

Seleção simultânea para produtividade, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de batata**G.O. da Silva¹, A. da Silva Pereira^{2/*}, F. Quintanilha Azevedo³, A.D. Ferreira de Carvalho⁴***Recebido: 13/04/2017**Aceito: 17/11/2017**Acessíveis on-line: Dezembro 2017***Resumo**

O desenvolvimento de cultivares de batata adaptadas às condições de cultivo das regiões produtoras brasileiras é uma das principais alternativas para aumentar a produtividade e a rentabilidade da cultura para os produtores. O objetivo deste trabalho foi realizar a seleção simultânea quanto à produtividade de tubérculos, adaptabilidade e estabilidade de produção de genótipos de batata. Seis experimentos foram conduzidos em dois locais em três safras em 2012 e 2013 da região Sul do Brasil. Foram avaliados dois clones elite (CL02-05 e F63-01-06) desenvolvidos pela Embrapa e duas cultivares (Agata e Asterix) amplamente cultivadas no Brasil. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições. Após as colheitas, cerca de 110 dias após o plantio, foram avaliados caracteres de rendimento de tubérculos. Os dados foram submetidos às análises de deviance individuais e conjunta, adaptabilidade e estabilidade, por meio da metodologia Reml/Blup. As estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres número de tubérculos comerciais, massa de tubérculos comerciais, massa total de tubérculos e massa média de tubérculos foram altas, indicando condição favorável à seleção. Os clones CL02-05 e F63-01-06 foram superiores às cultivares testemunhas no conjunto de caracteres avaliados, aliando alta produtividade, estabilidade de produção e adaptabilidade à melhoria nas condições de ambiente.

Palavras-chave adicionais: *Solanum tuberosum* L.; Reml/Blup; interação GxE.**Simultaneous selection for yield, adaptability and stability of potato genotypes****Summary**

The development of potato cultivars adapted to the growing conditions of the Brazilian producing regions is one of the main alternatives to increase the productivity and profitability of the crop for the growers. The aim of this work was to select simultaneously for yield, adaptability and stability of potato genotypes. Six experiments were carried out in two locations of South region of Brazil, during tree growing seasons of 2012 and 2013. Two advanced potato clones (CL02-05 and F63-01-06) developed by Embrapa and two widely grown

* Autor para correspondência. Correspondência eletrônica: arione.pereira@embrapa.br

¹ Pesquisador da Embrapa, Canoinhas, Santa Catarina, Brasil.

² Pesquisador da Embrapa, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

³ Analista da Embrapa, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁴ Pesquisador da Embrapa, Gama, Distrito Federal, Brasil.

cultivars (Agata e Asterix) were evaluated. A randomized complete block design, with three replications, was used. Following harvest, about 110 days after planting, tuber yield traits were evaluated. The data were submitted to individual and joint deviance analysis, adaptability, and stability, through the Reml/Blup methodology. Marketable tuber number, marketable tuber mass, total tuber mass, and average tuber mass had high genetic parameter estimates, indicating favorable situation for selection. Estimates of genetic parameters for marketable tuber number, marketable tuber mass, total tuber mass, and average tuber weight were high, indicating favorable conditions for selection. Clones CL02-05 and F63-01-06 were superior than the check cultivars for the set of evaluated traits, combining high yield, yield stability and adaptability to improved environmental conditions.

Additional key words: *Solanum tuberosum* L., Reml/Blup, GxE interaction.

Introdução

A maioria das variedades de batata (*Solanum tuberosum* L.) cultivadas no Brasil é de origem europeia, as quais sofrem os efeitos adversos das temperaturas mais elevadas e do fotoperíodo mais curto. Estas condições ambientais ocasionam redução do ciclo vegetativo e do potencial produtivo, além de maior pressão de alguns patógenos e pragas (Pinto *et al.* 2010). Para contornar esta falta de adaptação, é utilizada uma elevada quantidade de insumos, aumentando os custos de produção e reduzindo a sustentabilidade econômica e ambiental da cultura.

A obtenção de cultivares adaptadas às condições de cultivo das regiões produtoras brasileiras e resistentes às principais doenças é considerada uma das principais alternativas para aumentar a produtividade e a rentabilidade da cultura para o produtor (Gadum *et al.* 2003). Portanto, estudos que permitam o melhor conhecimento da expressão dos caracteres nas condições ambientais do país e a verificação da potencialidade de clones-elite, são importantes.

É sabido que plantas que produzem elevado número de tubérculos apresentam, geralmente, tubérculos menores (Silva *et al.* 2012). Tanto o número quanto o tamanho dos tubérculos influenciam diretamente o rendimento de tubérculos comerciais (Silva *et al.* 2006). Desta forma, é importante buscar na seleção o

equilíbrio entre número e tamanho de tubérculos.

As plantas têm o desenvolvimento afetado pelos efeitos de genótipo (G), ambiente (E) e da interação entre ambos (GxE), sendo o último efeito o que promove significativas diferenças no desempenho dos genótipos quando estes são cultivados em diferentes condições ambientais. A presença da interação GxE é um complicador nos programas de melhoramento, pois em situação ideal as cultivares deveriam possuir boa adaptabilidade e terem boa estabilidade. Neste sentido, metodologias que incorporam a estabilidade e adaptabilidade em uma única estatística podem ser consideradas superiores em comparação com aquelas que usam apenas a média de produção como critério de seleção (Resende 2007).

A maioria dos métodos para estudos da interação GxE e de adaptabilidade e estabilidade são baseados na análise de variância, ou seja, sobre médias fenotípicas, sendo raros os estudos baseados em modelos mistos, principalmente em plantas. No entanto, uma análise mais completa, utilizando modelos mistos, permite inferências adicionais como: seleção de genótipos produtivos, estáveis e responsivos à melhoria do ambiente (com alta adaptabilidade), e seleção por estes atributos conjuntamente (Sturion e Resende 2005).

A metodologia de adaptabilidade e estabilidade utilizando modelos mistos com o método Reml/Blup baseia-se nas estimativas de que quanto menor for o desvio-padrão do comportamento genotípico entre os ambientes, maior será a média harmônica de seus valores genotípicos através dos ambientes. Assim, a seleção simultânea para produtividade, estabilidade e adaptabilidade, pode ser efetuada no contexto dos modelos mistos, e ser aplicada com qualquer número de ambientes (Resende 2002a).

Em batata, poucos são os trabalhos relatados na literatura sobre adaptabilidade e estabilidade de genótipos em relação a diferentes condições ambientais, sejam estas locais, anos ou safras (Peixoto *et al.* 2002, Souza *et al.* 2007, Pinto *et al.* 2010, Silva *et al.* 2016), mas todos verificaram grandes diferenças quanto à adaptabilidade e estabilidade dos materiais, evidenciando a importância da exploração da interação GxE.

Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar a seleção simultânea quanto à produtividade, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de batata.

Material e métodos

Os experimentos foram realizados nos campos experimentais da Embrapa Produtos e Mercado, Canoinhas, SC (26°10'38" S, 50°23'24" O, 839 m a.n.m.) e da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS (31°40'54" S, 50°23'24" O, 44 m a.n.m.), nas safras de primavera de 2012, outono de 2013 e primavera de 2013. As condições meteorológicas não apresentaram anormalidades para os locais e épocas de cultivo.

As datas de plantio em Canoinhas foram 17/08/2012, 04/02/2013 e 12/08/2013, e em Pelotas, em 23/08/2012, 26/02/2013 e 19/08/2013. Foram avaliados quatro genótipos de batata, sendo dois clones-elite (CL02-05 e F63-01-06) pertencentes ao programa de melhoramento genético da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), e duas cultivares testemunhas amplamente cultivadas no país (Agata e Asterix).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições, sendo a parcela composta de quatro linhas de 25 plantas cada. Foram utilizados tubérculos-semente do tipo II com quatro meses de armazenamento em câmara fria de $4,0 \pm 0,05^\circ\text{C}$, plantados espaçados em 0,75 m entre linhas e 0,35 m dentro da linha. Como fertilizantes foi utilizada a fórmula comercial 04-14-08 (NPK), na dosagem de $2,5 \text{ t ha}^{-1}$. Os tratos culturais e fitossanitários seguiram as recomendações de Pereira (2010). Após a senescência das plantas, aos 110 dias após o plantio, foi realizada a colheita.

Foram avaliados os seguintes caracteres: número de tubérculos comerciais (diâmetro transversal acima de 45 mm) por parcela; número total de tubérculos por parcela; massa de tubérculos comerciais, em $\text{kg} \cdot \text{parcela}^{-1}$; massa total de tubérculos, em $\text{kg} \cdot \text{parcela}^{-1}$; e, massa média de tubérculo, em g, obtida da divisão da massa total pelo número total de tubérculos. Posteriormente, os caracteres medidos pelo número de tubérculos foram transformados

para número m^{-1} e aqueles medidos pela massa dos tubérculos, para t ha^{-1} .

Para cada caráter avaliado, foram realizadas análises de deviance individuais para averiguar a significância dos efeitos, e obtenção das estimativas dos parâmetros genéticos para cada local, e conjunta para a avaliação da interação GxE, adaptabilidade e estabilidade, por meio da metodologia Reml/Blup (máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viesada) (Henderson, 1975).

Para a análise de deviance individual, utilizou-se o modelo: $y = Xr + Zg + e$, em que y é o vetor de dados observados, r é o vetor de efeitos de repetições, g é o vetor dos efeitos genotípicos, e , o vetor de erros e X e Z , matrizes de incidência para os referidos efeitos (Resende, 2002a).

Para a análise de deviance conjunta para safras, utilizou-se o modelo estatístico: $Y = Xr + Zg + Wi + e$, em que: Y é o vetor de dados, r é o vetor dos efeitos de repetição somados à média geral, e contemplam todas as repetições de todos os ambientes, g é o vetor dos efeitos genotípicos, i é o vetor dos efeitos da interação GxE, sendo e o vetor de erros. As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Para avaliação genética pelos maiores valores da média harmônica dos valores genotípicos foi utilizado o método da média harmônica do desempenho relativa dos valores genéticos. Conforme descrito por Resende (2002a), este método consiste em, simultaneamente estimar o desempenho relativo dos valores genotípicos (PRVG) através dos ambientes (adaptabilidade), e ordenar os genótipos pelo maior valor genético (produtividade) e estabilidade pelo procedimento Blup sob médias harmônicas (MHVG). Para o cálculo da PRVG, os valores genotípicos preditos são expressos como proporção da média geral de cada local e, posteriormente obtém-se o valor médio desta proporção

através dos locais. Para o cálculo da MHVG, o vetor de dados Y é considerado como a recíproca dos dados observados. Isso produz resultados que são função da média harmônica dos dados. Quanto menor for o desvio padrão do comportamento genotípico através dos locais, maior será a média harmônica de seus valores genotípicos através dos locais. As análises foram realizadas com o aplicativo computacional Selegen (Resende 2002b).

Resultados e discussão

A análise de deviance individual para Canoinhas revelou diferenças significativas entre os genótipos para todos os caracteres na safra de primavera de 2012 e para a maioria dos caracteres nas safras de outono e primavera de 2013. A exceção foi número total de tubérculos nas safras de outono e primavera de 2013, e massa média de tubérculos na safra de outono de 2013 (Tabela 1). Para Pelotas, nas duas safras de primavera houve diferenças significativas para a maioria dos caracteres avaliados, com exceção do número total de tubérculos em 2013.

Tabela 1. Valores da estatística do teste razão de verossimilhança (LRT) das análises de deviance individuais e parâmetros genéticos de caracteres de rendimento de tubérculos de batata (número de tubérculos comerciais por m² - NTC; massa de tubérculos comerciais em t ha⁻¹ - MTC; número total de tubérculos por m² - NTT; massa total de tubérculos em t ha⁻¹ - MTT; massa média de tubérculo em g - MMT), decorrentes da avaliação de quatro genótipos cultivados em três safras, em Canoinhas, SC, em 2012 e 2013.

Caráter:	NTC	MTC	NTT	MTT	MMT
Ambiente: Canoinhas - safra de primavera de 2012					
Genótipo ¹	5,63 *	10,03 **	7,98 **	5,24 *	9,57 **
Deviance total	40,32	35,71	55,68	36,93	55,74
Variância residual	9,45	4,21	44,20	6,67	40,18
Variância genotípica	28,79	33,11	229,42	18,44	288,36
Variância fenotípica	38,24	37,33	273,62	25,11	328,54
Herdabilidade sentido amplo	0,75	0,89	0,84	0,73	0,88
Herdabilidade média dos clones	0,90	0,96	0,94	0,89	0,96
Acurácia na seleção	0,95	0,98	0,97	0,94	0,98
CV genotípico	34,62	31,03	25,72	11,46	25,24
CV fenotípico	19,83	11,07	11,28	6,89	9,42
CV genotípico/CV fenotípico	1,74	2,80	2,28	1,66	2,68
Média geral	15,50	18,54	58,89	37,46	67,28
Ambiente: Canoinhas - safra de outono de 2013					
População ¹	4,49 *	6,00 *	0,07	8,45 **	2,84
Deviance total	36,79	37,98	41,88	35,01	61,53
Variância residual	6,96	7,08	22,16	4,31	125,77
Variância genotípica	15,78	23,61	2,36	24,67	170,18
Variância fenotípica	22,75	30,70	24,52	28,99	295,96
Herdabilidade sentido amplo	0,70	0,76	0,10	0,85	0,57
Herdabilidade média dos clones	0,87	0,91	0,24	0,94	0,80
Acurácia na seleção	0,93	0,95	0,49	0,97	0,89
CV genotípico	23,15	29,24	3,04	17,47	11,56
CV fenotípico	15,37	16,02	9,31	7,30	9,93
CV genotípico/CV fenotípico	1,50	1,82	0,33	2,39	1,16
Média geral	17,16	16,62	50,56	28,44	112,89
Ambiente: Canoinhas - safra de primavera de 2013					
População ¹	7,12 **	11,00 **	0,01	5,82 *	8,55 **
Deviance total	48,82	44,86	66,19	56,74	63,67
Variância residual	21,88	11,12	361,83	57,80	103,43
Variância genotípica	94,08	101,02	1,04	184,11	604,27
Variância fenotípica	115,96	112,15	362,87	241,91	707,70
Herdabilidade sentido amplo	0,81	0,90	0,001	0,76	0,85
Herdabilidade média dos clones	0,93	0,96	0,001	0,90	0,95
Acurácia na seleção	0,96	0,98	0,09	0,95	0,97
CV genotípico	35,75	46,13	0,97	26,27	24,81
CV fenotípico	17,24	15,30	18,15	14,72	10,26
CV genotípico/CV fenotípico	2,07	3,01	0,05	1,78	2,42
Média geral	27,12	21,79	104,79	51,65	99,09

¹Valores de LRT; *,** Significativo 0,05 e 0,01 de probabilidade do erro, respectivamente, pelo teste χ^2 com 1 grau de liberdade.

Na safra de outono, apenas para os caracteres massa de tubérculos comerciais e massa média de tubérculos foi possível

verificar diferenças significativas entre os genótipos (Tabela 2).

Tabela 2. Valores da estatística do teste razão de verossimilhança (LRT) das análises de deviance individuais e parâmetros genéticos de caracteres de rendimento de tubérculos de batata (número de tubérculos comerciais por m² - NTC; massa de tubérculos comerciais em t ha⁻¹ - MTC; número total de tubérculos por m² - NTT; massa total de tubérculos em t ha⁻¹ - MTT; massa média de tubérculo em g - MMT), decorrentes da avaliação de quatro genótipos cultivados em três safras, em Pelotas, RS, em 2012 e 2013.

Caráter:	NTC	MTC	NTT	MTT	MMT
Ambiente: Pelotas - safra de primavera de 2012					
Genótipo ¹	9,33 **	9,11 **	5,87 *	5,19 *	8,13 **
Deviance total	47,39	35,94	55,72	35,96	56,70
Variância residual	16,12	4,58	51,33	6,02	49,04
Variância genotípica	110,37	29,99	166,05	16,40	262,51
Variância fenotípica	126,50	34,57	217,38	22,42	311,55
Herdabilidade sentido amplo	0,87	0,87	0,76	0,73	0,84
Herdabilidade média dos clones	0,95	0,95	0,91	0,89	0,94
Acurácia na seleção	0,98	0,97	0,95	0,94	0,97
CV genotípico	59,91	71,10	16,81	25,17	37,27
CV fenotípico	22,90	27,80	9,35	15,25	16,11
CV genotípico/CV fenotípico	2,62	2,56	1,80	1,65	2,31
Média geral	17,53	7,70	76,64	16,09	43,47
Ambiente: Pelotas - safra de outono de 2013					
População ¹	0,01	5,60 *	0,01	0,46	4,00 *
Deviance total	46,94	32,24	59,33	36,34	63,83
Variância residual	42,50	3,86	168,06	10,54	152,66
Variância genotípica	0,21	11,66	1,14	3,28	258,23
Variância fenotípica	42,71	15,52	169,20	13,82	410,89
Herdabilidade sentido amplo	0,01	0,75	0,01	0,24	0,63
Herdabilidade média dos clones	0,01	0,90	0,02	0,48	0,83
Acurácia na seleção	0,12	0,94	0,14	0,69	0,91
CV genotípico	1,53	19,85	2,10	8,85	19,07
CV fenotípico	21,86	11,42	25,45	15,86	14,66
CV genotípico/CV fenotípico	0,07	1,74	0,08	0,56	1,30
Média geral	29,82	17,20	50,92	20,47	84,26
Ambiente: Pelotas - safra primavera de 2013					
População ¹	5,32 *	9,88 **	0,58	5,92 *	7,37 **
Deviance total	48,22	35,38	58,96	38,25	53,51
Variância residual	23,26	4,10	126,78	7,35	36,19
Variância genotípica	65,57	31,30	46,33	24,00	164,67
Variância fenotípica	88,83	35,39	173,12	31,35	200,86
Herdabilidade sentido amplo	0,74	0,88	0,27	0,76	0,82
Herdabilidade média dos clones	0,89	0,96	0,52	0,91	0,93
Acurácia na seleção	0,94	0,98	0,72	0,95	0,96
CV genotípico	31,98	45,59	9,04	24,97	24,42
CV fenotípico	19,09	16,50	14,96	13,82	11,45
CV genotípico/CV fenotípico	1,68	2,76	0,60	1,81	2,13
Média geral	25,32	12,27	75,28	19,62	52,55

¹Valores de LRT; *,** Significativo 0,05 e 0,01 de probabilidade do erro, respectivamente, pelo teste χ^2 com 1 grau de liberdade.

A ausência de diferenças significativas para número total de tubérculos na maioria dos ambientes indica semelhança dos genótipos quanto a este caráter, e não pela precisão experimental, conforme verificado pela pequena proporção da variância de ordem genética na variância fenotípica e a boa precisão evidenciada pelos coeficientes de variação fenotípica (CV_f).

Com exceção do caráter número total de tubérculos, a relação entre o coeficiente de variação genotípica (CV_g) e o CV_f foi superior à unidade para quase todos os caracteres em todos os ambientes - com exceção para número de tubérculos comerciais e massa total de tubérculos em Pelotas na safra de primavera de 2013, indicando que a variação de ordem genética superou a ambiental e que a seleção baseada nestes caracteres seria eficiente (Tabelas 1 e 2). Considerando que o rendimento de tubérculos de batata é um caráter quantitativo e que normalmente sofre grande influência ambiental (Silva *et al.*, 2006), observou-se que este experimento teve adequada precisão experimental. A superioridade do valor do CV_g para caracteres relacionados ao rendimento de tubérculos de batata também foi verificada por Silva *et al.* (2012) para os caracteres número de tubérculos comerciais, massa de tubérculos comerciais, número total de tubérculos, massa total de tubérculos e massa média de tubérculos, enquanto para a produção de tubérculos por planta, Simon *et al.* (2009) verificaram valores variando de 0,72 a 0,82.

O grande efeito de ordem genética no fenótipo pode ser confirmado também pela observação das magnitudes das variâncias genotípicas em comparação com as variâncias fenotípicas e residuais; pela acurácia na seleção em cada ambiente, que superou 90% para a maioria dos caracteres; e pelo coeficiente de herdabilidade no sentido amplo, que no caso de batata (propagação assexuada) explora os efeitos

aditivos, de dominância e epistáticos; este coeficiente foi superior a 70% para a maioria dos caracteres que foram significativos em diferenciar os genótipos avaliados (Tabelas 1 e 2).

A adequada precisão experimental pode também ser atestada pela herdabilidade média dos clones, ou herdabilidade para a média genotípica, que foi elevada para todos os caracteres significativos, indicando junto com a acurácia seletiva, que as condições ambientais proporcionariam grande progresso genético com a seleção (Tabelas 1 e 2). O valor da acurácia da seleção, que é a raiz quadrada da herdabilidade média dos clones, evidencia alta precisão nas inferências dos valores genotípicos, indicando que a condução experimental foi apropriada para a caracterização dos genótipos superiores (Resende, 2002a).

Verifica-se interação de GxE significativa e de medianos valores para os caracteres número de tubérculos comerciais, massa de tubérculos comerciais e massa média de tubérculos, conforme observado pela proporção da variância da interação na variância fenotípica total, refletindo no coeficiente de determinação da interação, que variou de 16 a 25%, e pela correlação genética entre ambientes que variou de 65 a 79% para estes caracteres (Tabela 3). Apesar de significativa, a interação GxE para número total de tubérculos apresentou reduzido coeficiente de determinação da interação (2%) e a correlação entre ambientes foi bastante alta (95%), indicando que a interação para este caráter pode ter sido do tipo simples. Para massa total de tubérculos, apesar da reduzida correlação entre ambientes (37%), o efeito da interação não foi significativo.

Tabela 3. Valores da estatística do teste razão de verossimilhança (LRT) da análise de deviance conjunta e parâmetros genéticos de caracteres de rendimento de tubérculos de batata (número de tubérculos comerciais por m² - NTC; massa de tubérculos comerciais em t ha⁻¹ - MTC; número total de tubérculos por m² - NTT; massa total de tubérculos em t ha⁻¹ - MTT; massa média de tubérculo em g - MMT), decorrentes da avaliação de quatro genótipos cultivados em seis ambientes (dois locais x três safras), em 2012 e 2013.

Efeito	Caráter de rendimento				
	NTC	MTC	NTT	MTT	MMT
Genótipo ¹	29,15 **	54,88 **	3,78	32,78 **	36,86 **
Genótipo x Ambiente ¹	8,77 **	12,68 **	7,33 **	3,17	14,71 **
Variância genotípica	33,74	27,50	55,24	16,84	231,31
Variância da interação	18,06	10,95	2,77	28,31	60,06
Variância residual	20,69	5,82	145,38	15,45	84,55
Variância fenotípica	72,49	44,28	203,39	60,60	375,92
Coefficiente de determinação da interação	0,25	0,25	0,02	0,47	0,16
Correlação genética entre ambientes	0,65	0,71	0,95	0,37	0,79
Herdabilidade média dos clones	0,89	0,92	0,87	0,75	0,94
Herdabilidade sentido amplo	0,46	0,62	0,27	0,28	0,62
Acurácia na seleção	0,94	0,96	0,93	0,87	0,97
CV fenotípico	20,60	15,39	17,34	13,57	12,00
Média geral	22,08	15,69	69,52	28,95	76,59

¹Valores de LRT; *,** Significativo 0,05 e 0,01 de probabilidade do erro, respectivamente, pelo teste χ^2 com 1 grau de liberdade.

Os elevados valores da acurácia na seleção e herdabilidade na média dos clones, proporcionados pelas condições experimentais, que possibilitaram a expressão da variância genética, indicam confiabilidade na realização das inferências. Enquanto os reduzidos valores da herdabilidade no sentido amplo, relativa aos efeitos genotípicos livres da interação com o ambiente na análise conjunta, reforçam a importância do estudo da interação GxE para maximizar os ganhos na seleção dos clones; e como a interação foi decorrente da falta de correlação entre os tratamentos genéticos de um ano para outro, com exceção para número total de tubérculos, conforme discutido anteriormente, indica a importância de se estudar também sua adaptabilidade e estabilidade (Rosado *et al.*, 2012). Neste caso há a possibilidade de realizar seleção livre dos efeitos da interação através dos valores genéticos e genotípicos, ou capitalizar os resultados da interação para selecionar genótipos produtivos e mais estáveis frente a variações dos diferentes ambientes, ou mais responsivos à melhoria nas condições ambientais (maior

adaptabilidade), e ainda para estes três atributos simultaneamente. Isso é possibilitado pelo emprego de modelos mistos como o Reml/Blup.

Segundo Bastos *et al.* (2007), os valores genotípicos por serem livres da interação e os valores da adaptabilidade e estabilidade dos valores genotípicos por serem penalizados pela instabilidade e capitalizados pela adaptabilidade, podem ser extrapolados para outras condições de ambiente, neste caso, locais e safras.

Para os caracteres número de tubérculos comerciais, massa de tubérculos comerciais e massa média de tubérculos, os genótipos com maiores valores genotípicos, livres da interação, foram os clones CL02-05 e F63-01-06, contribuindo respectivamente com o aumento na média geral de 4,81 e 4,18 tubérculos comerciais por metro quadrado, 5,10 e 3,30 t ha⁻¹ de tubérculos comerciais, e de 4,41 e 0,53 t ha⁻¹ na produção total de tubérculos, respectivamente. Os valores genotípicos preditos, ou seja, a média geral capitalizada pelos valores genotípicos seria de 26,89 e 26,26 tubérculos comerciais por metro quadrado, 20,79 e 18,98 t ha⁻¹ de

tubérculos comerciais e de 33,37 e 29,48 t ha⁻¹ na produção total de tubérculos, respectivamente. Como os clones CL02-05 e F63-01-06 foram superiores às cultivares para número de tubérculos comerciais, caso o CL02-05 fosse selecionado, contribuiria com um ganho na mesma proporção do seu valor genotípico, o equivalente a 4,81 tubérculos comerciais por metro quadrado, e a nova média geral seria mantida em seu valor máximo predito 26,89. Porém, caso o F63-01-06 fosse incluído na seleção para este caráter, o ganho seria de 4,50 tubérculos comerciais por metro quadrado e a nova média estimada seria de 26,57. Este valor é obtido pelo cálculo da média entre a nova média predita para o genótipo superior, neste caso o clone CL02-05 (26,89) e o valor genotípico predito para o clone F63-01-06 (26,26). Da mesma forma, para os caracteres massa de tubérculos comerciais e massa média de tubérculos, a seleção do clone CL02-05 proporcionaria o máximo valor genotípico predito para a nova média,

20,79 t ha⁻¹ de tubérculos comerciais e 33,37 t ha⁻¹ de produção total de tubérculos; e caso o clone F63-01-06 também fosse selecionado, a média predita passaria para 19,89 t ha⁻¹ de tubérculos comerciais e 31,43 t ha⁻¹ de produção total de tubérculos.

Considerando a interação média dos ambientes, que equivale ao valor genotípico médio de todos os ambientes, pode-se verificar que para estes mesmos caracteres (número de tubérculos comerciais, massa de tubérculos comerciais e massa total de tubérculos), os clones CL02-05 e F63-01-06 tiveram os maiores valores, 27,32 e 26,63 tubérculos comerciais por metro quadrado; 21,13 e 19,20 t ha⁻¹ de tubérculos comerciais; e, 34,60 e 29,63 t ha⁻¹ na produção total de tubérculos, respectivamente, apresentando além de elevado valor genotípico, bom desempenho frente às condições ambientais consideradas no cálculo da interação (Tabela 4).

Tabela 4. Valores genotípicos (VG), valores genotípicos preditos (u+g), ganhos e nova média com a seleção, valor genotípico médio (u+g+gem), valores genotípicos capitalizados pela estabilidade (MHVG), adaptabilidade dos valores genotípicos (PRVG), valores genotípicos médios capitalizados pela adaptabilidade (PRVG*MG), adaptabilidade e estabilidade dos valores genotípicos (MHPRVG) e valores genotípicos médios capitalizando a estabilidade e a adaptabilidade (MHPRVG*MG), decorrentes da avaliação de quatro genótipos de batata em seis ambientes (dois locais x três safras) e três safras, em 2012 e 2013, para número de tubérculos comerciais, massa de tubérculos comerciais, número total de tubérculos, massa total de tubérculos e massa média de tubérculo.

Genótipo	VG	u+g	Ganho	Nova média	u+g+gem	MHVG	PRVG	PRVG*MG	MHPRVG	MHPRVG*MG
Número de tubérculos comerciais										
Agata	-6,62	15,46	0,00	22,08	14,86	13,41	0,67	14,71	0,65	14,35
Asterix	-2,37	19,70	2,21	24,28	19,49	16,36	0,85	18,82	0,82	18,08
CL02-05	4,81	26,89	4,81	26,89	27,32	26,24	1,26	27,83	1,24	27,43
F63-01-06	4,18	26,26	4,50	26,57	26,63	25,07	1,22	26,95	1,20	26,53
Massa de tubérculos comerciais										
Agata	-5,67	10,02	0,00	15,69	9,64	6,93	0,59	9,23	0,54	8,45
Asterix	-2,73	12,96	1,89	17,58	12,78	9,04	0,78	12,17	0,72	11,28
CL02-05	5,10	20,79	5,10	20,79	21,13	18,86	1,35	21,24	1,33	20,89
F63-01-06	3,30	18,98	4,20	19,89	19,20	18,45	1,28	20,11	1,25	19,61
Número total de tubérculos										
Agata	0,66	70,18	3,12	72,64	70,18	65,76	1,01	70,25	1,01	70,24
Asterix	7,30	76,81	7,30	76,81	76,87	72,74	1,11	77,36	1,11	77,32
CL02-05	1,42	70,93	4,36	73,87	70,95	66,50	1,02	71,02	1,02	71,02
F63-01-06	-9,37	60,14	0,00	69,52	60,06	55,00	0,86	59,44	0,85	59,35
Massa total de tubérculos										
Agata	-4,20	24,75	0,00	28,95	23,58	18,64	0,80	23,09	0,78	22,49
Asterix	-0,74	28,21	1,40	30,35	28,01	24,14	0,97	28,19	0,97	28,13
CL02-05	4,41	33,37	4,41	33,37	34,60	28,23	1,17	33,93	1,16	33,61
F63-01-06	0,53	29,48	2,47	31,43	29,63	26,64	1,06	30,61	1,05	30,29
Massa média de tubérculo										
Agata	-15,13	61,46	0,00	76,59	60,81	50,60	0,77	59,24	0,76	58,48
Asterix	-9,78	66,81	5,04	81,63	66,38	56,98	0,85	65,32	0,85	64,97
CL02-05	9,48	86,07	12,45	89,04	86,48	77,12	1,13	86,44	1,12	86,14
F63-01-06	15,43	92,02	15,43	92,02	92,69	86,86	1,24	95,35	1,23	94,46

Considerando a estabilidade dos valores genotípicos (MHVG) para os caracteres

número de tubérculos comerciais, massa de tubérculos comerciais e massa total de

tubérculos, verifica-se que os clones CL02-05 e F63-01-06 foram mais estáveis que as cultivares testadas frente às condições de ambiente, e se a seleção fosse realizada por este critério, os valores genotípicos preditos seriam de 26,24 e 25,07 tubérculos comerciais por metro quadrado; 18,86 e 18,45 t ha⁻¹ de tubérculos comerciais; e, 28,23 e 26,64 t ha⁻¹ na produção total de tubérculos, respectivamente, valores pouco inferiores aos genotípicos preditos, devido à penalização pela adaptabilidade. Ao observar a adaptabilidade dos valores genotípicos para os mesmos caracteres, observa-se que da mesma forma que para a MHVG, os genótipos CL02-05 e F63-01-06 se destacam em relação aos demais, mostrando respostas positivas à melhoria no ambiente, e se estes fossem selecionados por este critério proporcionariam um valor genotípico estimado de 27,83 e 26,95 tubérculos comerciais por metro quadrado; 21,24 e 20,11 t ha⁻¹ de tubérculos comerciais; e, 33,93 e 30,61 t ha⁻¹ na produção total de tubérculos, respectivamente, valores superiores à MHVG, indicando que estes clones se destacaram mais em relação à estabilidade do que na adaptabilidade. Ao observar conjuntamente a estabilidade e a adaptabilidade dos valores genotípicos para número de tubérculos comerciais, massa de tubérculos comerciais e massa total de tubérculos, verifica-se que os mesmos clones, CL02-05 e F63-01-06, apresentaram os maiores valores, e isso se refletiu no cálculo dos valores genotípicos médios capitalizados pela estabilidade e adaptabilidade (Tabela 4).

Portanto, para os caracteres número de tubérculos comerciais, massa de tubérculos comerciais e massa total de tubérculos, verifica-se que os clones CL02-05 e F63-01-06 se destacaram em relação aos demais tanto eliminando o efeito da interação quanto capitalizando os efeitos

da adaptabilidade e da estabilidade, principalmente a estabilidade. Ambos tiveram bom desempenho com a eliminação dos efeitos da interação GxE, e por este critério poderiam ser recomendados para o plantio em regiões semelhantes aos locais avaliados independente das condições ambientais de safras; e seriam estáveis e responsivos aos estímulos da melhoria do ambiente, caso se optasse por selecionar capitalizando os efeitos da interação GxE. O inverso foi verificado para as cultivares Agata e Asterix, que se mostraram responsivos à melhoria do ambiente, porém pouco produtivas e pouco estáveis, dificultando uma maior previsibilidade de seus desempenhos (Tabela 4).

O rendimento total de tubérculos, na média dos experimentos, foi de 28,95 t.ha⁻¹. Comparando-se com resultados da literatura com 'Agata', que é a cultivar de batata mais plantada no país, verifica-se que este rendimento é semelhante aos relatados. Fernandes *et al.* (2011), em São Paulo, na safra de inverno, obtiveram produtividade de 37,26 t ha⁻¹ para 'Agata'. Da mesma forma, Silva *et al.* (2012), na safra de outono no Rio Grande do Sul, obtiveram 23,2 t ha⁻¹, enquanto Carmo *et al.* (2009), com experimentos realizados em Minas Gerais, verificaram rendimentos variando de 24,0 a 27,1 t ha⁻¹, para 'Agata'. Devido a estas constatações, verifica-se que os materiais e métodos utilizados neste estudo, bem como as condições ambientais, possibilitaram a expressão do potencial de rendimento dos genótipos.

Silva *et al.* (2012) avaliaram o clone CL02-05 nas condições de outono em Pelotas e verificaram que a massa total de tubérculos foi de 34,53 t ha⁻¹, muito semelhante aos potenciais 33,61 t ha⁻¹ estimados pelo presente trabalho; a massa de tubérculos comerciais foi um pouco superior, 33,22 t ha⁻¹, apesar do número de

tubérculos comerciais ter sido menor, 19,06 tubérculos m^{-1} , devido ao fato da massa média de tubérculos ter sido maior, 126,88 g tubérculo $^{-1}$. Os autores também verificaram superioridade deste clone em relação à ‘Agata’ e ‘Asterix’ para estes caracteres.

Em relação ao número total de tubérculos, apesar de não ter apresentado diferenças significativas entre os tratamentos na análise de deviance, verifica-se que depois de desinflacionado do efeito da interação GxE, que foi significativa, a cultivar Asterix apresentou os maiores valores genotípico e boa estabilidade e principalmente resposta ao incremento do número de tubérculos com a melhoria nas condições ambientais. O contrário foi verificado para o clone F63-01-06, que apresentou os menores valores genotípicos para este caráter. Porém, quando se observa o desempenho dos genótipos para a massa média de tubérculos, nota-se que o maior valor genotípico foi obtido pelo clone F63-01-06, com incremento de 15,43 g tubérculo $^{-1}$ na média geral, e este também se mostrou responsivo à melhoria nas condições ambientais (Tabela 4). Geralmente, plantas que apresentam elevado número de tubérculos produzem tubérculos menores (Rodrigues e Pereira, 2003; Silva *et al.*, 2012), por isso é importante haver um equilíbrio entre número e tamanho dos tubérculos, como é o caso deste clone.

Desta forma, pode-se verificar que os caracteres número de tubérculos comerciais, massa de tubérculos comerciais, massa total de tubérculos e massa média de tubérculos apresentaram elevadas estimativas de parâmetros genéticos, indicando situação favorável à seleção. A interação GxE significativa para a maioria dos caracteres avaliados indica a importância da avaliação da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos de batata. Os clones CL02-05 e F63-01-06 foram superiores às cultivares Agata e Asterix para o conjunto de caracteres avaliados

nestes experimentos, aliando boa produtividade, estabilidade de produção e adaptabilidade à melhoria nas condições de ambiente. Devido à superioridade destes clones avançados em relação às cultivares avaliadas, que são plantadas em larga escala no país, verifica-se que estes têm potencial para serem avaliados em outras condições de ambiente visando o lançamento como futuras cultivares. O clone F63-01-06 caracteriza-se por apresentar menor número total de tubérculos, porém de tamanho maior do que as principais cultivares plantadas no país. A metodologia Reml/Blup é eficiente na identificação de genótipos de batata produtivos, estáveis e responsivos à melhoria do ambiente.

Conflitos de interesse

Esta pesquisa não apresenta conflitos de interesse.

Referências citadas

- Bastos, I.T.; Barbosa, M.H.P.; Resende, M.D.V. de; Peternelli, L.A.; Silveira, L.C.I. da; Donda, L.R.; Fortunato, A.A.; Costa, P.M. de A.; Figueiredo, I.C.R. de. (2007). Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. *Pesq. Agropec. Trop.* 37:195-203.
- Carmo, E.L.; Pádua, J.G.; Dias, J.P.T.; Duarte, H.S.S.; Duarte Filho, J.; Leonel, M. (2009). Desempenho de cultivares nacionais e estrangeiras de batata em duas condições ambientais do Sul de Minas Gerais. *Hort. Bras.* 27: S3352-S3358 (Resumo).
- Fernandes, A.M.; Soratto, R.P.; Evangelista, R.M.; Silva, B.L.; Souza-Schlick, G.D. de. (2011). Produtividade e esverdeamento pós-colheita de tubérculos de cultivares de batata produzidos na safra de inverno. *Rev. Ciên. Agron.* 42:502-508.
- Gadum, J.; Pinto, C.A.B.P.; Rios, M.C.D. (2003). Desempenho agrônomico e reação de clones de batata (*Solanum tuberosum*

- L.) ao PVY. Ciênc. Agrotecnol. 27:1484-1492.
- Henderson, C.R. 1975. Best linear estimation and prediction under a selection model. Biometrics 31:423-447.
- Peixoto, N.; Filgueira, F.A.R.; Melo, P.E.; Buso, J.A.; Monteiro, J.D.; Braz, L.T.; Purquerio, L.F.V.; Hamasaki, R.I. (2002). Seleção de clones de batata para microclimas de altitude no Planalto Central. Hort. Bras. 20:438-441.
- Pereira, A. da S. (org.). (2010). Produção de batata no Rio Grande do Sul. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil. 95 p.
- Pinto, C.A.B.P.; Teixeira, A.L.; Neder, D.G.; Araújo, R.R.; Soares, A.R.O.; Ribeiro, G.H.M.R.; Lepre, A.L. (2010). Potencial de clones elite de batata como novas cultivares para Minas Gerais. Hort. Bras. 28:399-405.
- Resende, M.D.V. (2002a). Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF, Brasil. 975 p.
- Resende, M.D.V. (2002b). Software Selegen-REML/BLUP. Embrapa Florestas, Curitiba. 67 p.
- Resende, M.D.V. de. (2007). SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. Embrapa Florestas, Colombo, PR, Brasil. 359 p.
- Rodrigues, A.F.S; Pereira, A. da S. (2003). Correlações inter e intragerações e herdabilidade de cor de chips, matéria seca e produção em batata. Pesq. Agropec. Bras. 38:599-604.
- Rosado, A.M.; Rosado, T.B.; Alves, A.A.; Laviola, B.G.; Bhering, L.L. (2012). Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. Pesq. Agropec. Bras. 47:964-971.
- Silva, G.O.; Castro, C.M.; Terres, L.R.; Rohr, A.; Suinaga, F.A.; Pereira, A.S. (2012). Desempenho agrônomico de clones elite de batata. Hort. Bras. 30:557-560.
- Silva, G.O.; Souza, V.Q.; Pereira, A. da S.; Carvalho, F.I.F.; Fritsche-Neto, R. (2006). Early generation selection for tuber appearance affects potato yield components. Crop Breed. Appl. Biotechnol. 6:73-78.
- Silva, G.O.; Carvalho, A.D.F. de; Souza, Z.S.; Ponijaleki, R.S.; Pereira, A. da S. (2016). Desempenho genotípico de clones de batata via modelos mistos. Agraria 11:259-266.
- Simon, G.A.; Pinto, C.A.B.P.; Lambert, E. de S.; Andreu, M.A. (2009). Seleção de clones de batata resistentes à pinta preta e tolerantes ao calor. Ceres 56:31-37.
- Souza, V.Q.; Pereira, A. da S.; Silva, G.O. da; Fritsche-Neto, R.; Oliveira, A.C. de. (2007). Consistency of two stability analysis methods in potatoes. Ciênc. Rural 37:656-661.
- Sturion, J.A.; Resende, M.D.V. de. (2005). Seleção de progênies de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) para a produtividade, estabilidade e adaptabilidade temporal de massa foliar. Bol. Pesq. Fl. 50:37-51.