

**Progresso Genético pelo
Melhoramento de Arroz de
Terras Altas da Embrapa
para os Estados de Goiás,
Minas Gerais, Maranhão,
Piauí e Mato Grosso**



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1678-9601

Julho, 2006

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 20

Progresso Genético pelo Melhoramento de Arroz de Terras Altas da Embrapa para os Estados de Goiás, Minas Gerais, Maranhão, Piauí e Mato Grosso

Flávio Breseghello
Emílio da Maia de Castro
Orlando Peixoto de Moraes

Santo Antônio de Goiás, GO
2006

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Arroz e Feijão

Rodovia GO 462 - Km 12 - Zona Rural - Caixa Postal 179

75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO

Fone: (62) 3533 2123

Fax: (62) 3533 2100

www.cnpaf.embrapa.br

sac@cnpaf.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Carlos Agustín Rava*

Secretário-Executivo: *Luiz Roberto Rocha da Silva*

Membros: *Joaquim Geraldo Cáprio da Costa*

Paulo Hideo Nakano Rangel

Supervisor editorial: *Marina A. Souza de Oliveira*

Revisão gramatical: *Vera Maria T. Silva*

Normalização bibliográfica: *Ana Lúcia D. de Faria*

Capa: *Denise Xavier*

Editoração eletrônica: *Fabiano Severino*

1ª edição

1ª impressão (2006): 500 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Arroz e Feijão

Breseghello, Flávio.

Progresso genético pelo melhoramento de arroz de terras altas da Embrapa para os Estados de Goiás, Minas Gerais, Maranhão, Piauí e Mato Grosso / Flávio Breseghello, Emílio da Maia de Castro, Orlando Peixoto de Moraes. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2006.

24 p. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9571 ; 20)

1. Arroz - Melhoramento genético vegetal. I. Castro, Emílio da Maia de. II. Moraes, Orlando Peixoto de. III. Título. IV. Embrapa Arroz e Feijão. V. Série.

CDD 633.182 (21. ed.)

© Embrapa 2006

Sumário

Resumo	7
Abstract	8
Introdução	9
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	12
Avaliação das linhagens	12
Correlações fenotípicas	16
Ganho genético	17
Conclusões	21
Agradecimentos	22
Referências Bibliográficas	22

Progresso Genético pelo Melhoramento de Arroz de Terras Altas da Embrapa para os Estados de Goiás, Minas Gerais, Maranhão, Piauí e Mato Grosso

Flávio Breseghello¹

Emílio da Maia de Castro¹

Orlando Peixoto de Moraes¹

Resumo

A eficiência de programas de melhoramento de plantas em promover ganhos genéticos deve ser monitorada regularmente. Este estudo avaliou o progresso genético para produtividade, ciclo até a floração, altura de planta, resistência ao acamamento e resistência à brusone da panícula e mancha-dos-grãos, obtido pelo melhoramento de arroz de terras altas da Embrapa no período de 1996 a 2000. Nenhum ganho para produtividade foi obtido para os Estados de Goiás e Minas Gerais, enquanto que para o Meio-Norte (Maranhão e Piauí) e Mato Grosso o ganho foi de 1,20% e 1,85% ao ano, respectivamente. O ganho médio em produtividade, para toda a região estudada, foi de 0,37% ao ano, entretanto o máximo ocorreu em 1998, seguido de dois anos de ganhos negativos. O ciclo até o florescimento reduziu-se em média 0,52 dias.ano⁻¹, a altura de planta reduziu-se em média 0,85 cm.ano⁻¹, e a resistência ao acamamento aumentou consistentemente. Os ganhos para resistência a doenças foram lentos e graduais no período estudado. Os resultados foram considerados satisfatórios, levando-se em conta que esses ganhos foram obtidos concomitantemente com um grande avanço em qualidade de grãos no programa de melhoramento de arroz da Embrapa.

Palavras-chave: ganho genético, cultivares, linhagens, *Oryza sativa*, seleção.

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Genética e Melhoramento de plantas, Embrapa Arroz e Feijão, Rod. GO 462, Km 12, 75375-000 Santo Antônio de Goiás-GO. flavio@cnpaf.embrapa.br

Genetic Progress Through Breeding of Upland Rice by Embrapa for the States of Goiás, Minas Gerais, Maranhão, Piauí and Mato Grosso

Abstract

The efficiency of plant breeding programs for promoting genetic gains should be regularly monitored. This study evaluated the progress for yield, cycle to flowering, plant height, resistance to lodging, and resistance to panicle blast and grain discoloration, obtained by Embrapa's upland rice breeding program in the period from 1996 to 2000. For yield, no gain was observed for the states of Goiás and Minas Gerais, whereas for the region including Maranhão and Piauí, and for Mato Grosso, the average gain was 1.20% and 1.85%, respectively. The mean gain across regions was 0.37% in the period; however, the peak occurred in 1998, followed by two years of negative gain. The cycle was shortened by 0.52 days.yr⁻¹ on average, plant height was reduced at a rate of 0.85 cm.yr⁻¹, and resistance to lodging increased consistently. Disease resistance improved slowly, with small yearly variations. Overall, results were satisfactory, considering that they occurred simultaneously with a large improvement of grain quality in the rice breeding program at Embrapa.

Key words: genetic gain, cultivars, plant improvement, selection.

Introdução

A Embrapa realiza melhoramento genético de arroz de terras altas para o Brasil desde 1976. Neste período, os objetivos e prioridades do programa têm sido alterados, acompanhando as mudanças da distribuição geográfica da cultura, do manejo e da preferência do consumidor quanto ao tipo de grão. Produtividade e resistência à brusone são prioridades constantes do programa, desde seu início. Resistência ao acamamento e precocidade tornaram-se mais importantes com a inclusão do arroz em sistemas de rotação de culturas, onde a produtividade é mais elevada que no antigo sistema de abertura de áreas.

A qualidade de grãos, entretanto, foi a maior mudança ocorrida nas cultivares de arroz de terras altas na última década. A passagem do grão longo e largo, típico do germoplasma *japonica* tropical, para grãos longo-finos, até então representado no Brasil pelo arroz irrigado, exigiu um grande esforço do programa de melhoramento da Embrapa. Foi necessário introduzir germoplasma exótico ao programa em grande proporção e intensificar a pressão de seleção para características relacionadas à qualidade de grãos, o que dificultou a obtenção de ganhos para outras características. O germoplasma elite da Embrapa Arroz e Feijão atingiu recentemente uma relativa uniformidade dos grãos na classe longo-fino, portanto as prioridades do programa de melhoramento poderão voltar-se para outros caracteres prioritários, como produtividade, resistência à brusone e à seca.

O progresso genético de um programa de melhoramento de cultura anual pode ser estimado pela comparação direta de cultivares antigas e recentes, via experimentos de campo específicos. Entretanto, este progresso também pode ser obtido a partir de dados dos ensaios de competição, normalmente executados durante a fase de avaliação de linhagens, sem que ensaios adicionais sejam realizados. Esta abordagem foi introduzida por Vencovsky et al. (1986) e desde então tem sido utilizada em vários trabalhos, através de diferentes métodos.

O progresso genético da produtividade do arroz de terras altas foi quantificado em alguns trabalhos anteriores. O programa de melhoramento de arroz desenvolvido pelo Instituto Agrônômico do Paraná (Iapar) resultou em ganho de 1,3% ao ano, no período de 1975 a 1989 (Abbud, 1991). No Estado de Minas Gerais, o progresso obtido no período de 1974 a 1995 foi de 1,26% para linhagens precoces e de 3,37% para linhagens de ciclo médio (Soares et al., 1999). Este é um ganho muito elevado, especialmente se considerada a

extensão do período avaliado naquele estudo. No Estado do Amapá, no período de 1991 a 1996, o ganho médio anual foi de 83 kg.ha⁻¹, o que equivale a 3,5% da média inicial, mas deve-se considerar que este estudo se baseou em dados de apenas 12 ensaios (Atroch et al., 1999).

Em arroz irrigado, os ganhos em geral têm sido mais baixos. Na Região Nordeste do Brasil o ganho médio anual foi estimado em 0,77% (Bressegello et al., 1999). Um estudo realizado em Minas Gerais (Santos et al., 1999) demonstrou que no período de 1975 a 1980, quando as linhagens com tipo de planta moderno foram introduzidas, houve um ganho acentuado, de 6,06% ao ano. Por outro lado, no período de 1981 a 1996 não houve ganho significativo para produtividade, mas apenas para qualidade de grãos e resistência a doenças. Na região Meio-Norte do Brasil (Estados do Maranhão e Piauí), o progresso da produtividade do arroz irrigado, devido ao melhoramento genético, foi de 0,3% ao ano, no período de 1984 a 1997 (Rangel et al., 2000).

As estimativas de ganho anual em outras culturas têm sido intermediárias em relação ao arroz de terras altas e o irrigado, normalmente oscilando entre 1 e 2%. O ganho anual de produtividade da soja no Estado do Paraná foi de 1,8% (Toledo et al., 1990), o de feijão em Minas Gerais foi de 1,9% (Abreu et al., 1994) e o de trigo no sul do Brasil, no período de 1940 a 1992, foi de 17,3 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ (Nedel, 1994).

Este trabalho foi elaborado com o objetivo de avaliar os progressos obtidos pelo programa de melhoramento de arroz de terras altas da Embrapa no período de 1995 a 2000, para várias características, nos Estados de Goiás, Minas Gerais, Maranhão, Piauí e Mato Grosso.

Material e Métodos

Foram utilizados neste estudo dados de 208 ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), anteriormente denominados ensaios comparativos avançados (ECA), conduzidos nos anos agrícolas de 1994/95 a 1999/2000, nos Estados de Goiás, Minas Gerais, Maranhão, Piauí e Mato Grosso (Tabela 1). Todos os ensaios utilizados apresentaram coeficiente de variação inferior a 25% e rendimento médio superior a 1000 kg.ha⁻¹. Os Estados do Maranhão e Piauí foram considerados, para todos os efeitos deste trabalho,

como região Meio-Norte. Os ensaios foram conduzidos pelas seguintes instituições: Embrapa Arroz e Feijão, Embrapa Meio-Norte, Agência Rural (GO), Empaer-MT, Universidade Federal de Lavras e Epamig.

Tabela 1. Número de ensaios por ano e por Estado/região utilizados para a estimação do ganho genético do arroz de terras altas pelo programa de melhoramento da Embrapa.

Estado/região	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Nº de ensaios	Nº de linhagens
GO	20	8	9	9	12	9	67	68
MG	8	10	7	9	12	10	56	49
MN	10	3	3	4	7	10	37	67
MT	1	11	10	10	8	8	48	64
No. de ensaios	39	32	29	32	39	37	208	
No. de linhagens	26	24	21	24	24	24	74	

As características estudadas foram: produção de grãos (PROD, em kg.ha⁻¹), ciclo até a floração (FLO, em dias após o plantio), altura de planta (ALT, em cm), acamamento (ACA, nota de 1 a 9), brusone de panícula (BP, nota de 1 a 9) e mancha-dos-grãos (MG, nota de 1 a 9). As avaliações foram feitas de acordo com o sistema internacional (Sistema..., 1983).

O modelo matemático utilizado na análise de variância foi:

$$Y_{ijk_r} = m + A_k + L/A_{jk} + R/L/A_{jkr} + G_i + e_{ijk_r}$$

onde Y_{ijk_r} representa a r -ésima repetição da linhagem i , no local j , no ano k ; m é uma constante associada a todas as observações Y_{ijk_r} ; A_k representa o efeito do ano k ($k=1, \dots, a$); L/A_{jk} representa o efeito do local j do ano k ($j=1, \dots, m_k$); $R/L/A_{jkr}$ representa o efeito da repetição r no local j e ano k ($r=1, \dots, s_{jk}$); G_i representa o efeito da linhagem i ($i=1, \dots, n$) e e_{ijk_r} representa o erro associado à observação Y_{ijk_r} com distribuição normal e independente [$e \sim N(0, s^2)$]. Todas as interações envolvendo o fator linhagem foram desprezadas, ficando como parte do erro do modelo.

A análise foi realizada no programa estatístico SAS, procedimento GLM (*Generalized Linear Model*). Os argumentos "LSMEANS TRAT/OUT=MC COV; PROC PRINT DATA=MC;" fazem com que o programa forneça as médias

ajustadas de tratamentos e a matriz de covariâncias (MC) desses tratamentos (Morais et al., 2000).

Os progressos genéticos para PROD, FLO e ALT foram estimados segundo o método das médias ajustadas (Bresseghele et al., 1998). De acordo com este método, o valor do ano k é dado pela média aritmética das médias ajustadas das linhagens em avaliação naquele ano. Esta estimativa é identificada por Y_k^* . Deve ficar claro que não se trata da média ajustada de ano, tampouco da média das linhagens ajustada por ano. A média de cada genótipo é ajustada para todo o período estudado, de forma a permitir a comparação de linhagens que não foram avaliadas simultaneamente. Para ACA, BP e MG, foi empregada uma simplificação deste método, onde se fez a regressão simples das médias de ano Y_k^* para ano k , sem ponderação. Por isso, não é apresentado o erro para as estimativas dessas variáveis. O ganho genético para produção foi calculado em termos gerais e por região (GO, MG, MN e MT).

O ganho genético é estimado pelo coeficiente b de regressão linear de Y_k^* para ano, pelo método de quadrados mínimos generalizado (Hoffmann & Vieira, 1987). Nos casos em que o valor de b é significativo, calculou-se o seu valor percentual em relação ao intercepto a da regressão, que representa o valor inicial teórico do período estudado.

Foram calculadas as correlações simples entre as médias ajustadas das linhagens, para os caracteres avaliados, com o objetivo de identificar efeitos indiretos de seleção em sentido amplo.

Resultados e Discussão

Avaliação das linhagens

As médias ajustadas de linhagens, obtidas pela aplicação do modelo linear generalizado, são comparáveis entre si, mesmo que as linhagens não tenham coexistido nos ensaios, em um mesmo ano. As médias de produção por região, produção geral, ciclo até a floração, altura de planta e notas de acamamento, brusone de panícula e mancha-dos-grãos são apresentadas, para todas as linhagens avaliadas na região geográfica e período compreendidos por este estudo, na Tabela 2.

Tabela 2. Médias ajustadas das linhagens e cultivares de arroz de terras altas avaliadas no período de 1995 a 2000, nos Estados de Goiás, Minas Gerais, Maranhão e Piauí (MN) e Mato Grosso. Médias de produção por Estado ou região e média geral (PROD), ciclo até a floração (FLO), altura de planta (ALT) e notas de acamamento (ACA), brusone de panícula (BP) e mancha-dos-grãos (MG).

Linhagem	Anos de avaliação					GO	MG	MN	MT	PROD	FLO	ALT	ACA	BP	MG					
	95	96	97	98	99											00	kg	%	kg	%
Almoreé	+					3284	108	3645	103	3236	105	2712	99	3274	105	70,5	87,7	1,80	2,31	2,98
Bonança		+				3123	103	3651	103	3398	111	2833	104	3259	105	85,8	88,6	1,15	1,89	1,94
Calapo	+	+	+	+	+	3109	102	3668	103	2993	98	2612	96	3132	101	94,2	111,1	2,39	2,15	2,54
Canastra	+	+	+	+	+	3233	106	3807	107	2790	111	2790	102	3396	107	92,3	94,1	1,46	2,29	2,45
Carajás	+	+	+	+	+	3356	111	3383	110	2777	102	2777	102	3364	108	79,6	94,6	1,48	1,95	2,26
Carisma	+	+	+	+	+	3143	103	3872	109	3260	106	2741	100	3266	105	87,7	94,3	1,72	2,08	1,98
Confiança	+	+	+	+	+	2996	99	3232	91	3109	101	2395	88	2880	93	93,6	97,0	1,39	2,22	2,74
Douradão								3531	99					3063	99	73,6	102,1	2,04	2,82	3,76
Guarani	+	+	+	+	+	3233	106	3786	107	2734	89	3062	112	3263	105	75,1	103,6	3,69	2,32	1,97
Maravilha	+	+	+	+	+	3140	103	3337	94	2982	97	2710	99	3117	100	97,8	93,3	1,33	2,14	2,67
Primavera	+	+	+	+	+	3127	103	3857	109	3295	107	2911	107	3302	106	79,2	102,3	2,72	2,50	2,26
Progresso	+	+	+	+	+	3256	107	3164	89	3444	112	2662	98	3148	101	98,4	89,5	1,32	2,14	2,69
Rio-Paranaíba	+	+	+	+	+	3059	101	3751	106	3051	99	3172	102	3172	102	97,1	114,8	2,55	2,28	2,49
CNA 6975-2	+	+	+	+	+	2672	88	3497	99	2920	95	2669	98	2934	94	102,9	108,2	1,55	2,15	2,60
CNA 7024	+	+	+	+	+			3510	99					3033	98	104,7	122,6	2,04	2,95	2,60
CNA 7460	+	+	+	+	+	3280	108	3908	110	3310	108	2689	99	3270	105	100,9	92,8	3,35	2,14	2,17
CNA 7680	+	+	+	+	+	2953	97	3257	92	3153	103	2892	106	3389	109	78,9	102,9	2,37	2,08	2,12
CNA 7690	+	+	+	+	+	2613	86	2964	97	2964	97	2735	88	2968	96	93,5	105,1	1,79	2,06	2,53
CNA 7864	+	+	+	+	+	2815	93	2775	90	2775	90	2642	97	2917	94	75,1	100,9	2,66	2,29	2,00
CNA 7890	+	+	+	+	+	2793	92	3188	90	3047	99	2797	90	2979	90	99,0	106,2	1,86	3,07	3,22
CNA 7911	+	+	+	+	+									3078	99	84,6	95,7	1,76	2,15	2,60
CNA 8052	+	+	+	+	+	2962	98	3777	106	2689	88	2613	96	3053	98	83,9	112,5	2,73	2,02	2,24
CNA 8054	+	+	+	+	+	2948	97	3678	104	2849	93	2354	86	3075	99	77,7	103,2	2,59	2,28	2,01
CNA 8055	+	+	+	+	+	3027	100	3434	97	2674	87	2511	92	2994	96	82,7	104,6	2,32	2,24	2,32
CNA 8061	+	+	+	+	+	2893	99	3526	99	3221	105	2861	105	3157	102	79,7	108,9	2,72	2,44	2,09
CNA 8069	+	+	+	+	+	2829	93	2686	99	2771	90	3183	117	2958	95	71,4	87,0	2,46	2,45	2,53
CNA 8073	+	+	+	+	+	3107	102	3665	103	3128	102	2725	100	3223	104	82,4	97,7	1,74	2,26	2,20
CNA 8075	+	+	+	+	+	3359	111	3512	99	3370	110	2725	100	3283	106	94,6	98,7	1,67	2,30	2,67
CNA 8096	+	+	+	+	+	2543	84	1656	47	2907	95	2156	79	2371	76	101,2	90,7	1,37	2,93	2,90
CNA 8135														3013	97	96,9	93,4	1,23	2,42	1,86
CNA 8147														3100	100	84,0	89,4	1,43	2,18	1,98
CNA 8173														3128	101	87,5	84,6	1,47	2,10	1,80
CNA 8178														3114	100	83,5	89,7	1,69	3,32	3,74
CNA 8193	+					2912	96	3116	102	3254	119	2422	89	3145	101	98,8	93,4	1,36	2,15	3,00
CNA 8300						3121	103	4079	115	2860	93	2422	89	3145	101	98,8	93,4	1,36	2,15	3,00
CNA 8304						2587	85	3436	97	2829	92	2333	86	2813	91	93,3	94,9	1,51	2,69	2,58

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Cultivar ou Linagem	Anos de avaliação										GO	MG		MN	MT		PROD	FLO dias	ALT cm	ACA nota	BP nota	MG nota
	95	96	97	98	99	00	kg	%	kg	%		kg	%		kg	%						
CMA 8394							272	91	2867	93	2555	94	2924	94	958	105,1	280	2,72	3,98			
CMA 8435	+						3192	105	2950	96	2463	90	3064	99	77,1	91,9	1,77	2,21	2,29			
CMA 8436		+					3370	111	3328	108	2936	108	3457	111	88,2	93,1	1,65	1,96	1,99			
CMA 8437		+					3167	104	2654	86	2529	93	3143	101	97,8	93,7	1,78	2,00	2,38			
CMA 8441		+					3045	100	2612	85	2302	84	2890	93	100,4	92,6	1,37	2,40	2,19			
CMA 8449			+				2540	84	2832	92	2226	82	2670	86	78,3	94,7	3,47	2,16	3,01			
CMA 8535			+				2943	97	3232	105	2983	109	3115	100	78,9	96,0	2,16	3,20	2,62			
CMA 8536			+	+			3207	106	3481	115	3086	113	3437	111	88,4	89,8	1,75	2,24	2,12			
CMA 8540			+	+	+		3463	114	3528	115	3086	113	3518	113	88,8	88,9	1,43	2,02	2,23			
CMA 8541			+	+	+		3256	107	3163	103	2925	107	3340	108	88,7	96,0	2,38	2,09	2,20			
CMA 8542			+	+	+		3109	102	3035	99	2983	109	3269	105	88,1	88,2	1,19	2,00	1,94			
CMA 8545			+	+	+		3372	111	2833	92	2801	103	3270	105	93,8	83,1	0,87	2,07	2,51			
CMA 8548			+	+	+		3304	109	3535	115	3123	115	3491	112	92,5	94,1	1,49	2,08	2,23			
CMA 8551			+	+	+		3197	105	3073	100	2993	110	3396	109	86,9	89,7	1,59	1,88	1,88			
CMA 8552			+	+	+		3012	99	2841	104	2841	104	3219	104	89,9	98,2	2,62	2,35	2,35			
CMA 8553			+	+	+		3533	116	2505	82	2626	96	2969	96	93,0	77,9	0,57	2,09	2,36			
CMA 8557			+	+	+		3015	99	2900	95	3058	112	3510	113	93,3	94,2	1,41	2,06	2,20			
CMA 8561			+	+	+		3349	94	3267	106	2626	96	2969	96	93,0	77,9	0,57	2,09	2,36			
CMA 8564			+	+	+		3364	111	3833	108	3469	113	3423	110	94,8	88,5	1,78	2,04	2,23			
CMA 8569			+	+	+		3294	108	3103	87	2701	99	3124	101	97,8	93,0	1,23	1,67	1,92			
CMA 8700			+	+	+		2865	94	2733	89	2725	100	2950	95	96,3	112,0	1,96	1,71	1,74			
CMA 8704			+	+	+		2857	94	3494	114	2930	107	3281	106	93,3	90,6	1,20	1,79	2,04			
CMA 8707			+	+	+		3065	101	3228	105	2635	97	3151	101	91,4	107,2	2,03	2,22	2,25			
CMA 8711			+	+	+		3212	106	3019	98	3445	126	3178	102	78,7	105,0	1,88	1,96	2,09			
CMA 8712			+	+	+		2692	89	3156	103	2409	88	2819	91	73,3	86,4	1,61	2,28	2,45			
CMA 8798			+	+	+		2790	92	3274	107	2487	91	2978	96	72,4	87,1	1,47	2,59	2,41			
CMA s807			+	+	+		3097	102	3388	95	2695	99	3100	100	89,3	108,8	1,82	1,95	2,32			
CMA s810			+	+	+		3063	101	3053	99	3058	112	3155	102	90,6	102,3	2,04	1,97	2,88			
CMA s812			+	+	+		3693	122	3374	110	3031	111	3380	109	89,4	90,7	1,08	2,44	2,50			
CMA s814			+	+	+		2050	67	2531	93	2531	93	2449	79	76,7	100,4	1,70	2,23	2,79			
CMA s817			+	+	+		2869	94	2923	95	2695	99	2851	92	81,9	95,2	1,40	2,85	2,81			
CMA s818			+	+	+		3073	101	3073	100	2672	98	3112	100	81,5	96,5	2,06	1,77	2,13			
CMA s822			+	+	+		2270	75	2163	70	2467	90	2517	81	78,1	98,6	2,10	2,79	2,55			
CMA s823			+	+	+		2396	79	2623	85	2653	97	2548	82	79,9	95,1	2,30	3,21	2,90			
CMA s824			+	+	+		3100	102	3204	104	2681	98	3123	101	85,5	94,4	1,26	1,98	2,18			
CMA s825			+	+	+		2661	88	3623	118	2970	109	3506	113	94,6	93,8	1,09	2,17	2,42			
CMA s892			+	+	+		2661	88	2891	94	2471	91	2673	86	79,3	98,7	2,18	2,63	2,35			
CMA s893			+	+	+		3736	123	3536	115	3033	111	3639	117	82,9	89,6	1,29	2,02	2,68			
Média							3037	100	3068	100	2727	100	3105	100	87,9	96,8	1,83	2,27	2,42			

Dentre as 74 linhagens avaliadas de 1996 a 2000, 13 são cultivares usadas como testemunhas ou lançadas durante esse período. Destas, seis permaneceram por todo o período, cinco foram excluídas e duas foram incluídas nos ensaios no intervalo de tempo abrangido pelo estudo (BRS Bonança e Carisma). Nesse método não há distinção entre linhagens e testemunhas, portanto as cultivares que são inseridas ou retiradas dos ensaios têm efeito nas estimativas de ganho genético.

As médias ajustadas de produção vêm acompanhadas de uma porcentagem, que indica o seu valor relativo à média de todas as linhagens. Destacaram-se quanto à produção, para toda a área do estudo, as seguintes linhagens: CNA8436 (111%), CNA8536 (111%), CNA8540 (113%), CNA8548 (112%), CNA8557 (113%), CNA8564 (110%), CNAs8825 (113%) e CNAs8983 (117%). Destas linhagens, uma foi introduzida nos ensaios em 1997, cinco em 1998 e duas no ano 2000. A linhagem CNA8540 foi lançada em 2001 com o nome BRS Talento, e a linhagem CNAs8983 foi lançada em 2003 com o nome BRS Colosso. A testemunha mais produtiva foi a Carajás (108%), seguida da Canastra (107%) e BRS Primavera (106%). Dez linhagens superaram a melhor testemunha em média ajustada para produção, o que mostra que o programa está gerando materiais superiores quanto à produtividade. Também é possível observar, na Tabela 2, a adaptação específica das linhagens às diferentes regiões estudadas. Por exemplo, a linhagem CNA8540 destacou-se nas quatro regiões geográficas (mínimo de 112% em Minas Gerais e máximo de 115% no Meio-Norte), sugerindo ampla adaptação e alta estabilidade. Já a linhagem CNA8557, que em média foi equivalente à CNA8540, foi superior a esta em Goiás (116%) e inferior no Meio-Norte (95%), mostrando-se mais sensível a variações ambientais. Outra observação relevante é o desempenho da linhagem CNA8711 no Estado de Mato Grosso (126%) superando largamente a cultivar BRS Primavera (sendo posteriormente lançada com o nome BRS Soberana). Esta linhagem, entretanto, mostrou-se instável, produzindo abaixo da média em Minas Gerais e no Meio-Norte.

Quanto ao ciclo até a floração, o material mais precoce foi a cultivar BRS Aimoré (70,5 dias), e a mais tardia foi a linhagem CNA7024 (104,7 dias), sendo esta também a mais alta (122,6 cm). É interessante observar que, ao contrário do que ocorria nos anos 70 e 80, não é mais possível dividir as linhagens em grupos claramente distintos quanto ao ciclo, sendo observada uma variação gradativa desde os 70 até os 100 dias para floração. A linhagem CNA8553 registrou o menor porte (77,9 cm) e a menor nota média de acamamento (< 1 , devido ao ajuste). Nenhum material apresentou maior tendência ao acamamento que a cultivar Guarani (ACA = 3,69), mostrando que este problema, comum nas cultivares antigas, tem sido eliminado pelo melhoramento. As notas de brusone da

panícula variaram de 1,67 (CNA8693) a 3,32 (CNA8193), e as notas de mancha-dos-grãos variaram de 1,74 (CNA8700) a 3,98 (CNA8394).

Correlações fenotípicas

As variáveis estudadas mostraram algumas correlações significativas (Tabela 3). A produção de grãos mostrou-se inversamente correlacionada às doenças (BP e MG). A floração foi inversamente correlacionada ao acamamento, mostrando que as linhagens precoces em média acamaram mais que as de ciclo médio. Isto se deve ao fato de que os trabalhos de melhoramento para áreas favorecidas, realizados no final da década de 80, priorizaram a seleção de linhagens de arquitetura moderna e de ciclo médio, visando ao máximo potencial de rendimento em condições ambientais não restritivas (Pinheiro et al., 1985). Posteriormente, as populações procedentes do programa de melhoramento de arroz favorecido foram absorvidas pelo programa principal, trazendo em associação as características de menor altura e ciclo médio. Durante esse período, as cultivares precoces foram consideradas adequadas para ambientes com maior risco climático, onde a resistência ao acamamento não era uma prioridade. Hoje buscam-se opções de cultivares precoces mesmo para ambientes favoráveis, devido às suas vantagens operacionais dentro do sistema agrícola. A este propósito nota-se, no presente trabalho, que produtividade e ciclo não foram inversamente correlacionados.

Altura e acamamento mostraram-se positivamente correlacionados, como era esperado. A magnitude desta correlação ($r=0,524^{**}$) mostra que outros fatores interferem na resistência ao acamamento, além da altura, e que é possível encontrar linhagens moderadamente altas e resistentes ao acamamento, sendo assim mais competitivas com plantas daninhas.

Tabela 3. Coeficientes de correlação das médias ajustadas das linhagens avaliadas para produção (PROD), ciclo até a floração (FLO), altura de planta (ALT) e notas de acamamento (ACA), brusone da panícula (BP) e mancha-dos-grãos (MG).

	FLO	ALT	ACA	BP	MG
PROD	0,068	-0,191	-0,147	-0,470**	-0,351**
FLO		0,135	-0,323**	-0,146	0,014
ALT			0,524**	0,111	0,090
ACA				0,184	0,079
BP					0,606**

Chama a atenção a forte correlação positiva entre brusone da panícula e mancha-dos-grãos ($r = 0,606^{**}$). Uma vez que o agente causal da brusone (*Pyricularia grisea*) normalmente não causa sintomas típicos de mancha-dos-grãos (Prabhu et al., 1999), esta correlação indica que linhagens mais resistentes a *P. grisea* tendem a ser também resistentes aos fungos que causam o complexo de doenças chamado mancha-dos-grãos. Portanto, mecanismos de resistência geral a estresses bióticos devem estar presentes nas linhagens mais resistentes. Outra explicação possível é que linhagens mais sensíveis a estresses abióticos, como seca ou nutrição desbalanceada, também se tornem mais suscetíveis a ambas as doenças quando na presença dessas condições ambientais.

Ganho genético

O ganho genético médio para produção de grãos, para toda a área estudada, foi de $11,6 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, ou 0,37% de incremento anual (Tabela 4). Trata-se de um ganho pequeno frente aos resultados anteriores, obtidos em arroz de terras altas, normalmente superiores a 1% ao ano (Abbud, 1991; Atroch et al., 1999; Soares et al., 1999). Este resultado aproxima-se dos ganhos observados em arroz irrigado, cuja produtividade está quase estagnada (Santos et al., 1999; Rangel et al., 2000).

Tabela 4. Variáveis avaliadas, número de ensaios, número de genótipos, número total de dados utilizados na análise, médias gerais dos dados, interceptos e coeficientes da regressão linear de quadrados mínimos generalizados, ganhos genéticos percentuais e coeficiente de determinação da regressão. PROD: produção de grãos; FLO: ciclo até a floração; ALT: altura de plantas; ACA: nota de acamamento; BP: brusone de panícula; MG: mancha-dos-grãos.

Variável	Ensaios	Genótipos	Nº. de dados	Prod. Média	Ganho genético		
					Intercepto	kg/ha	%
PROD/Geral	207	74	12507	3160	3113,5	$11,6 \pm 4,95^*$	0,37
PROD/GO	67	68	4293	3178	3082,9	$2,2 \pm 10,2$	-
PROD/MG	56	49	2703	3604	3576,6	$10,5 \pm 11,0$	-
PROD/MN	37	67	2191	3167	3008,7	$36,4 \pm 12,7^{**}$	1,20
PROD/MT	47	64	3181	2754	2564,0	$48,2 \pm 11,0^{**}$	1,85
FLO		74	11112	87,4	89,9	$-0,52 \pm 0,03^{**}$	-0,58
ALT		74	11504	97,3	100,4	$-0,85 \pm 0,05^{**}$	-0,85
ACA		74	8036	1,83	2,13	-0,085	-4,16
BP		74	9444	2,21	2,37	-0,037	-1,59
MG		74	9358	2,30	2,59	-0,046	-1,81

Contudo, deve-se considerar que estimativas de ganho obtidas por métodos diferentes podem não ser perfeitamente comparáveis, pois resultados discrepantes podem ser encontrados (Breseghello, 1995). Além do método de estimação do ganho médio anual, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a estimativa de ganho percentual é muito influenciada pelo denominador que se usa neste cálculo. Normalmente usa-se a média do primeiro ano da série. Neste trabalho defende-se o uso do valor estimado para o primeiro ano da série, pela regressão linear, por ser este menos dependente do efeito do primeiro ano.

É provável que o principal fator restritivo do ganho em produção neste período tenha sido a preocupação com a qualidade dos grãos. As populações e linhagens foram submetidas a avaliações sistemáticas de forma de grão, teor de amilose, temperatura de gelatinização, centro-branco, rendimento de grãos inteiros no beneficiamento e qualidade de cocção. Este processo forçou o descarte de muitas populações altamente produtivas. Hoje o germoplasma elite de arroz de terras altas da Embrapa apresenta qualidade de grãos compatível com a exigida pelo mercado, predominantemente longo-finos. Com a presença generalizada das características desejáveis de qualidade de grãos no germoplasma do programa, espera-se que uma maior prioridade seja dada para a aceleração do ganho para produtividade.

Considerando as regiões em separado, quanto ao ganho para produção, os resultados foram bastante diversos. Para os Estados de Goiás e Minas Gerais o ganho foi nulo, enquanto que para o Meio-Norte e o Estado de Mato Grosso o progresso foi de $36,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ (1,20%) e $48,2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ (1,85%), respectivamente. Estas estimativas são bastante satisfatórias, principalmente considerando que foram acompanhadas pela melhoria da qualidade de grãos. O programa resultou em ganho em produtividade nas regiões onde a cultura do arroz de terras altas é mais plantada atualmente. Considerando que uma área média plantada com arroz de terras altas no Estado de Mato Grosso cobre aproximadamente 500.000 ha, este ganho genético tem o potencial de adicionar aproximadamente 30.000 t à produção do Estado a cada ano, além de todos os ganhos obtidos via aprimoramento do manejo da cultura.

O fato de não ter havido progresso em produção para Goiás, onde se localiza o programa de melhoramento que deu origem às linhagens avaliadas, nem em

Minas Gerais, que apresenta condições ambientais semelhantes, contraria as expectativas. Por outro lado, houve ganho nos Estados mais distantes do local de seleção, ou seja, Mato Grosso, Maranhão e Piauí. Duas explicações prováveis são apresentadas para este resultado:

- a) Muitas populações segregantes procedentes do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) foram introduzidas no programa da Embrapa. As linhagens derivadas dessas populações adaptaram-se muito bem nas regiões pré-amazônicas do Brasil, inclusive no Mato Grosso e no Meio-Norte, o que explica em parte os ganhos obtidos nessas regiões. Contudo, deve-se considerar que linhagens obtidas dessas populações foram inicialmente avaliadas na Embrapa Arroz e Feijão, em Goiás. Além disso, uma parte do ganho advém de linhagens oriundas de cruzamentos feitos pela própria Embrapa. Isto pede uma segunda explicação:
- b) Devido à importância da cultura do arroz em Mato Grosso e no Meio-Norte, a seleção feita em Goiás pode ter visado a um ideótipo voltado para as condições pré-amazônicas, ou seja, plantas de porte baixo, arquitetura moderna, ciclo curto a médio e bom perfilhamento. A seleção visual para estas características, as quais têm herdabilidade relativamente alta, é mais eficiente do que para produtividade. Estas características, uma vez incorporadas às linhagens, resultaram em ganho de produtividade nos ambientes onde elas se fazem necessárias.

Na Tabela 5 apresentam-se os dados de ganho ano a ano. Houve um grande ganho em produção no ano de 1998, quando foram incluídas nos ensaios várias linhagens altamente produtivas. Nos anos seguintes a produção retrocedeu, devido à exclusão de parte dessas linhagens, muito aparentadas entre si, ficando apenas as que apresentavam um melhor equilíbrio entre as características desejáveis. Os materiais que as substituíram não foram igualmente produtivos, fazendo com que a produtividade média das linhagens em estudo voltasse ao nível de 1996 (Figura 1). As linhagens que mais contribuíram para este retrocesso foram CNAs8814, CNAs8822, CNAs8823 e CNAs8962 (Tabela 2).

Tabela 5. Médias das médias ajustadas dos genótipos avaliados por ano, em toda a área estudada, quanto às características produtividade, ciclo até floração, altura de planta e notas de acamamento, brusone de panícula e mancha-dos-grãos e ganhos anuais para produção.

Ano	PROD	Ganho anual	FLO	ALT	ACA	BP	MG
1995	3102	-	87,0	101,8	2,09	2,36	2,54
1996	3117	15 ± 17,0	90,2	99,3	1,93	2,30	2,49
1997	3097	-20 ± 18,2	89,6	96,7	1,92	2,26	2,55
1998	3268	171 ± 19,6**	88,5	93,9	1,71	2,19	2,32
1999	3218	-49 ± 12,9**	87,4	95,7	1,73	2,13	2,27
2000	3132	-86 ± 19,0**	86,7	96,6	1,66	2,21	2,40

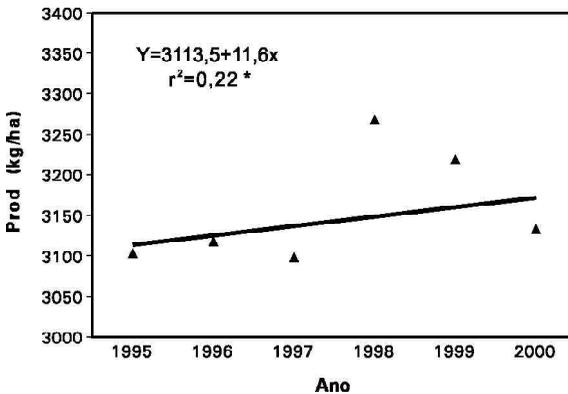


Fig. 1. Evolução da média dos genótipos avaliados em toda a região estudada e linha de regressão por quadrados mínimos generalizados, demonstrando a tendência média do período.

Quanto ao ciclo, verificou-se que as linhagens tornaram-se mais precoces, numa razão de 0,52 dia.ano⁻¹ na média do período (Tabela 4). Esta variação é desejável, considerando que cultivares precoces permitem o retorno mais rápido do capital investido, ficam por menos tempo expostas a estresses bióticos e abióticos no campo e são preferíveis em sistemas intensivos de sucessão de culturas. Analisando-se a variação anual nota-se que, após um aumento do ciclo de 1995 para 1996, este vem recuando linearmente em 1 dia.ano⁻¹ (Tabela 5).

A altura das plantas sofreu redução média de $0,85 \text{ cm.ano}^{-1}$, mas também nesse caso é mais informativo observar o que ocorreu ano a ano (Tabela 5). Até 1998, as linhagens sofreram redução linear de altura, de $2,6 \text{ cm.ano}^{-1}$, atingindo a média mínima de 93,9 cm. Este foi o ano em que se verificou também o pico de produtividade. A partir daí, linhagens de perfil um pouco mais tradicional foram incluídas nos ensaios, causando alguma elevação da altura, principalmente CNA8700, CNA8707, CNA8711 e CNA8807. Estas linhagens foram admitidas nos ensaios avançados principalmente por méritos de qualidade de grãos.

Em consequência da redução do porte das plantas e da seleção direta, as notas de acamamento sofreram redução de 4,16% ao ano. Ganhos foram obtidos também para resistência às principais doenças do arroz de terras altas, que são a brusone da panícula e a mancha-dos-grãos. A redução das notas de incidência dessas doenças se deu ao ritmo de 1,59 e 1,81% ao ano, respectivamente. No último ano notou-se um pequeno retrocesso do ganho, em parte devido à linhagem CNA8823, que apresentou notas elevadas para essas doenças.

O programa de melhoramento de arroz de terras altas da Embrapa teve bons resultados, em termos gerais, no período de 1995 a 2000. Foram obtidos ganhos importantes para produtividade nas regiões onde a cultura apresenta maior expressão econômica, especialmente Mato Grosso. As linhagens tornaram-se mais precoces e baixas, com maior resistência ao acamamento. As principais doenças da cultura apresentaram redução lenta, mas consistente, ao longo do período. Estes resultados tornam-se mais positivos quando se considera que foram obtidos simultaneamente a um grande avanço na qualidade dos grãos, não descrito neste trabalho. Por outro lado, preocupa a constatação de que o melhor ano não foi o último da série, indicando que algum retrocesso pode ter ocorrido. Estudos de ganho genético como este, realizados periodicamente, permitirão o perfeito controle do programa de melhoramento, orientando os redirecionamentos necessários.

Conclusões

1. O melhoramento genético resultou em um ganho anual médio de 0,37% na produtividade do arroz de terras altas, na média dos Estados de Goiás, Minas Gerais, Maranhão, Piauí e Mato Grosso.

2. O ganho genético de produção por Estado ou região foi nulo para Goiás e Minas Gerais, de 1,20% para o Meio-Norte e de 1,85% para Mato Grosso.
3. As linhagens avaliadas nos ensaios estão tornando-se, em média, mais precoces e baixas.
4. A resistência ao acamamento sofreu forte incremento neste período.
5. A resistência à brusone da panícula e mancha-dos-grãos aumentou lenta e gradualmente no período estudado.

Agradecimentos

Aos pesquisadores José Almeida Pereira (Embrapa Meio-Norte), Antônio Alves Soares (UFPA), Nara Regina Gervini de Sousa (Empaer-MT) e Job Carneiro Vanderlei (Agência Rural - GO), participantes do programa de melhoramento de arroz de terras altas que gerou os dados utilizados neste trabalho.

Referências Bibliográficas

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

ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; MARTINS, L. A. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro nas décadas de setenta e oitenta nas regiões Sul e Alto Paranaíba, em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 1, p. 105-112, jan. 1994.

ATROCH, A. L.; MORAIS, O. P. de; RANGEL, P. H. N.; CASTRO, E. da M. de. Progressos do melhoramento genético do arroz de sequeiro no Estado do Amapá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 9, p. 1623-1632, set. 1999.

BRESEGHELLO, F. **Ganhos de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil**. 1995. 93 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

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.

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

HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. **Análise de regressão**: uma introdução à economometria. São Paulo: Hucitec, 1987. 379 p.

MORAIS, O. P. de; ZIMMERMANN, F. J. P.; RANGEL, P. H. N. Evaluación de ganancias observadas en selección recurrente. In: GUIMARÃES, E. P. (Ed.). **Avances en el mejoramiento poblacional en arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. p. 21-35.

NEDEL, J. L. Progresso genético no rendimento de grãos de cultivares de trigo lançadas para cultivo entre 1940 e 1992. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 10, p. 1565-1570, out. 1994.

PINHEIRO, B. da S.; STEINMETZ, S.; STONE, L. F.; GUIMARÃES, E. P. Tipo de planta, regime hídrico e produtividade do arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 1, p. 87-95, jan. 1985.

PRABHU, A. S.; FILIPPI, M. C.; RIBEIRO, A. S. Doenças e seu controle. In: VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos; SANT'ANA, E. P. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 262-307.

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

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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 10, p. 1889-1896, out. 1999.

SISTEMA de evaluación estándar para arroz. 2. ed. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1983. 61 p.

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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 3, p. 415-424, mar. 1999.

TOLEDO, J. F. F. de; 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, DF, v. 25, n. 1, p. 89-94, jan. 1990.

VENCOVSKY, R.; MORAIS, A. R.; GARCIA, J. C.; TEIXEIRA, N. M. Progresso genético em 20 anos de melhoramento de milho no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16, 1986, Belo Horizonte. **Anais...** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1986. p. 300-306. (EMBRAPA-CNPMS. Documentos, 6).