

Avaliação Genotípica de Linhagens de Arroz de Terras Altas Através de Modelos Mistos, para o Estado do Mato Grosso

José Manoel Colombari Filho¹; Adriano Pereira de Castro²; Flávio Breseghello³ e Orlando Peixoto de Morais⁴

Resumo

O presente estudo avaliou o desempenho de genótipos de arroz de terras altas do programa de melhoramento da Embrapa, através da metodologia de modelos mistos. Para isso, foram utilizados os dados de produção de grãos (PG) dos ensaios de “valor de cultivo e uso” (VCU) conduzidos em cinco locais do estado do Mato Grosso no período de 2005/06 a 2009/10. A análise de Deviance evidenciou significância para os efeitos de genótipos e para interação genótipos x locais x anos, no entanto os efeitos das interações genótipos x locais, e genótipos x anos, não foram significativos. A estabilidade e a adaptabilidade genotípicas foram obtidas pelos métodos da *Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genotípicos* (**MHPRVG**), sendo as três linhagens que melhor agregaram simultaneamente maior adaptabilidade, estabilidade e produtividade, foram: BRA 032048, AB 062008 e AB 062037. Por fim, durante esses cinco anos foram observados, por regressão linear, ganhos genéticos anuais satisfatórios para PG com magnitude de 144,6 Kg ha⁻¹ ano⁻¹, igual a 4,37% ano⁻¹.

Introdução

O Brasil destaca-se como o 1º maior produtor mundial de arroz quando excetuado a Ásia, com produção aproximada de 12 milhões de ton ano⁻¹. A produção de arroz de terras altas encontra-se em uma ampla gama de ambientes, envolvendo desde grandes áreas mecanizadas até pequenas, dentre os quais, sobressaem às áreas do centro-norte do estado do Mato Grosso, partes dos estados do Maranhão e do Pará que respondem por cerca de 60% dessa produção, em uma macro-região favorecida por maiores precipitações médias (Agriannual 2011).

Os programas de melhoramento genético têm sido à base de sustentabilidade da agricultura moderna, com papel fundamental na viabilização das culturas frente às adversidades ocorrentes. O desenvolvimento de cultivares superiores é constantemente dificultado pela interação genótipo x ambiente (GxE), que resulta do comportamento variável de genótipos em diferentes ambientes (Vencovsky and Barriga 1992). Assim, selecionar genótipos com alta produtividade, estabilidade e adaptabilidade têm sido uma das alternativas para minimizar esses efeitos. Para isso, Cruz and Carneiro (2003) citaram que métodos como Annicchiarico (1992) e Lin and Binns (1988) deveriam ser preferidos para a análise da estabilidade e adaptabilidade juntamente com produtividade, pois apresentam valores de simples interpretação, através de uma única medida estatística.

Nesse sentido, no contexto de modelos mistos, com base em dados desbalanceamentos, existe o método da *Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genotípicos* (**MHPRVG**), preconizado por Resende (2004), que considera os efeitos genotípicos como aleatórios e, portanto, fornece na mesma escala do caráter avaliado, a estabilidade e adaptabilidade de valores genotípicos preditos e não fenotípicos. Esse método permite o ordenamento dos genótipos simultaneamente pelos seus valores genéticos (produtividade) e estabilidade, pelo procedimento BLUP sob médias harmônicas, de modo que quanto menor o desvio-padrão do comportamento genotípico através dos locais, maior será a *Média Harmônica dos Valores Genotípicos* (**MHVG**). Também, permite o ordenamento simultâneo dos genótipos para adaptabilidade e produtividade, através da *Performance Relativa dos Valores Genotípicos* (**PRVG**) resultante dos valores genotípicos preditos (produtividade) expressos como proporção da média geral de cada local, e obtenção do valor médio dessa proporção através dos locais. Por fim, o método permite a seleção simultânea para produtividade, estabilidade e adaptabilidade através dos valores de **MHPRVG** (Resende 2007a).

O presente trabalho teve como objetivo realizar a avaliação genotípica de 57 genótipos de arroz de terras altas (cultivares e linhagens) presentes em cinco locais e cinco anos agrícolas de ensaios de “valor de cultivo e uso” (VCU) do estado do Mato Grosso. Para isso, foram estimados os valores preditos e genotípicos de cada genótipo, para o caráter produção de grãos (PG, em Kg ha⁻¹) para o ambiente médio dos locais, a fim de estudar a estabilidade e adaptabilidade dos valores genotípicos preditos pelo procedimento da melhor predição linear

¹ Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Arroz e Feijão, 75375-000, Caixa Postal 179, Santo Antônio de Goiás, Goiás, colombari@cnpaf.embrapa.br (autor correspondente).

² Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Arroz e Feijão, apcastro@cnpaf.embrapa.br.

³ Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Arroz e Feijão, flavio@cnpaf.embrapa.br.

⁴ Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Arroz e Feijão, peixoto@cnpaf.embrapa.br.

não viesada (BLUP). Também, será observado o progresso genético para PG obtido nesse período na tentativa de averiguar possíveis avanços obtidos para o estado do Mato Grosso.

Material e Métodos

O presente estudo foi realizado com um conjunto de dados proveniente de ensaios de VCU de arroz de terras altas do programa de melhoramento do arroz da Embrapa, conduzidos no estado do Mato Grosso durante o período entre os anos agrícolas 2005/06 e 2009/10. Foram considerados cinco locais: Cáceres, São José dos Quatro Marcos, Santa Carmem, Sinop e Sorriso. Com isso, houve um total de 22 ensaios, visto que nem todos esses locais foram contemplados em cada ano agrícola (Tabela 1). Em cada ano agrícola, esses ensaios foram compostos por cerca de 20 genótipos (testemunhas e linhagens em teste de 1º ou 2º ano). Em função da seleção e descarte anual de linhagens, o conjunto de genótipos que compuseram os ensaios foi variável a cada ano agrícola (conjunto desbalanceado de dados), totalizando 57 genótipos avaliados nesses cinco anos.

Foi avaliado o caráter produção de grãos (PG), em Kg ha^{-1} , e o delineamento experimental adotado foi blocos ao acaso com 4 repetições e parcelas de 4 linhas de 5 m de comprimento, com densidade de 60 sementes m^{-1} . Para as análises estatísticas utilizou-se o seguinte modelo linear na sua forma matricial: $\mathbf{y} = \mathbf{Xb} + \mathbf{Zg} + \mathbf{Qga} + \mathbf{Tgl} + \mathbf{Wgla} + \boldsymbol{\epsilon}$, em que: \mathbf{y} é o vetor de observações; \mathbf{b} é o vetor dos efeitos das combinações bloco-local-ano (efeitos fixos) somados à média geral; \mathbf{g} é o vetor de efeitos genotípicos (aleatórios); \mathbf{ga} é o vetor dos efeitos da interação de genótipos x anos (aleatórios); \mathbf{gl} é o vetor dos efeitos das interações de genótipos x locais (aleatório); \mathbf{gla} é o vetor dos efeitos da interação tripla genótipos x locais x anos (aleatórios); $\boldsymbol{\epsilon}$ é o vetor de erros (aleatórios); e \mathbf{X} , \mathbf{Z} , \mathbf{Q} , \mathbf{T} e \mathbf{W} representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos, respectivamente. A seleção conjunta por produtividade, estabilidade e adaptabilidade dos cultivares e linhagens baseou-se na estatística **MHPRVG** preditos, conforme descrito por Resende (2004) e todas as análises foram realizadas pelo software Selegen-REML/BLUP (Resende 2007b).

Por fim, a estimativa de ganhos genéticos baseou-se na regressão linear obtida com as médias gerais dos valores genotípicos preditos para PG em cada ano agrícola, no estado do Mato Grosso ao longo dos cinco anos.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1, observaram-se boas precisões experimentais pelas análises de variância individual para PG, com valores de acurácia (Ac) e/ou coeficiente de variação experimental (CV%) satisfatórios, isto é, Ac de moderado ($> 0,60$) a alto ($> 0,70$) e $\text{CV}\% < 25\%$ (Resende 2002). Logo, todos os ensaios foram considerados na análise conjunta, como apresentada na Tabela 2. Nesse período, Cáceres foi o local com maior produtividade média de 4.023 Kg ha^{-1} , enquanto Santa Carmem teve a menor, igual a 3.340 Kg ha^{-1} (Tabela 1), sendo que a média geral para todos os locais foi de 3.593 Kg ha^{-1} (Tabela 2).

Tabela 1. Locais dos ensaios de VCU com as coordenadas geográficas, anos agrícolas e os respectivos valores de acurácia (Ac) e coeficiente de variação experimental (CV%) das análises de variância individual por local; e médias gerais por local da análise conjunta, para o caráter produção de grãos no estado do Mato Grosso.

Local	Latitude	Longitude	2005/06		2006/07		2007/08		2008/09		2009/10		Média geral (Kg ha^{-1})
			Ac	CV%									
Cáceres	16° 4'28"S	57°39'35"O	0,64	15,93	0,74	15,48	-	-	0,66	19,92	0,80	13,96	4.023
S. J. Quatro Marcos	15°37'09"S	58°10'36"O	0,71	22,93	0,95	13,98	0,83	11,64	0,87	17,05	-	-	3.600
Santa Carmem	11°55'51"S	55°16'47"O	-	-	0,93	14,92	0,96	16,92	0,94	16,39	0,83	19,23	3.340
Sinop	11°52'22"S	55°29'53"O	0,76	19,50	0,91	14,92	0,82	11,84	0,90	15,22	0,93	19,11	3.571
Sorriso	12°33'31"S	55°42'50"O	0,88	22,21	0,97	12,92	0,96	10,33	0,94	12,73	0,78	18,21	3.468

Verificou-se pela análise de Deviance (Tabela 2), que os efeitos de genótipos e da interação tripla, genótipos x locais x anos, bem como seus componentes de variância ($\sigma_{\mathbf{g}}^2$ e $\sigma_{\mathbf{gla}}^2$) e coeficientes de determinação (\hat{h}^2 e $\hat{c}_{\mathbf{gla}}^2$), foram altamente significativos ($p < 0,01$), enquanto os demais foram não significativos. Assim, houve presença de variabilidade genética entre os genótipos testados, e uma interação moderada de genótipos com locais e baixa de genótipos com anos, as quais puderam ser mais bem evidenciadas através dos valores dos coeficientes de determinação da interação genótipos x locais (GxL , $\hat{c}_{\mathbf{gl}}^2$) e genótipos x anos (GxA , $\hat{c}_{\mathbf{ga}}^2$) que demonstraram respectivas contribuições de 4,34% e 0,41% para a variância fenotípica total (Tabela 2). Essa maior magnitude da interação GxL comparado com GxA, evidenciou que a adoção de maior número de locais

será sempre melhor que anos para um maior êxito na avaliação de linhagens em processo de seleção. Conforme Cruz and Castoldi (1991), as correlações genóticas obtidas através de locais (\hat{r}_{gl} e \hat{r}_{gl_1}) foram moderadas ($= 0,60$) e, portanto, a classificação dos genótipos através dos locais não foi rigorosamente à mesma. Porém, as correlações genóticas através dos anos (\hat{r}_{ga} e \hat{r}_{ga_1}) foram altas ($= 0,95$), sugerindo predominância de interações do tipo simples, ou seja, sem mudanças significativas na performance dos genótipos através dos anos.

Tabela 2. Análise de Deviance, estimativas dos componentes de variância, dos coeficientes de determinação e das correlações genóticas, referente à análise conjunta dos dados de produção de grãos (Kg ha⁻¹) dos ensaios de VCU para o estado do Mato Grosso do período entre 2005/06 e 2009/10.

Efeito	Deviance	LRT(χ^2)	Comp. Var.†	Coef. Determ.‡	Cor. Genotípica§
Genótipos (G)	24.239,3 ⁺	10,37 ^{**}	$\sigma_G^2 = 62.232,4$	$\hat{h}^2 = 0,07475 \pm 0,0185$	$\hat{r}_{gl} = 0,633$
G x Anos (A)	24.228,9 ⁺	0,01 ^{ns}	$\sigma_{GA}^2 = 3.375,8$	$\hat{c}_{GA}^2 = 0,00406$	$\hat{r}_{ga} = 0,949$
G x Locais (L)	24.230,3 ⁺	1,43 ^{ns}	$\sigma_{GL}^2 = 36.117,0$	$\hat{c}_{GL}^2 = 0,04338$	$\hat{r}_{gl_1} = 0,645$
G x L x A	24.280,6 ⁺	51,70 ^{**}	$\sigma_{GLA}^2 = 174.752,0$	$\hat{c}_{GLA}^2 = 0,20991$	$\hat{r}_{ga_1} = 0,967$
Resíduo	-	-	$\sigma_e^2 = 556.039,5$		$\hat{r}_{gl_1} = 0,225$
Modelo Completo	24.228,9				Média geral = 3.593

†: deviance do modelo ajustado sem os efeitos correspondente. ns, * e **: não-significativo e significativo pelo teste qui-quadrado a 5% (3,84) e 1% (6,63), respectivamente. † σ_G^2 : variância genotípica entre linhagens; σ_{GA}^2 : var. da interação genótipo x ano; σ_{GL}^2 : var. da interação genótipo x local; σ_{GLA}^2 : var. da interação genótipo x local x ano; e σ_e^2 : var. residual. ‡ \hat{h}^2 : herdabilidade no sentido amplo; \hat{c}_{GA}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ano; \hat{c}_{GL}^2 : coef. determ. dos efeitos da interação genótipo x local; e \hat{c}_{GLA}^2 : coef. determ. dos efeitos da interação genótipo x local x ano. § \hat{r}_{gl} : correlação genotípica dos materiais genéticos através dos locais, válida para qualquer ano; \hat{r}_{ga} : cor. genot. dos materiais genéticos através dos anos, válida para qualquer local; \hat{r}_{gl_1} : cor. genot. dos materiais genéticos através dos locais, em um dado ano; \hat{r}_{ga_1} : da correlação genotípica dos materiais genéticos através dos anos, em um dado local; e \hat{r}_{gl_1} : cor. genot. dos materiais genéticos através dos locais e anos.

Na Tabela 3, verificou-se que os 15 melhores genótipos para produtividade média (VG) não coincidiram com os 15 melhores pelos critérios **MHVG**, **PRVG** e **MHPRVG**, mostrando a importância desses atributos para a tomada de decisão na seleção. Pelo critério **MHPRVG**, as três melhores linhagens acima do melhor cultivar deste estudo, BRSGO Serra Dourada, foram BRA 032048, AB 062008 e AB 062037, com superioridade entre 10 e 13% sobre a média geral dos ambientes, cujos valores já estão penalizados pela instabilidade através dos locais e capitalizados pela adaptabilidade. A linhagem BRA 032048 foi também a que apresentou a maior estabilidade associada à produtividade (**MHVG**) e a maior resposta a melhoria do ambiente, com média de 1,13 vezes superior à produtividade média dos ambientes (**PRVG**). Além disso, essas três linhagens destacaram-se quanto a outros caracteres preponderantes para o arroz, principalmente no que se refere à qualidade de grãos para os padrões de exigência nacional, resistência ao acamamento e tolerância à brusone. Na safra 2010/11, as mesmas fizeram parte da Lavoura Experimental, etapa que antecede a definição final por lançar um novo cultivar, com plantios de áreas maiores (cerca de 1 ha) em regiões de importância econômica para o arroz de terras altas.

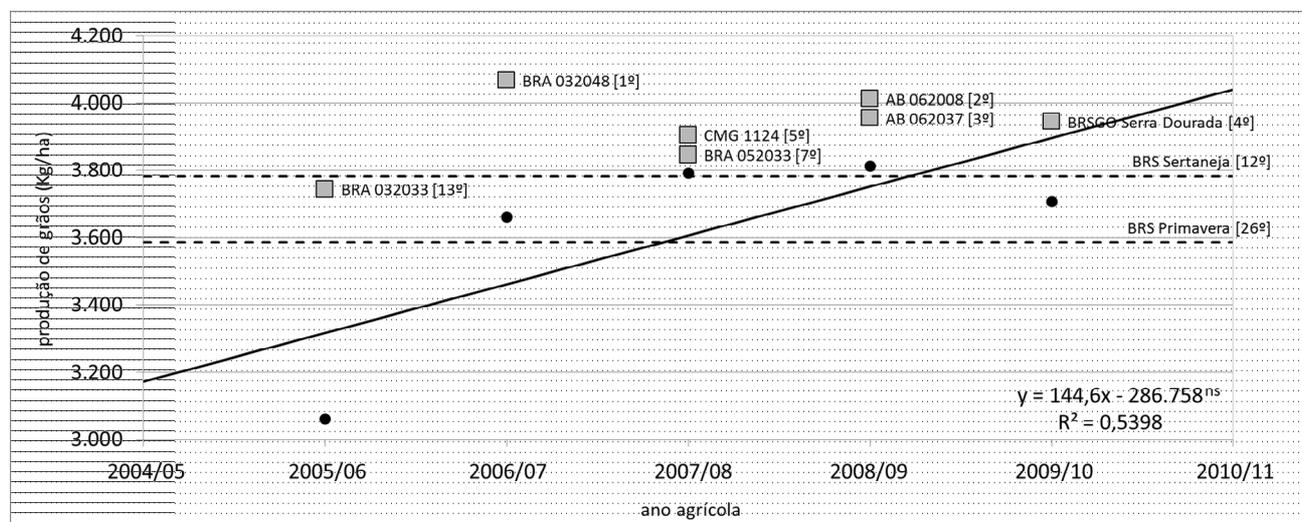
Tabela 3. Valores genotípicos preditos (VG), estimativas de acurácia individuais (\hat{r}_{gg}), estabilidade dos valores genotípicos (**MHVG**), adaptabilidade dos valores genotípicos (**PRVG**), valores genotípicos médios capitalizado pela interação (**PRVG*MG**), estabilidade e adaptabilidade de valores genotípicos (**MHPRVG**) e valores genotípicos médios nos locais (**MHPRVG*MG**) para produção de grãos dos 15 melhores genótipos para VG mais outros relevantes, avaliados no estado do Mato Grosso, no período entre 2005/06 e 2009/10.

Rankue	Genótipo	VG	\hat{r}_{gg}	Estabilidade		Adaptabilidade		Estabilidade e Adaptabilidade			
				Rankue MHVG	Rankue PRVG	PRVG*MG	Rankue MHPRVG	MHPRVG*MG			
1°	BRA 032048	4.018	0,749	1°	4066	1°	1,13	4.073	1°	1,13	4.067
2°	AB 062008	3.970	0,747	3°	4005	2°	1,12	4.013	2°	1,12	4.012
3°	AB 062037	3.920	0,751	4°	3947	3°	1,10	3.956	3°	1,10	3.955
4°	BRSGO Serra Dourada	3.899	0,570	2°	4031	4°	1,10	3.950	4°	1,10	3.944
5°	CMG 1124	3.872	0,753	5°	3896	5°	1,09	3.904	5°	1,09	3.904
6°	BRA 042094	3.863	0,744	6°	3889	6°	1,08	3.896	6°	1,08	3.893
7°	BRA 052033	3.819	0,797	7°	3838	7°	1,07	3.845	7°	1,07	3.845

8°	BRA 01506	3.810	0,746	8°	3834	8°	1,07	3.839	8°	1,07	3.837
9°	L 993	3.802	0,751	9°	3827	9°	1,07	3.831	9°	1,07	3.828
10°	BRA 052045	3.797	0,751	10°	3820	10°	1,06	3.825	10°	1,06	3.823
11°	BRA 032051	3.769	0,795	11°	3785	11°	1,06	3.791	11°	1,05	3.790
12°	BRS Sertaneja	3.763	0,846	12°	3773	12°	1,05	3.782	12°	1,05	3.780
13°	BRA 032033	3.729	0,795	15°	3736	13°	1,04	3.744	13°	1,04	3.743
14°	BRA 042050	3.726	0,652	17°	3733	15°	1,04	3.742	16°	1,04	3.738
15°	BRA 02601	3.725	0,749	14°	3736	14°	1,04	3.743	14°	1,04	3.741
26°	BRS Primavera	3.587	0,795	29°	3580	26°	1,00	3.587	26°	1,00	3.586
55°	BRS Bonança	3.390	0,745	53°	3358	55°	0,94	3.366	55°	0,94	3.364
57°	BRSMG Curinga	3.240	0,844	57°	3182	57°	0,89	3.197	57°	0,89	3.192

† média geral.

Por fim, através do estudo de regressão linear com as médias gerais dos valores genotípicos preditos dos ensaios de VCU de cada ano agrícola, no estado do Mato Grosso, para o período entre 2005/06 e 2009/10, pôde-se observar uma notória tendência de aumento na produtividade média, apesar de não significativo, com ganhos genéticos anuais de 144,6 Kg ha⁻¹ ano⁻¹, equivalente a 4,37% ano⁻¹. Isso demonstra o atual bom momento do programa de melhoramento de arroz de terras altas da Embrapa. Tais evidências observadas no estado do Mato Grosso corroboraram com as constatadas e discutidas no estudo de Breseghello et al. (2011), o qual utilizando um conjunto robusto de dados para o caráter PG, proveniente de ensaios de VCU realizados em sete estados brasileiros (Goiás, Mato Grosso, Tocantins, Pará, Rondônia, Maranhão e Piauí) durante 25 anos de programa de melhoramento de arroz de terras altas da Embrapa, obtiveram ganhos genéticos na ordem de 45 Kg ha⁻¹ ano⁻¹, equivalendo a 1,44% ano⁻¹ durante o último e atual período entre 2002 e 2009.



^{ns} não significativo ($p > 0,05$) pelo teste t.

Figura 1. Ganho genético para o caráter produção de grãos (PG, em Kg ha⁻¹) pela regressão linear obtida com a média geral dos valores genotípicos preditos de cada ano para os ensaios de VCU do estado do Mato Grosso no período entre 2005/06 e 2009/10. Onde: ponto preto (•) refere-se à média geral dos valores genotípicos preditos em cada ano, para PG; quadrado cinza (◻) refere-se à estabilidade e adaptabilidade de valores genotípicos médios nos locais **MHPRVG*MG** de cada linhagem allocated no seu 1º ano de VCU, com seu ranque e linha tracejada (---) refere-se à **MHPRVG*MG** das duas principais testemunhas com seus ranques (BRS Primavera: lançada em 1997, sendo referência em qualidade de grãos; e BRS Sertaneja: lançada em 2006, sendo o cultivar de arroz de terras altas da Embrapa de maior área plantada).

Referências

- Agriannual (2011) **Anuário estatístico da Agricultura Brasileira. Arroz.** FNP, São Paulo p.161-167.
- Breseghello F, Morais OP, Pinheiro PV, Silva ACS, Castro EM, Guimarães EP, Castro AP, Pereira JA, Lopes AM, Utumi MM and Oliveira JP (2011) Results of 25 years of upland rice breeding in Brazil. **Crop Science** 51: 914-923.
- Cruz CD and Carneiro PCS (2003) **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Editora UFLA, Lavras, 585p.

Cruz CD and Castoldi FL (1991) Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres** 38: 422-430.

Resende MDV (2002) **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 975p.

Resende MDV (2004) **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Embrapa Florestas, Colombo, 65p.

Resende MDV (2007a) **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Embrapa Florestas, Colombo, 561p.

Resende MDV (2007b) **SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Embrapa Florestas, Colombo, 361p.

Vencovsky R and Barriga P (1992) **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, 496p.