

Formação de população base para seleção recorrente em maracujazeiro-amarelo com uso de índices de seleção

Juan Paulo Xavier de Freitas⁽¹⁾, Eder Jorge de Oliveira⁽¹⁾, Onildo Nunes de Jesus⁽¹⁾, Alírio José da Cruz Neto⁽²⁾ e Leandro Ribeiro dos Santos⁽²⁾

⁽¹⁾Embrapa Mandioca e Fruticultura, Rua Embrapa, s/nº, Caixa Postal 007, CEP 44380-000 Cruz das Almas, BA. E-mail: juanagronomia@hotmail.com, eder@cnpmf.embrapa.br, onildo@cnpmf.embrapa.br ⁽²⁾Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Rua Rui Barbosa, nº 710, Centro, CEP 44380-000 Cruz das Almas, BA. E-mail: alirioneto@hotmail.com, lribeiro40@gmail.com

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar índices de seleção para a identificação de parentais, para uso na seleção recorrente de maracujazeiro-amarelo. Foram avaliados 43 acessos quanto a 18 características agrônômicas, entre as quais a produtividade, a massa de frutos, o teor de sólidos solúveis, o rendimento de polpa e a resistência a doenças foram consideradas as principais. A seleção direta, o índice de seleção distância genótipo-ideótipo, Smith & Hazel e soma de postos de Mulamba & Mock foram as estratégias de seleção avaliadas. As médias da maioria das características principais e seus valores de herdabilidade e amplitude indicaram a possibilidade de se obterem ganhos genéticos pela seleção. Altos ganhos genéticos foram obtidos com a seleção direta, porém com perdas indesejáveis em outras características importantes. Foi possível obter ganhos preditos de forma equilibrada, para as 18 características, com uso da soma de postos e do desvio-padrão genético como peso econômico. Os ganhos genéticos variaram de 2,47 a 10,33%, quanto ao rendimento de polpa e à produtividade, respectivamente, e houve redução da severidade da maioria das doenças avaliadas. A aplicação dos índices de seleção, para a escolha de parentais de ampla base genética, é uma alternativa viável mesmo com a presença de correlações indesejáveis.

Termos de indexação: *Passiflora edulis* f. *flavicarpa*, biometria, germoplasma, melhoramento.

Development of a base population for recurrent selection in yellow passion fruit using selection indexes

Abstract – The objective of this work was to evaluate selection indexes to identify parents to be used in the recurrent selection of yellow passion fruit. Forty-three germplasm accessions were evaluated for 18 agronomic traits, from which productivity, fruit mass, total soluble solids, pulp yield and resistance to diseases were considered as the primary ones. Direct selection, genotype-ideotype distance index, Smith & Hazel index and the sum of ranks of Mulamba & Mock were the selection strategies evaluated. The means for most of the main traits, and their heritability and amplitude values indicated the possibility to obtain genetic gains by selection. High genetic gains were achieved by direct selection, but with undesirable losses in other important traits. Using the genetic standard deviation as economic weight, the sum of ranks selection index made possible balanced predicted gains for the 18 traits. The genetic gains ranged from 2.47 to 10.33%, for productivity and pulp yield, respectively, and there was a severity reduction in most of the evaluated diseases. The utilization of selection indexes for choosing parentals with wide genetic basis to be used in recurrent selection programs of yellow passion fruit is a viable alternative, even when undesirable correlations are present.

Index terms: *Passiflora edulis* f. *flavicarpa*, biometric analysis, germplasm, breeding.

Introdução

O maracujazeiro-amarelo, também conhecido como maracujá-azedo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.), representa 95% da área plantada com essa cultura no Brasil. O maracujazeiro é uma cultura tipicamente brasileira, com produção estimada no país de aproximadamente 920 mil toneladas e área de 62 mil hectares (Instituto Brasileira de Geografia e

Estatística, 2010). Apesar disso, a produtividade média nacional – de 14,78 Mg ha⁻¹ – é considerada baixa, em relação ao potencial de mais de 48 Mg ha⁻¹ (Freitas et al., 2011). Esta baixa produtividade ocorre, em grande parte, por causa de práticas de cultivo inadequadas e da reduzida disponibilidade de variedades melhoradas.

O maracujazeiro é nativo do Brasil e, por isso, exibe variabilidade genética suficiente para o

desenvolvimento de novas variedades. Além da produtividade e da estabilidade de produção em diferentes ambientes, características do fruto, como tamanho e massa, espessura da casca, rendimento de polpa e teor de sólidos solúveis totais, também devem ser consideradas nos programas de melhoramento do maracujazeiro. A tolerância às principais pragas e doenças da cultura também é uma característica fundamental a se observar durante a seleção. A seleção simultânea destas características, para ganhos adequados e equilibrados, é um grande desafio para os programas de melhoramento, tendo-se em vista que a maioria delas apresenta herança quantitativa e, por isso, sofre forte influência ambiental; além disso, essas características costumam ser correlacionadas, de tal forma que a seleção em uma delas provoca uma série de mudanças em outras (Cruz & Carneiro, 2006).

A seleção baseada em uma ou poucas características normalmente é considerada inadequada, por permitir a seleção efetiva apenas para as características sob seleção (Martins et al., 2003; Cruz & Carneiro, 2006). Dessa forma, o uso de estratégias que permitam a seleção simultânea de um conjunto de caracteres de maior importância econômica pode aumentar o êxito dos programas de melhoramento. Neste sentido, a aplicação dos índices de seleção permite combinar múltiplas informações contidas nas unidades experimentais, o que possibilita a seleção com base em um complexo de variáveis que reúnem vários atributos de interesse. Mesmo atributos negativamente correlacionados, que podem surgir de ligações genéticas ou pleiotropia (Santos et al., 2007), podem apresentar pequenos ganhos genéticos simultâneos com o emprego dos índices de seleção. Esses índices permitem a utilização de um único valor para efetuar a seleção dos genótipos, uma vez que a análise é realizada por meio de combinações lineares dos dados fenotípicos dos diversos caracteres em estudo, cujos coeficientes de ponderação são estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice e os valores genéticos verdadeiros (Garcia & Souza Júnior, 1999; Cruz et al., 2004). O objetivo é a obtenção de valores agregados de maior confiabilidade, para se garantir a melhoria do valor genotípico populacional e o consequente sucesso no processo de seleção. A utilização de índices de seleção em maracujazeiro tem sido realizada em progênies de meios-irmãos (Oliveira et al., 2008; Santos et al., 2008; Silva et al., 2009) e de irmãos completos (Gonçalves et al., 2007),

com o intuito de melhorar a média populacional quanto aos atributos agronômicos de interesse.

De acordo com Meletti et al. (2000), vários são os métodos de melhoramento aplicáveis ao maracujazeiro com o objetivo de aumentar a frequência de alelos favoráveis ou da exploração do vigor híbrido. Entretanto, a seleção recorrente tem sido utilizada no maracujazeiro como alternativa efetiva de capitalização de ganhos genéticos (Silva et al., 2009; Reis et al., 2011). Em teoria, a seleção recorrente permite o aumento gradual da frequência de alelos favoráveis, sem reduzir a variabilidade genética da população. Entretanto, a constituição da população base para o início do programa é que determina o sucesso da seleção recorrente ao longo do tempo.

A identificação de genótipos superiores, que atendam aos interesses do mercado em relação a uma série de atributos agronômicos, é um ponto de partida para a constituição da população base. Neste sentido, os trabalhos de avaliação do germoplasma de maracujazeiro revelam o grande potencial agronômico de alguns genótipos (Freitas et al., 2011). Entretanto, observa-se que a maioria das características de interesse comercial está presente em diferentes genótipos.

Este trabalho teve como objetivo avaliar índices de seleção de maracujazeiro, com alta diversidade genética de atributos agronômicos, para a formação de uma população base em programa de seleção recorrente, com alto potencial produtivo e de qualidade de frutos.

Material e Métodos

Foram avaliados 43 acessos de maracujazeiro-amarelo, do Banco de Germoplasma (BAG-Maracujá) da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas (BA). O ensaio foi instalado no setor de campos experimentais (12°48'38"S e 39°06'26"W). Utilizou-se o delineamento de blocos aumentados, com quatro repetições e parcela de dez plantas. Os tratamentos não comuns foram constituídos por 38 acessos, e os tratamentos comuns por quatro seleções de maracujazeiro-amarelo (A17, B20, J20, M17) e uma variedade comercial (BRS Gigante Amarelo – BRSGA). O espaçamento utilizado foi de 2,6 m entre linhas e 3,7 m entre plantas. O sistema de condução utilizado foi espaldeira vertical, com um fio de arame liso nº 12, a 2 m de altura do solo.

Os frutos foram colhidos de fevereiro a junho de 2010. Para cada acesso, foram avaliados dez frutos,

colhidos aleatoriamente na parcela com base nas seguintes características: massa de frutos, em g (MF); comprimento dos frutos, em cm (CF); diâmetro dos frutos, em cm (DF); espessura da casca, em mm (EC); massa da casca, em g (MC); massa da polpa, em g (MP); rendimento de polpa, em porcentagem (Rend), obtido pela razão entre a massa do fruto e a massa da casca; teor de sólidos solúveis totais, em °Brix (SST), determinado por refratometria, por meio de um refratômetro portátil; acidez total titulável (ATT), expressa em gramas de ácido cítrico por 100 g de suco (ATT); razão entre SST e ATT (Ratio). Os caracteres relacionados à produção foram: número de frutos por planta (NF) e produtividade ($Mg\ ha^{-1}$) (Prod).

Em relação às doenças, foram avaliados: a severidade da virose, por meio dos sintomas nas folhas (VIFO), com uso de escala de notas (1, folha sem sintoma de mosaico; 2, folha com mosaico leve e sem deformações foliares; 3, folha com mosaico leve, bolhas e deformações foliares; e 4, folha com mosaico severo, bolhas e deformações foliares); os sintomas nos frutos (VIFR) (1, fruto normal, sem deformação; 2, fruto ligeiramente deformado, com ou sem manchas; e 3, fruto totalmente deformado com manchas e forte endurecimento dos frutos); e a sua distribuição na planta (VIPL) (1, planta pouco infectada, com sintomas leves de mosaico, com pouco enrugamento das folhas; 2, planta medianamente infectada, com sintomas de mosaico e enrugamento das folhas; e 3, planta severamente infectada, com sintomas de mosaico e enrugamento severo das folhas). Também foram avaliadas a severidade da verrugose nos frutos (VEFR) e nos ramos (VERA), além de a severidade da antracnose nos frutos (ANFR), tendo-se utilizado a seguinte escala de notas: 1, ausência de sintomas; 2, até 10% da superfície do fruto/ramo coberto com lesões; 3, de 11 a 30% da superfície do fruto/ramo coberto com lesões; e 4, acima de 31% da superfície do fruto/ramo coberto com lesões.

Para a utilização dos índices de seleção, os pesos econômicos e ganhos desejados foram estabelecidos a partir dos próprios dados experimentais. Três critérios foram adotados como pesos econômicos: as estimativas de coeficiente de variação genético (CVg), o desvio-padrão genético (DPg) e os pesos aleatórios (PA) de 5 (Rend e SST) a 10 (Prod e MF). Quanto aos caracteres secundários, foram adotados valores iguais a 1. Na seleção dos 18 melhores genótipos e obtenção das estimativas dos progressos genéticos, utilizaram-

se os seguintes critérios: seleção direta; índice da distância genótipo-ideótipo (IDGI), proposto por Cruz (2006); índice clássico (Smith & Hazel), proposto por Smith (1936) e Hazel (1943); e índice baseado na soma de postos, descrito por Mulamba & Mock (1978).

O ganho por seleção direta foi estimado pela expressão $GS = (\bar{X}_s - \bar{X}_o) h^2$, em que: GS é o ganho esperado com a seleção, expresso em porcentagem da média; \bar{X}_s é a média dos indivíduos selecionados para o caráter *i*; \bar{X}_o é a média da população original para o caráter *i*; h^2 é o coeficiente de herdabilidade no sentido amplo.

O índice clássico, proposto por Smith (1936) e Hazel (1943), consiste numa combinação linear de vários caracteres de importância econômica, cujos coeficientes de ponderação são estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice e o agregado genotípico. Este é estabelecido por combinação linear que inclui os valores genéticos, os quais são ponderados por seus respectivos valores econômicos. Todavia, o índice da distância genótipo-ideótipo, descrito por Cruz (2006), utiliza valores fenotípicos médios transformados e o valor ótimo a ser apresentado pelo genótipo sob seleção, os quais são posteriormente padronizados e ponderados pelos pesos atribuídos a cada característica.

O índice de Mulamba & Mock (1978) consiste em classificar os genótipos em relação a cada um dos caracteres, em ordem favorável ao melhoramento (postos), por meio da atribuição de valores absolutos mais elevados àqueles de melhor desempenho. Em seguida, os valores atribuídos a cada característica são somados, para se obter a soma de postos que mostra a classificação dos genótipos (Cruz & Carneiro, 2006).

Todos os caracteres relacionados foram avaliados no sentido de acréscimo do caráter, quando relacionados a frutos, com exceção das características EC, MC e aquelas relacionadas a doenças. O Programa Genes (Cruz, 2006) foi utilizado para a realização das análises estatísticas.

Resultados e Discussão

A herdabilidade para as características avaliadas variou de 32,46% (ANFR) a 98,51% (NF), e a maioria delas foi de média a alta magnitude (Tabela 1), o que favorece o processo de seleção, tendo-se em vista que a maior parte da variação observada nos genótipos foi de origem genética. Os menores

valores de herdabilidade foram observados quanto às características relacionadas às doenças, principalmente ANFR, VIPL e VERA ($h^2 < 48,60\%$). Altos valores de herdabilidade no sentido amplo, quanto ao número de frutos (92%) e ao comprimento de frutos (83%), foram obtidos por Viana et al. (2004). Oliveira et al. (2008) observaram herdabilidade próxima a 50% para MF, CF e NF. Os poucos trabalhos sobre a herdabilidade do maracujazeiro quanto à resistência a doenças, dificultam a comparação dos resultados. Entretanto, as estimativas de h^2 , que variaram de 48,60 a 63,27% para VERA e VEFR, respectivamente, são bem maiores do que os 20,77%, observados por Santos et al. (2008), e equivalentes aos 44,68% relatados por Negreiros et al. (2004).

Foi observada alta variação nos dados quantitativos analisados (Tabela 1), o que certamente contribuiu para a formação de uma população base com alta variabilidade e com potencial genético para obtenção de ganhos rápidos e constantes, ao longo dos ciclos de seleção recorrente a serem implementados.

Observaram-se diversas correlações significativas e positivas entre as características NF x (Prod, Ratio e

ANFR); Prod x (VIFO, VIPL, VEFR e ANFR); MF x (CF, DF, EC, MC, MP e ATT); CF x (DF, EC, MC e MP); DF x (EC, MC, MP e ATT); EC x (MC, MP e ATT); MC x (MP e ATT); MP x (ATT e Ratio); SST x Ratio; e VIFO x (VIPL, VIFR e VEFR). Mesmo com magnitudes medianas (0,32 a 0,46), essas correlações mostram que, à medida que aumenta o potencial produtivo dos genótipos, há tendência de aumento nas doenças, à exceção de VERA (Tabela 2). Aparentemente, há relação direta entre vigor vegetativo e suscetibilidade a doenças. Santos et al. (2008) também observaram correlação positiva existente entre vigor e incidência de verrugose.

Maior massa dos frutos acarretou aumento em suas dimensões, especialmente na espessura e massa da casca, que são componentes que diminuem o rendimento de suco dos frutos de maracujazeiro e, por isso, considerados aspectos indesejáveis no melhoramento. Observações semelhantes foram feitas por Oliveira et al. (2008), na análise de progênies de meios-irmãos. Isto mostra que essas correlações são estáveis, independentemente da origem genética do material. Também se observaram correlações significativas entre a severidade da VIFO e a maioria das outras doenças avaliadas, à exceção de VERA e ANFR.

Correlações significativas e negativas foram observadas entre as características NF x (MF, CF, DF, EC, MC, MP e ATT); Prod x VERA; MF x Ratio; ATT x Ratio; (DF, EC e MC) x (Rend, Ratio). Como esperado, o aumento no diâmetro, na espessura e na massa da casca do fruto tendem a reduzir o rendimento de polpa e o Ratio. Correlações negativas e positivas indicam que, quando se pratica a seleção em uma característica, obtém-se uma alta resposta correlacionada em outra, o que pode se tornar um problema quando o sentido da seleção não é o mesmo (Paula et al., 2002).

No presente trabalho, as características Prod, MF, SST, Rend e aquelas relacionadas às doenças foram consideradas como características principais no processo de seleção. Assim, com o uso da seleção direta, os maiores ganhos genéticos foram observados em Prod e NF. A média melhorada com a seleção direta (Tabela 3), para estas duas características, foi bem superior à média da população original de 30,02 Mg ha⁻¹ e 488,91 frutos, respectivamente). Entretanto, os indivíduos selecionados com foco apenas na produtividade de frutos apresentam baixas

Tabela 1. Estimativas de herdabilidade no sentido amplo (h^2), amplitude dos dados e média da população original (\bar{X}_0), referentes à análise de 43 genótipos de maracujazeiro-amarelo, quanto a 18 características agrônômicas.

Característica ⁽¹⁾	h^2	Mínimo	Máximo	Média (\bar{X}_0)
Número de frutos	98,51	146,51	1145,07	488,91
Produtividade de frutos (Mg ha ⁻¹)	75,48	12,78	49,69	30,02
Massa de frutos (g)	75,90	70,32	273,64	159,67
Comprimento de frutos (cm)	82,95	5,51	9,43	7,77
Diâmetro de frutos (cm)	66,96	5,42	9,11	7,18
Espessura da casca (mm)	66,25	4,91	9,56	7,08
Massa da casca (g)	88,75	33,83	146,80	83,83
Massa da polpa (g)	80,07	20,96	79,33	50,99
Rendimento (%)	79,68	21,74	39,14	32,19
Sólidos solúveis totais (%)	63,17	11,05	15,30	12,83
Acidez titulável total (g por 100 g)	59,00	2,41	4,62	3,65
Ratio	72,89	2,58	5,84	3,65
VIFO	71,60	32,25	84,75	59,17
VIPL	45,35	33,00	73,00	49,99
VIFR	52,63	31,33	86,00	56,23
VEFR	63,27	43,50	86,50	65,20
VERA	48,60	27,50	86,50	50,38
ANFR	32,46	26,75	100,00	63,82

⁽¹⁾VIFO; VIFR e VIPL, severidade da virose nas folhas e frutos, e sua distribuição na planta, respectivamente; VEFR e VERA, severidade de verrugose nos frutos e ramos; ANFR, severidade da antracnose nos frutos.

estimativas para as características MF, CF, DF, MP, SST e Rend, e aumento quanto à severidade das doenças, de 1,88% para VIFR a 5,20% para VIPL. Apesar dos resultados satisfatórios para Prod com a seleção direta, Cruz et al. (2004) relatam que a seleção com base em uma única característica mostra-se inadequada, pois conduz a um produto final superior com relação à característica em seleção, mas que pode levar a desempenhos não tão favoráveis nas demais.

Os ganhos estimados pelo índice de Mulamba & Mock (Tabela 3), com uso dos três pesos econômicos, mostraram superioridade na estimativa do ganho total, quando se usou o coeficiente de variação genético (CVg) como peso econômico para características relacionadas a doenças e MF; porém, Prod e Rend ficaram abaixo da média geral. Quando se utilizou o desvio-padrão genético (DPg) como peso econômico, observou-se redução na severidade das doenças, e ganhos satisfatórios em Prod, MF, Rend e SST, tendo havido um melhor equilíbrio na distribuição dos ganhos para a maioria das características de interesse. Com a utilização dos pesos econômicos aleatórios (PA), observaram-se maiores ganhos genéticos em Prod, MF, Rend e SST (12,32, 9,38, 3,52 e 1,41%, respectivamente), porém, houve aumento na severidade de todas as doenças, exceto VERA (-1,90%).

No caso do índice da distância genótipo-ideótipo, a utilização de CVg e PA como pesos econômicos proporcionaram os mesmos ganhos, pelo fato de ambos selecionarem os mesmos genótipos para recombinação (Tabela 4). O uso do DPg como peso econômico possibilitou a maior redução na severidade das doenças do maracujazeiro, com variação de -2,95% (ANFR) a -7,26% (VIFO). Entretanto, houve redução de -5,79% em Prod e pequenos ganhos em MF (5,33%), Rend (1,08%) e SST (0,67%). Estes resultados não corroboram as observações de Oliveira et al. (2008), na análise de progênies de meios-irmãos de maracujazeiro-amarelo, em que o índice da distância genótipo-ideótipo possibilitou a obtenção de ganhos de: 24,55% para MF; 4,79 para Rend; 12,34% para CF; 13,88% para DF e 12,61% para NF. A discrepância nos resultados provavelmente deveu-se à diferença entre os materiais genéticos utilizados nos trabalhos.

Com a metodologia de Smith & Hazel, os ganhos genéticos com uso de CVg e DPg foram semelhantes (Tabela 4). Os ganhos para Prod foram de 16,18 e 14,11% para CVg e DPg, respectivamente, porém os genótipos selecionados por esta metodologia conduziram a perdas em MF. Quando se utilizou PA como peso econômico, observaram-se ganhos positivos em Prod e MF simultaneamente, assim como em Rend e SST. De todas as metodologias, a de Smith & Hazel,

Tabela 2. Estimativas de correlação fenotípica, na análise de 43 genótipos de maracujazeiro-amarelo, quanto a 18 características agronômicas.

Característica ⁽¹⁾	Prod	MF	CF	DF	EC	MC	MP	Rend	SST	ATT	Ratio	VIFO	VIPL	VIFR	VEFR	VERA	ANFR
NF	0,54**	-0,68**	-0,61**	-0,72**	-0,44**	-0,73**	-0,57**	0,14	-0,08	-0,39**	0,40**	0,37*	0,25	0,03	0,03	-0,19	0,46**
Prod		-0,10	-0,02	-0,13	-0,06	-0,20	0,03	0,12	-0,02	0,03	-0,02	0,36*	0,39**	0,04	0,32*	-0,30*	0,46**
MF			0,88**	0,90**	0,57**	0,95**	0,88**	-0,20	0,01	0,36*	-0,41**	-0,17	0,00	0,15	0,17	0,21	-0,20
CF				0,79**	0,45**	0,84**	0,87**	-0,01	0,08	0,22	-0,20	-0,06	-0,01	0,16	0,17	0,07	-0,19
DF					0,67**	0,93**	0,75**	-0,31*	-0,02	0,42**	-0,44**	-0,19	-0,02	0,10	0,01	0,04	-0,34
EC						0,66**	0,35*	-0,39**	0,13	0,44**	-0,40**	0,09	0,15	0,03	0,07	0,09	-0,24
MC							0,78**	-0,31*	-0,02	0,37*	-0,41**	-0,22	-0,07	0,08	0,09	0,15	-0,29
MP								0,24	0,04	0,36*	0,37*	-0,10	0,10	0,24	0,13	0,13	-0,14
Rend									0,09	0,01	0,03	0,13	0,17	0,15	0,18	-0,04	0,00
SST										0,09	0,31*	0,10	-0,09	-0,01	0,02	0,21	-0,04
ATT											-0,82**	-0,04	0,16	0,11	0,22	0,23	-0,23
Ratio												0,13	-0,18	-0,03	-0,13	-0,24	0,23
VIFO													0,45**	0,32*	0,33*	-0,11	0,10
VIPL														0,26	0,26	-0,09	0,05
VIFR															0,13	0,10	-0,15
VEFR																0,18	0,18
VERA																	-0,19

⁽¹⁾NF, número de frutos; Prod, produtividade de frutos; MF, massa de frutos; CF, comprimento dos frutos; DF, diâmetro dos frutos; EC, espessura da casca; MC, massa da casca; MP, massa da polpa (PP); Rend, rendimento de polpa; SST, sólidos solúveis totais; ATT, acidez total titulável; Ratio, razão entre SST/ATT; VIFO; VIFR e VIPL, severidade da virose nas folhas; frutos e distribuição na planta, respectivamente; VEFR e VERA, severidade de verrugose nos frutos e ramos; ANFR, severidade da antracnose nos frutos. **e *Significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste t.

com uso de PA, proporcionou o maior ganho em MF. Apesar disso, esta metodologia não possibilitou a redução na severidade da maioria das doenças, o que constitui numa característica indesejável para a formação da população base para a seleção recorrente.

Martins et al. (2006) verificaram a eficiência do uso dos índices de seleção, em uma população de *Eucalyptus grandis*, mas também não obtiveram uma distribuição de ganhos equilibrados com uso do índice clássico. Em estudos com maracujazeiro-amarelo, Gonçalves et al. (2007) e Santos et al. (2008) também relataram que o índice de Smith & Hazel apresenta menor ganho predito para as características sob seleção. No entanto, Granate et al. (2002), ao comparar ganhos na seleção simultânea de caracteres de importância em milho-pipoca, concluíram que os ganhos preditos com este índice foram superiores aos preditos com outros índices.

As estimativas dos ganhos genéticos, independentemente do critério de seleção empregado, foram sempre maiores para Prod, MF, MC e MP,

quando comparadas às outras características (Tabelas 3 e 4). Provavelmente em razão das maiores amplitudes dos dados para estas características (Tabela 1). Quando se utilizou o índice de Smith & Hazel e DPg como peso econômico, houve ganhos expressivos em NF e Prod, ou seja 51,05 e 14,11%, respectivamente. Entretanto, nesta situação, houve forte redução em MF (-14,89%), o que é altamente indesejável para o mercado de frutas in natura.

Em relação à característica Prod, comumente a de maior importância para os melhoristas, nenhum dos índices apresentou valor de ganho individual superior ao da seleção direta. Entretanto, a seleção com base em índices tem como vantagem a possibilidade de obtenção de ganhos mais bem distribuídos em todas as características em análise, de forma que o ganho total seja maior. Na avaliação do equilíbrio nos ganhos em características principais, constatou-se a superioridade do índice de Mulamba & Mock. Este resultado corrobora os de Gonçalves et al. (2007) e Silva et al. (2009), em que esse índice foi

Tabela 3. Estimativas da média da população selecionada (\bar{X}_s) e dos ganhos percentuais (GS), com base no diferencial de seleção, por seleção simultânea de 18 características agronômicas, em genótipos de maracujazeiro-amarelo, tendo-se utilizado a seleção direta e o índice de seleção de Mulamba & Mock, com o coeficiente de variação genética (CVg), o desvio-padrão genético (DPg) e pesos aleatórios (PA) como pesos econômicos.

Característica ⁽¹⁾	Mulamba & Mock							
	CVg		DPg		PA		Seleção direta	
	\bar{X}_s	GS (%)	\bar{X}_s	GS (%)	\bar{X}_s	GS (%)	\bar{X}_s	GS (%)
Número de frutos	373,76	-23,20	477,38	-2,32	487,53	-0,28	621,91	26,80
Produtividade de frutos (Mg ha ⁻¹)	29,82	-0,50	34,13	10,33	34,92	12,32	38,69	21,80
Massa de frutos (g)	185,16	12,12	178,81	9,10	179,40	9,38	153,76	-2,81
Comprimento de frutos (cm)	8,32	5,84	8,28	5,40	8,23	4,83	7,69	-0,85
Diâmetro de frutos (cm)	7,69	4,77	7,49	2,93	7,49	2,90	7,07	-1,02
Espessura da casca (mm)	7,57	4,60	7,19	0,97	7,19	1,02	7,14	0,52
Massa da casca (g)	101,14	18,33	93,77	10,52	93,19	9,92	77,02	-7,20
Massa da polpa (g)	57,99	10,98	58,84	12,32	59,79	13,80	50,57	-0,67
Rendimento (%)	31,49	-1,75	33,19	2,47	33,61	3,52	32,42	0,55
Sólidos solúveis totais (%)	13,27	2,15	12,91	0,38	13,12	1,41	12,94	0,53
Acidez titulável total (g por 100 g)	3,81	2,64	3,67	0,42	3,76	1,90	3,77	1,99
Ratio	3,59	-1,31	3,64	-0,25	3,61	-0,99	3,59	-1,25
VIFO	56,90	-2,74	57,17	-2,42	59,83	0,80	62,97	4,60
VIPL	47,45	-2,31	49,63	-0,33	51,48	1,35	55,72	5,20
VIFR	53,89	-2,19	56,17	-0,06	59,79	3,34	58,24	1,88
VEFR	63,96	-1,20	65,04	-0,15	67,76	2,49	68,68	3,38
VERA	50,35	-0,04	46,97	-3,29	48,42	-1,90	47,92	-2,38
ANFR	60,63	-1,63	63,25	-0,29	65,86	1,04	69,93	3,11

⁽¹⁾VIFO; VIFR e VIPL, severidade da virose nas folhas e frutos, e sua distribuição na planta, respectivamente; VEFR e VERA, severidade de verrugose nos frutos e ramos; ANFR, severidade da antracnose nos frutos.

superior aos demais, na análise de progênes de maracujazeiro-amarelo.

No presente trabalho, foram testados pesos aleatórios e econômicos até que se chegasse a um patamar de ganhos preditos como satisfatórios, ou seja, o mais perto possível do ganho direto em Prod, sem que ocorresse queda em outros caracteres. Cruz (1990) considerou o uso do coeficiente de variação genética como peso mais apropriado na predição de ganhos em milho. Apesar disso, Granate et al. (2002) e Gonçalves et al. (2007), que trabalharam com milho-pipoca e maracujazeiro, respectivamente, não obtiveram distribuição de ganhos positivos em relação a todos os caracteres, quando utilizaram o CVg como peso econômico. Apesar desses resultados, Cruz et al. (2004) argumentam que o coeficiente de variação genética apresenta propriedades interessantes nesses casos, pois é adimensional e diretamente proporcional à variabilidade genética presente na população. No presente trabalho, o uso do coeficiente de variação genética foi testado como peso para os índices, mas mostrou-se inadequado, pois apresentou ganhos pequenos e, em alguns caracteres, ganhos negativos.

De forma geral, os índices de seleção visam, sobretudo, a melhorar gradativamente as frequências dos alelos favoráveis para o conjunto de características de maior importância agrônômica, o que os torna úteis nos programas de seleção recorrente e permite a obtenção de populações com melhor valor genotípico (Garcia & Souza Júnior, 1999). Portanto, a utilização de índices de seleção na escolha de genótipos de maracujazeiro-amarelo com ampla base genética e alto potencial produtivo, é de grande interesse para a formação de uma população base para a seleção recorrente.

Independentemente da espécie, há redução na variabilidade genética após alguns ciclos de seleção recorrente, geralmente em virtude da redução no tamanho da população (Hallauer, 1971). Essa perda na variabilidade genética, ao longo dos diversos ciclos de seleção, recombinação e avaliação, pode ser mensurada com uso de componentes de variância genética (Santos et al., 2005) e informações moleculares (Reis et al., 2011). Para o estudo do maracujazeiro-amarelo, Silva et al. (2009) utilizaram a seleção recorrente como alternativa de capitalização de ganhos genéticos, para aumentar a

Tabela 4. Estimativas da média da população selecionada (\bar{X}_s) e dos ganhos percentuais (GS), com base no diferencial de seleção, por seleção simultânea de 18 características agrônômicas, em genótipos de maracujazeiro-amarelo, tendo-se utilizado os índices de seleção genótipo-ideótipo e o de Smith & Hazel, com o coeficiente de variação genético (CVg), o desvio-padrão genético (DPg) e pesos aleatórios (PA) como pesos econômicos.

Característica ⁽¹⁾	Índice distância genótipo-ideótipo						Smith & Hazel					
	CVg		DPg		PA		CVg		DPg		PA	
	\bar{X}_s	GS (%)	\bar{X}_s	GS (%)	\bar{X}_s	GS (%)	\bar{X}_s	GS (%)	\bar{X}_s	GS (%)	\bar{X}_s	GS (%)
Número de frutos	450,81	-7,68	329,50	-32,12	450,81	-7,68	672,12	36,92	742,25	51,05	455,76	-6,68
Produtividade de frutos (Mg ha ⁻¹)	34,97	12,44	27,72	-5,79	34,97	12,44	36,45	16,18	35,63	14,11	32,84	7,10
Massa de frutos (g)	177,25	8,36	170,89	5,33	177,25	8,36	151,04	-4,10	128,34	-14,89	193,83	16,24
Comprimento de frutos (cm)	8,16	4,17	8,03	2,78	8,16	4,17	7,78	0,09	7,17	-6,38	8,40	6,71
Diâmetro de frutos (cm)	7,47	2,70	7,52	3,18	7,47	2,70	7,01	-1,53	6,57	-5,63	7,63	4,18
Espessura da casca (mm)	7,48	3,71	7,13	0,47	7,48	3,71	7,00	-0,77	6,65	-4,08	7,31	2,18
Massa da casca (g)	93,83	10,59	92,51	9,20	93,83	10,59	76,78	-7,46	61,89	-23,22	102,09	19,34
Massa da polpa (g)	57,72	10,55	55,02	6,32	57,72	10,55	50,23	-1,20	42,81	-12,85	62,17	17,54
Rendimento (%)	32,54	0,87	32,63	1,08	32,54	0,87	33,04	2,09	32,53	0,84	32,64	1,11
Sólidos solúveis totais (%)	13,29	2,23	12,97	0,67	13,29	2,23	12,93	0,46	12,86	0,13	12,98	0,70
Acidez titulável total (g por 100 g)	3,87	3,55	3,71	1,05	3,87	3,55	3,54	-1,75	3,51	-2,24	3,79	2,32
Ratio	3,51	-2,91	3,58	-1,41	3,51	-2,91	3,83	3,42	3,89	4,65	3,50	-3,17
VIFO	61,40	2,70	53,17	-7,26	61,40	2,70	62,19	3,66	63,50	5,24	60,99	2,20
VIPL	51,46	1,33	45,08	-4,46	51,46	1,33	53,30	3,00	53,67	3,33	51,46	1,33
VIFR	56,61	0,35	50,15	-5,69	56,61	0,35	55,85	-0,36	58,29	1,93	60,91	4,38
VEFR	69,22	3,91	59,44	-5,58	69,22	3,91	65,39	0,19	67,22	1,96	71,39	6,01
VERA	50,83	0,43	46,44	-3,80	50,83	0,43	48,00	-2,30	49,50	-0,85	53,15	2,67
ANFR	67,01	1,62	58,03	-2,95	67,01	1,62	68,64	2,45	70,25	3,27	66,44	1,34

⁽¹⁾VIFO; VIFR e VIPL, severidade da virose nas folhas e frutos, e sua distribuição na planta, respectivamente; VEFR e VERA, severidade de verrugose nos frutos e ramos; ANFR, severidade da antracnose nos frutos.

eficiência do processo seletivo, por permitir o ganho genético em duas das três etapas de seleção recorrente (geração e teste de progênies). Nesta mesma população, Reis et al. (2011) estimaram a variabilidade genética e o impacto da seleção recorrente nas progênies selecionadas, via alterações nas frequências alélicas com uso de marcadores microssatélites, e indicaram que as pequenas perdas de variabilidade e alterações nas frequências alélicas podem ser consideradas normais, quando se pratica a seleção. Contudo, as análises moleculares das populações dos dois ciclos não mostraram variabilidade genética expressiva entre os genótipos avaliados, o que pode ser explicado pela baixa variabilidade das populações originais (Reis et al., 2011).

Com intuito de evitar o possível estreitamento da base genética, logo nos primeiros ciclos de seleção, sobretudo para as características de maior peso na seleção como Prod, MF, SST, Rend e as de resistência a doenças, devem-se utilizar acessos de germoplasma com alta divergência fenotípica em todas as características em análise, para se iniciar a população base para a seleção recorrente.

Conclusões

1. A seleção direta possibilita a obtenção de altos ganhos genéticos em produtividade e massa de frutos, mas perdas indesejáveis no rendimento de polpa e em sólidos solúveis totais, e aumento na severidade de doenças, o que dificulta seu uso como critério de seleção em maracujazeiro.

2. Independentemente do índice de seleção utilizado, a avaliação de diferentes pesos aleatórios e econômicos é necessária para a obtenção de ganhos genéticos satisfatórios e equilibrados nas características agrônômicas do maracujazeiro.

3. O uso do índice de Mulamba & Mock, quando se considera o desvio-padrão genético como peso econômico, proporciona ganhos simultâneos satisfatórios em produtividade, massa de frutos, rendimento de polpa e teor de sólidos solúveis totais, e redução na severidade das doenças; portanto, ele pode ser considerado o melhor índice de seleção para o conjunto de genótipos avaliados.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento

Científico e Tecnológico e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo auxílio financeiro e concessão de bolsas.

Referências

CRUZ, C.D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. 1990. 188p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CRUZ, C.D. **Programa Genes**: biometria. Viçosa: UFV, 2006. 382p.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2006. 585p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2004. 480p.

FREITAS, J.P.X. de; OLIVEIRA, E.J. de; CRUZ NETO, A.J. da; SANTOS, L.R. dos. Avaliação de recursos genéticos de maracujazeiro-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1013-1020, 2011.

GARCIA, A.A.F.; SOUZA JÚNIOR, C.L. de. Comparação de índices de seleção não paramétricos para a seleção de cultivares. **Bragantia**, v.58, p.253-267, 1999.

GONÇALVES, G.M.; PIO VIANA, A.; BEZERRA NETO, F.V.; PEREIRA, M.G.; PEREIRA, T.N.S. Seleção e herdabilidade na predição de ganhos genéticos em maracujá-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.193-198, 2007.

GRANATE, M.J.; CRUZ, C.D.; PACHECO, C.A.P. Predição de ganho genético com diferentes índices de seleção no milho-pipoca CMS-43. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1001-1008, 2002.

HALLAUER, A.R. Changes in genetic variance for seven plant and ear traits after four cycles of reciprocal recurrent selection for yield in maize. **Iowa State Journal of Science**, v.45, p.575-593, 1971.

HAZEL, L.N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, v.28, p.476-490, 1943.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SIDRA**: sistema IBGE de recuperação automática. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1613&z=t&o=11>>. Acesso em: 1 dez. 2011.

MARTINS, I.S.; MARTINS, R. de C.C.; PINHO, D. dos S. Alternativas de índices de seleção em uma população de *Eucalyptus grandis* Hill ex Malden. **Revista Cerne**, v.12, p.287-291, 2006.

MARTINS, M.R.; OLIVEIRA, J.C. de; DI MAURO, A.O.; SILVA, P.C. da. Avaliação de populações de maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* Curtis) obtidas de polinização aberta. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, p.111-114, 2003.

MELETTI, L.M.M.; SANTOS, R.R. dos; MINAMI, K. Melhoramento do maracujazeiro amarelo: obtenção do composto IAC-27. **Scientia Agricola**, v.56, p.491-498, 2000.

MULAMBA, N.N.; MOCK, J.J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for

- plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v.7, p.40-51, 1978.
- NEGREIROS, J.R. da S.; BRUCKNER, C.H.; CRUZ, C.D.; SIQUEIRA, D.L. de; PIMENTEL, L.D. Seleção de progênies de maracujazeiro-amarelo vigorosas e resistentes à verrugose (*Cladosporium cladosporioides*). **Revista Brasileira Fruticultura**, v.26, p.272-275, 2004.
- OLIVEIRA, E.J. de; SANTOS, V. da S.; LIMA, D.S. de; MACHADO, M.D.; LUCENA, R.S.; MOTTA, T.B.N.; CASTELLEN, M. da S. Seleção em progênies de maracujazeiro amarelo com base em índices multivariados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1543-1549, 2008.
- PAULA, R.C. de; PIRES, I.E.; BORGES, R. de C.G.; CRUZ, C.D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.159-165, 2002.
- REIS, R.V. dos; OLIVEIRA, E.J. de; VIANA, A.P.; PEREIRA, T.N.S.; PEREIRA, M.G.; SILVA, M.G. de M. Diversidade genética em seleção recorrente de maracujazeiro-amarelo detectada por marcadores microssatélites. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.51-57, 2011.
- SANTOS, C.E.M. dos; PISSIONI, L.L.M.; MORGADO, M.A.D.; CRUZ, C.D.; BRUCKNER, C.H. Estratégias de seleção em progênies de maracujazeiro amarelo quanto ao vigor e incidência de verrugose. **Revista Brasileira Fruticultura**, v.30, p.444-449, 2008.
- SANTOS, F.S.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; FREITAS JÚNIOR, S. de P.; RANGEL, R.M.; PEREIRA, M.G. Predição de ganhos genéticos por índices de seleção na população de milho-pipoca UNB-2U sob seleção recorrente. **Bragantia**, v.66, p.389-396, 2007.
- SANTOS, M.F.; MORO, G.V.; AGUIAR, A.M.; SOUZA JUNIOR, C.L. de. Responses to reciprocal recurrent selection and changes in genetic variability in IG-1 and IG-2 maize populations. **Genetics and Molecular Biology**, v.28, p.781-788, 2005.
- SILVA, M.G. de M.; VIANA, A.P.; GONÇALVES, G.M.; AMARAL JÚNIOR, A.T. do; PEREIRA, M.G. Seleção recorrente intrapopulacional no maracujazeiro amarelo: alternativa de capitalização de ganhos genéticos. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.170-176, 2009.
- SMITH, H.F. A discriminant function for plant selection. **Annals of Human Genetics**, v.7, p.240-250, 1936.
- VIANA, A.P.; PEREIRA, T.N.S.; PEREIRA, M.G.; AMARAL JÚNIOR, A.T. do; SOUZA, M.M. de; MALDONADO, J.F.M. Parâmetros genéticos em populações de maracujazeiro-amarelo. **Revista Ceres**, v.51, p.541-551, 2004.

Recebido em 2 de dezembro de 2011 e aprovado em 14 de fevereiro de 2012