÍGUEZ, R.E.S.; RANGEL, P.H.N.; MORAIS, O.P. de. Estimativas de parâmetros genéticos e de resposta à seleção na população de arroz irrigado CNA 1. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.5, p.685-691, maio 1998.
- SANTOS, P.G.; SOARES, P.C.; SOARES, A.A.; MORAIS, O.P. de; CORNÉLIO, V.M. de O. Estimativas do progresso genético do programa de arroz irrigado desenvolvido em Minas Gerais no período de 1974 a 1996. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22., 1997, Balneário Camboriú. **Anais**. Itajaí : EPAGRI, 1997. p.27-30.

- SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). **SAS user's guide**: statistics version. 5.ed. Cary, 1985. 956p.
- SILVA, A.F. **Contribuição do melhoramento genético do arroz irrigado por inundação para rendimento de grãos, no período de 1983/84 a 1994/95, no Estado do Espírito Santo**. Lavras : UFLA, 1996. 108p. Tese de Doutorado.
- SILVA, M.A. **Melhoramento animal**: métodos de melhoramento. Viçosa : UFV, 1982. 51p.
- TOLEDO, J.F.F.; ALMEIDA, L.A. de; KIIHL, R.A. de S.; MENOSSO, O.G. Ganho genético em soja no Estado do Paraná, via melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.1, p.89-94, jan. 1990.
- VELLO, N.A.; VENCOVSKY, R. **Variâncias associadas às estimativas de variâncias genéticas e coeficientes de herdabilidade**. Piracicaba : ESALQ, 1974. p.238-248. (Relatório Científico do Departamento de Genética, 8).
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. (Ed.). **Melhoramento e produção do milho**. Campinas : Fundação Cargill, 1987. v.1, p.135-214.