

Estimativa de repetibilidade para caracteres de qualidade de frutos de laranja-doce

Jacson Rondinelli da Silva Negreiros⁽¹⁾, Romeu de Carvalho Andrade Neto⁽¹⁾, Daniela Popim Miqueloni⁽¹⁾ e Lauro Saraiva Lessa⁽¹⁾

⁽¹⁾Embrapa Acre, Rodovia BR 364, Km 14, CEP 69900-056 Rio Branco, AC, Brasil. E-mail: jacson.negreiros@embrapa.br, romeu.andrade@embrapa.br, danimique@yahoo.com.br, lauro.lessa@embrapa.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi determinar o coeficiente de repetibilidade de características de qualidade do fruto de laranja-doce (*Citrus sinensis*) e o número mínimo de avaliações capaz de proporcionar níveis de certeza da predição do valor real dos genótipos. Foram avaliados, em cinco safras, 39 genótipos de laranja-doce, coletados em nove municípios do Estado do Acre. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. Foram avaliados: massa média de frutos, rendimento de suco, espessura de casca, sólidos solúveis (SS), acidez total (AT), relação SS/AT e índice tecnológico. Para a estimativa dos coeficientes de repetibilidade, foram utilizados os métodos da análise de variância, dos componentes principais e da análise estrutural. Todos os caracteres avaliados mostraram variabilidade, exceto o rendimento de suco. Os caracteres avaliados mostraram padrão cíclico, o que foi mais bem captado pelas metodologias multivariadas de estimativa do coeficiente de repetibilidade. São necessárias 15 avaliações para determinar, com 90% de certeza, os caracteres espessura de casca e sólidos solúveis, e 11, 6, 3, 2 e 1 avaliações, respectivamente para massa média de fruto, acidez total, índice tecnológico, rendimento de suco e relação SS/AT.

Termos para indexação: *Citrus sinensis*, análise multivariada, índice tecnológico, melhoramento genético, rendimento de suco, sólidos solúveis.

Repeatability estimates for fruit quality characters of sweet orange

Abstract – The objective of this work was to determine the repeatability coefficient of fruit quality characteristics of sweet orange (*Citrus sinensis*) and the minimum number of evaluations that can provide levels of prediction certainty of the true genotype value. Thirty nine genotypes of sweet orange, collected in nine municipalities of the state of Acre, Brazil, were evaluated in five crop cycles. A randomized complete block design was used, with three replicates. The following were evaluated: average fruit weight, juice yield, peel thickness, soluble solids (SS), total acidity (TA), SS/TA ratio, and technological index. To estimate the repeatability coefficients, the methods of analysis of variance, principal component analysis, and structural analysis were used. All evaluated characters showed variability, except for juice yield. The evaluated characters showed a cyclic pattern, which was best captured by the multivariate methodologies for estimating the repeatability coefficient. Fifteen evaluations are needed to determine, with 90% certainty, the characters peel thickness and soluble solids, and 11, 6, 3, 2, and 1 evaluations, respectively for average fruit weight, total acidity, technological index, juice yield, and SS/TA ratio, respectively.

Index terms: *Citrus sinensis*, multivariate analysis, technological index, plant breeding, juice yield, soluble solids.

Introdução

A laranja é considerada o grupo mais importante das frutas cítricas cultivadas e corresponde a cerca de dois terços de toda a produção mundial de citros (Gondim et al., 2001). No Brasil, anualmente são colhidos aproximadamente 18 milhões de toneladas de laranja, o que torna o país o maior exportador do produto, responsável por 80% da produção mundial de suco de laranja concentrado (Santos et al., 2013).

No Estado do Acre, a citricultura representa a segunda maior área cultivada com frutíferas, com 47,83% da área total, atrás apenas da cultura da banana. Em 2010, o Estado apresentou área colhida de laranja de 385 ha, aproximadamente 0,05% do montante nacional (775.881 ha), com produção de 5,4 mil toneladas (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013). Já em 2011, a produção caiu para 4,7 mil toneladas, em 331 ha. Esse decréscimo foi potencialmente motivado pelo declínio de alguns pomares, ocasionado

principalmente pela idade das plantas. No entanto, a demanda pelo produto é crescente, e o Acre importou aproximadamente 423 toneladas de outros estados, principalmente de São Paulo, o maior produtor do país (Boletim de preços de produtos agropecuários e florestais do Estado do Acre, 2013).

Essa defasagem recorrente tem estimulado estudos com a laranjeira-doce [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] no Estado. A Embrapa iniciou as pesquisas com a cultura no Acre em 1989, com o objetivo de introduzir novas variedades e estudar a potencialidade dos genótipos locais. Assim, em 1997, foi lançada e recomendada a cultivar de laranja Aquiri, e recomendadas as cultivares Natal e Valência (Ledo et al., 1996).

A introdução e a avaliação de germoplasma, com posterior seleção de plantas com características desejáveis e adaptadas é o método mais rápido e eficaz para a obtenção de cultivares superiores. Dessa forma, novas expedições de coleta foram realizadas por Gondim et al. (2001), em alguns municípios do interior do Acre. Os genótipos selecionados vêm sendo avaliados desde então no campo experimental da Embrapa Acre, para seleção de indivíduos com os melhores desempenhos agrônômicos, para formação de copa.

Durante o processo de seleção, é essencial que se tenha certeza da superioridade genética do indivíduo; para tanto, são necessárias medições repetidas de um mesmo indivíduo ao longo do tempo (Degenhardt et al., 2002; Neves et al., 2010). Assim, a estimativa dos coeficientes de repetibilidade é importante, pois permite maximizar o valor que a herdabilidade de um caráter, no sentido amplo, pode atingir (Cruz et al., 2004).

O coeficiente de repetibilidade tem sido estimado em diversas culturas, como pupunheira (*Bactris gasipaes*), por Padilha et al. (2003) e Bergo et al. (2013); bacabi (*Oenocarpus mapora*), por Oliveira & Moura (2010); macaúba (*Acrocomia aculeata*), por Manfio et al. (2011); goiabeira-serrana (*Acca sellowiana*), por Degenhardt et al. (2002); araçazeiro (*Psidium cattleianum*) e pitangueira (*Eugenia uniflora*), por Danner et al. (2010); pessegueiro (*Prunus persica*), por Bruna et al. (2012); maracujazeiro (*Passiflora edulis*), por Neves et al. (2010), *Urochloa ruziziensis*, por Souza Sobrinho et al. (2010); e soja (*Glycine max*), por Matsuo et al. (2012). A própria laranjeira-doce conta com estudo de repetibilidade, mas para características de produção

(Negreiros et al., 2008). Estudos que visem mensurar medidas repetidas em caracteres de qualidade de frutos de laranjeira-doce não foram encontrados. Nesse sentido, os resultados parciais de experimentos com genótipos de laranjeira-doce no Acre podem subsidiar a seleção de indivíduos superiores para o programa de melhoramento da espécie.

O objetivo deste trabalho foi determinar o coeficiente de repetibilidade de características de qualidade do fruto de laranjeira-doce e o número mínimo de avaliações capaz de proporcionar níveis de certeza da predição do valor real dos genótipos.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado no Campo Experimental da Embrapa Acre, em Rio Branco, AC (9°58'29"S, 67°49'44"W, a aproximadamente 160 m de altitude) (WGS 84). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo AWI, quente e úmido, com temperaturas máxima de 31°C e mínima de 21°C, precipitação anual de 1.700 mm e umidade relativa em torno de 80%.

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, de textura média/argilosa e bem drenado (Santos et al., 2006). A análise química do solo indicou, até 40 cm de profundidade, as seguintes características: pH em H₂O de 5,2; 0,17 cmol_c kg⁻¹ de K; 3,70 cmol_c kg⁻¹ de Ca; 1,49 cmol_c kg⁻¹ de Mg; 0,14 cmol_c kg⁻¹ de Al; 2,57 cmol_c kg⁻¹ de H+Al; soma de bases de 5,36 cmol_c kg⁻¹; 7,27 g kg⁻¹ de carbono orgânico; CTC de 5,5 cmol_c kg⁻¹; e saturação de bases de 68%.

Foram coletadas gemas vegetativas de 39 genótipos de laranjeira-doce, oriundos da Mesorregião do Vale do Acre, distribuídos pelas microrregiões de Brasília, Rio Branco e Sena Madureira (Tabela 1). Foram selecionadas plantas aparentemente sadias e vigorosas, com boa produção e características do fruto bem aceitas pelo consumidor. Com tesoura de poda, foram retiradas cinco hastes por planta, cada uma com cerca de dez gemas vegetativas. As hastes selecionadas de cada genótipo foram devidamente identificadas, envoltas por jornal umedecido, armazenadas em caixa térmica e levadas para o Laboratório de Sementes da Embrapa Acre. Duas gemas vegetativas por haste foram retiradas e enxertadas em porta-enxertos de

limão-cravo (*Citrus limonia* Osbeck), para posterior avaliação em ensaio de competição de clones.

O plantio foi realizado em fevereiro de 2000, no espaçamento 8x8 m, em delineamento experimental de blocos ao acaso, com 39 tratamentos e três repetições. Na implantação do experimento, utilizou-se uma planta útil por parcela, em razão do grande número de materiais e da reduzida área experimental disponível (Gondim et al., 2001). Foram avaliadas cinco safras: 2004, 2008, 2010, 2011 e 2012. O cultivo foi conduzido sem irrigação e de acordo com o manejo cultural recomendado para citros (Ledo et al., 1996).

As características físico-químicas avaliadas dos frutos foram: massa média de frutos (MMF), rendimento de suco (expresso em percentagem), espessura de casca (ESPC), sólidos solúveis (SS), acidez total (AT), relação SS/AT e índice tecnológico (IT). A determinação da MMF e do rendimento de suco foi feita por gravimetria, em balança de precisão, e a espessura da casca foi mensurada com auxílio de paquímetro digital. Os sólidos solúveis foram determinados por meio de leitura direta em refratômetro de bolso, modelo PAL-1 (Atago Co. Ltd., Tóquio, Japão), em °Brix. Já a acidez total do suco foi determinada por titulometria com solução de NaOH 0,1 N e indicador fenolftaleína (AOAC International, 2012). A relação SS/AT foi calculada pelo índice tecnológico (IT), de acordo com Di Giorgi et al. (1993): $IT = (\text{rendimento de suco} \times SS \times 40,8) / 10.000$, em que 40,8 refere-se ao peso-padrão (kg) da caixa de colheita de laranja.

De forma complementar, o coeficiente de repetibilidade foi estimado por métodos que consideram

diferentes fatores: análise de variância (Anova), na qual o efeito temporário do ambiente é removido do erro, conforme Cruz et al. (2004); análise de componentes principais, obtida da matriz de correlação (CPCOR) e da matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas (CPCOV) (Abeywardena, 1972; Rutledge, 1974); e análise estrutural, com base no autovalor teórico da matriz de correlação média (Aecor) (Mansour et al., 1981).

O modelo estatístico utilizado para a análise de variância (Cruz et al., 2004) foi: $Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \varepsilon_{ij}$, em que Y_{ij} é a observação referente ao i -ésimo genótipo na j -ésima medição; μ é a média geral; g_i é o efeito aleatório do i -ésimo genótipo sob a influência do ambiente permanente ($i = 1, 2, \dots, 39$ genótipos); a_j é o efeito da j -ésima medição ($j = 1, 2, \dots, \eta$); e ε_{ij} é o erro experimental. Os estimadores do coeficiente de repetibilidade estão apresentados na Tabela 2.

Para cada característica, foi determinado o número mínimo de medições necessárias para prever o valor real dos indivíduos, com base em coeficiente de determinação (R^2) preestabelecidos: 0,80, 0,85, 0,90, 0,95 e 0,99 (Cruz et al., 2004): $\eta_0 = [R^2 (1 - r)] / [(1 - R^2) r]$, em que η_0 é o número de medições para predição do valor real; e r é o coeficiente de repetibilidade obtido com um dos diferentes métodos utilizados.

O coeficiente de determinação genotípica (R^2), que representa a percentagem de certeza da predição do valor real dos indivíduos selecionados com

Tabela 1. Locais de coleta dos genótipos de laranjeiras-doce (*Citrus sinensis*), no Estado do Acre.

Município	Coordenadas	Microrregião	Genótipos ⁽¹⁾
Plácido de Castro	10°19'43"S, 67°10'44"W	Rio Branco	1 3 4 6 8
Sen. Guiomard	10°09'03"S, 67°44'13"W	Rio Branco	9 11 13 14 15 16
Capixaba	10°34'29"S, 67°40'38"W	Rio Branco	17 19 22 23
Xapuri	10°39'11"S, 68°30'03"W	Brasiléia	24 25 26 28 29 30 31
Sena Madureira	09°04'10"S, 68°39'30"W	Sena Madureira	33 36 37 38
Brasiléia	11°00'01"S, 68°44'59"W	Brasiléia	39 40
Epitaciolândia	11°01'56"S, 68°43'54"W	Brasiléia	43 44 46 47
Porto Acre	09°35'42"S, 67°32'36"W	Rio Branco	48 49 51 52
Rio Branco	09°58'29"S, 67°49'44"W	Rio Branco	53 54 55

⁽¹⁾ Adaptado de Gondim et al. (2001).

Tabela 2. Estimador do coeficiente de repetibilidade (r) em função do método utilizado.

Método de estimação	Estimador ⁽¹⁾
Análise de variância	$\hat{\sigma}_g^2 / \hat{\sigma}_y^2$
Componentes principais obtidos da matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas	$\frac{\hat{\lambda}_1 - \hat{\sigma}_y^2}{\hat{\sigma}_y^2 (\eta - 1)}$
Componentes principais obtidos da matriz de correlação	$\hat{\lambda}_1 - 1 / \eta - 1$
Análise estrutural com base no autovalor teórico da matriz de correlação ou correlação média	$(\hat{\alpha}' \hat{R} \hat{\alpha} - 1) / \eta - 1$

⁽¹⁾ $\hat{\sigma}_y^2 = \hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_e^2$; $\hat{\sigma}_y^2$ é a variância fenotípica; σ^2 é a variância ambiental; $\hat{\sigma}_g^2$ é a variância genotípica; $\hat{\lambda}_1$ é o autovalor da matriz de covariância ($\hat{\Gamma}$) ou da matriz de correlação \hat{R} associado ao autovetor cujos elementos têm o mesmo sinal e magnitudes semelhantes; $\hat{\alpha}$ é o autovetor associado ao maior autovalor de \hat{R} ; η é o número de medições.

base em η medições, foi obtido pela expressão: $R^2 = \eta r / [1 + r (\eta - 1)]$, em que η é o número de medições e r é o coeficiente de repetibilidade.

As médias das cinco avaliações, para cada característica analisada nos diferentes genótipos, foram comparadas pelo teste de Scott & Knott, a 5% de probabilidade (Scott & Knott, 1974). Todas as análises estatísticas dos dados foram realizadas por meio do programa Genes (Cruz, 2006).

Resultados e Discussão

A análise de variância mostrou que, com exceção do rendimento de suco, o efeito de anos foi significativo, para todas as características avaliadas, e houve diferenças entre os genótipos de laranja-doce, com exceção das características rendimento de suco e índice tecnológico (Tabela 3). Esses resultados refletem a existência de variabilidade entre os genótipos avaliados, com possibilidades de ganho genético pela seleção de indivíduos superiores.

A MMF foi de 203,79 g, e a ESPC foi de 4,06 mm, valores considerados intermediários, segundo Santos et al. (2010). Já o rendimento médio de suco foi de 47,87%, considerado acima da média. Ledo et al. (1999) observaram que, nas combinações de copa x porta-enxerto que avaliaram, a percentagem de suco das laranjeira do Estado do Acre é alta, de 43,8 a 53,3%. Esses resultados sugerem que, em condições de clima quente e úmido, os frutos tendem a ser mais suculentos, mas com variabilidade considerável, de acordo a interação copa x porta-enxerto.

Para sólidos solúveis, verificou-se média de 8,38 °Brix. Essa característica representa importante atributo de qualidade, e tende a aumentar com o desenvolvimento da planta (Duarte et al., 2011).

A acidez total média foi de 0,64%. Chitarra & Chitarra (2005) concluíram que a acidez total é um importante parâmetro na apreciação do estado de conservação do fruto, e que seu valor aumenta com o desenvolvimento fisiológico e diminui com a maturação do fruto.

Os maiores valores de sólidos solúveis e acidez total foram observados nos genótipos 11, 17, 24, 25, 26, 28, 31, 37, 38, 39, 52, 53 e 55 (Tabela 4), oriundos principalmente dos municípios de Senador Guiomard, Capixaba, Xapuri, Sena Madureira e Plácido de Castro. Gondim et al. (2001), ao avaliar aspectos qualitativos de laranja-doce no Acre, observaram que os maiores valores foram observados em genótipos obtidos dos municípios de Epitaciolândia, Capixaba, Plácido de Castro, Porto Acre e Rio Branco. Esses valores, porém, apresentaram maior variabilidade para sólidos solúveis, o que pode indicar maior influência ambiental no desempenho dos genótipos (Negreiros et al., 2008; Lourenço et al., 2013).

A média da relação SS/AT, que fornece indicação do estágio de maturação do fruto, foi de 17,31. A acidez tende a decrescer com a utilização de ácidos orgânicos na atividade respiratória dos frutos, que aumenta com o crescimento e o estágio de maturação, o que favorece o incremento nos valores da relação SS/AT pela manutenção dos frutos por mais tempo na planta (Chitarra & Chitarra, 2005). Sucos com relação SS/AT entre 14 e 16 são os mais apreciados pelos consumidores, em razão do equilíbrio, em termos sensoriais, entre os teores de açúcares e ácidos (Pozzan & Triboni, 2005). No entanto, segundo Petto Neto & Pompeu Júnior (1987), o intervalo ideal está entre 11 e 14. Apesar disso, o processamento da indústria inclui frutos com valores de 6 a 20, intervalo que abrange todos os genótipos analisados, exceto o 23.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para os caracteres massa média de frutos (MMF), espessura de casca (ESPC), rendimento de suco (suco), sólidos solúveis (SS), acidez total (AT), relação SS/AT e índice tecnológico (IT) de 39 genótipos de laranja-doce (*Citrus sinensis*), no Estado do Acre.

Variação	Quadrado médio							
	GL	MMF (g)	ESPC (mm)	Suco (%)	SS (°Brix)	AT (%)	Relação SS/AT	IT
Ambiente	4	18.339,22*	8,124*	1.313,05 ^{ns}	9,88*	6,714*	17.614,72*	1,897*
Genótipos	38	2.367,55*	1,271*	599,76 ^{ns}	1,47*	0,068*	250,75*	0,560 ^{ns}
Resíduo	542	509,58	0,325	393,84	0,38	0,0103	33,54	0,404
CV (%)		11,08	14,01	41,45	7,36	15,82	33,46	38,77
Média		203,79	4,06	47,87	8,38	0,64	17,31	1,64

^(ns)Não significativo. *Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Quanto ao índice tecnológico, que expressa a quantidade de sólidos solúveis por caixa de laranja, o valor médio obtido foi de 1,64, considerado menor que o ideal, que, conforme Di Giorgi et al. (1993), deve variar de 2,49 a 2,86 kg de SS por caixa. Apenas o genótipo 33 (Sena Madureira) manteve-se dentro do valor ideal.

Tabela 4. Massa média de frutos (MMF), espessura de casca (ESPC), rendimento de suco (suco), sólidos solúveis (SS), acidez total (AT), relação SS/AT e índice tecnológico (IT) de genótipos de laranjeira-doce (*Citrus sinensis*) e de cada safra avaliada, no Estado do Acre⁽¹⁾.

Genótipo	MMF (g)	ESPC (mm)	Suco (%)	SS (°Brix)	AT (%)	Relação SS/AT	IT (kg de SS por caixa)
1	213,15a	5,03a	43,46b	7,83b	0,54b	18,24b	1,39b
3	201,30b	4,28b	47,76b	8,42a	0,59b	18,11b	1,64b
4	205,90b	4,31b	46,65b	8,93a	0,60b	17,18b	1,70b
6	221,39a	4,11b	45,35b	8,41a	0,57b	19,02b	1,56b
8	207,84b	3,86c	46,52b	9,03a	0,57b	19,86b	1,71b
9	214,62a	4,40b	48,33b	8,29b	0,68a	15,06b	1,63b
11	204,73b	3,97c	47,68b	8,95a	0,74a	15,31b	1,75b
13	207,03b	3,90c	50,06b	8,23b	0,67a	15,51b	1,69b
14	212,80a	4,07b	46,74b	8,51a	0,58b	18,37b	1,60b
15	232,48a	4,25b	45,34b	7,80b	0,62b	15,78b	1,50b
16	214,50a	4,41b	42,36b	8,13b	0,56b	19,08b	1,41b
17	206,00b	4,36b	42,65b	8,50a	0,67a	16,46b	1,49b
19	223,96a	4,22b	48,63b	8,20b	0,69a	14,96b	1,62b
22	215,83a	3,82c	50,82b	8,10b	0,73a	16,39b	1,69b
23	184,78c	3,69c	47,08b	8,31b	0,41c	40,25a	1,59b
24	195,97c	3,73c	48,56b	8,61a	0,70a	15,26b	1,70b
25	192,72c	3,56c	49,68b	8,54a	0,73a	14,35b	1,73b
26	193,52c	3,92c	50,06b	8,70a	0,65a	17,09b	1,76b
28	216,67a	4,00c	48,55b	8,65a	0,67a	15,66b	1,75b
29	201,59b	4,31b	45,12b	8,12b	0,56b	19,42b	1,47b
30	185,50c	4,23b	45,39b	8,60a	0,61b	18,77b	1,60b
31	202,81b	3,71c	46,05b	8,64a	0,70a	15,12b	1,62b
33	172,14c	3,68c	83,68a	7,76b	0,73a	13,51b	2,63a
36	188,75c	4,22b	45,19b	8,12b	0,59b	18,20b	1,50b
37	190,48c	4,35b	47,99b	8,38a	0,67a	16,66b	1,63b
38	207,09b	4,09b	47,69b	8,71a	0,74a	14,32b	1,72b
39	201,81b	4,06b	45,03b	8,56a	0,69a	15,73b	1,62b
40	197,31c	3,96c	44,98b	8,02b	0,56b	17,83b	1,45b
43	185,20c	4,15b	47,22b	7,97b	0,59b	18,33b	1,55b
44	193,55c	3,81c	47,67b	8,12b	0,67a	14,60b	1,59b
46	203,68b	4,13b	48,17b	8,25b	0,66a	15,64b	1,62b
47	206,14b	4,14b	48,37b	8,02b	0,61b	17,44b	1,58b
48	193,84c	3,94c	48,25b	8,44a	0,61b	17,54b	1,66b
49	202,55b	3,59c	48,78b	8,14b	0,61b	16,38b	1,62b
51	207,57b	3,73c	39,25b	8,56a	0,60b	18,13b	1,34b
52	210,36b	4,11b	48,47b	8,46a	0,64a	16,97b	1,67b
53	193,69c	3,90c	48,00b	8,64a	0,67a	16,37b	1,69b
54	214,02a	4,49b	46,84b	8,31b	0,65a	16,09b	1,59b
55	224,51a	3,94c	48,47b	8,66a	0,68a	15,85b	1,71b
Ambiente							
Safra 1	219,51a	3,91c	53,10a	8,27b	0,22d	39,17a	1,78a
Safra 2	193,83b	4,08b	47,17b	8,27b	0,69c	12,37b	1,59b
Safra 3	194,14b	4,06b	46,57b	8,19b	0,69c	12,33b	1,57b
Safra 4	196,25b	4,48a	44,00b	8,25b	0,83a	10,01c	1,48b
Safra 5	215,22a	3,77c	48,50b	8,89a	0,75b	12,65b	1,75a

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Scott & Knott, a 5% de probabilidade. Médias de cinco avaliações.

Quanto às safras, o primeiro e o último ano de avaliação apresentaram resultados superiores de massa média de frutos e de índice tecnológico (Tabela 4). O rendimento de suco foi superior na primeira safra, a acidez total, na quarta safra, e a menor espessura de casca, na quinta safra. Portanto, houve variabilidade nas características analisadas, ao longo das avaliações.

O método Anova proporcionou os menores valores dos coeficientes de repetibilidade (r), entre os métodos avaliados, independentemente da característica analisada. Em seguida, foi o método Aecor (Tabela 5). Os métodos multivariados de componentes principais, baseados na CPCOV e na CPCOR, obtiveram os melhores resultados, com os maiores coeficientes de repetibilidade. Isso sugere comportamento cíclico dos genótipos, uma vez que esse método é mais apurado quando os genótipos avaliados apresentam alternância de produção, em relação ao caráter avaliado (Abeywardena, 1972).

O método univariado (Anova) não permite isolar o fator periodicidade e, ao incorporá-lo na estimativa, eleva o valor do erro experimental, o que pode subestimar a repetibilidade (Negreiros et al., 2008). Isso não ocorre nos métodos multivariados (análise de componentes

principais e análise estrutural) (Lopes et al., 2001; Danner et al., 2010). A análise estrutural (Aecor) apresenta apenas diferenças conceituais da análise de componentes principais, e as estimativas desses métodos tendem a ser próximas (Cruz et al., 2004). Já os métodos multivariados (CPCOR e CPCOV) levam em consideração o comportamento cíclico do caráter e diferem nos vetores e nas magnitudes das matrizes utilizadas em cada análise (Abeywardena, 1972).

Para os caracteres espessura de casca, sólidos solúveis e acidez total, o método CPCOR apresentou os melhores valores de R^2 , acima de 74%, tendo alcançado até 87%, para acidez total. Já o método CPCOV apresentou os melhores valores para massa média de frutos, rendimento de suco, relação SS/AT e índice tecnológico, com R^2 de aproximadamente 81%, para massa média de frutos, e acima de 93% para os demais caracteres. Nos casos em que os genótipos avaliados apresentam um padrão de comportamento periódico, o coeficiente de repetibilidade pode ser estimado alternativamente pelos métodos multivariados de componentes principais, isto é, com base na matriz de variância e covariância e na matriz de correlação (Abeywardena, 1972). Esse comportamento não pôde ser captado pelas demais análises, que apresentaram menores valores de r e R^2 (Abeywardena, 1972; Cruz et al., 2004). Negreiros et al. (2008) também observaram comportamento cíclico em caracteres produtivos de laranja-doce. De acordo com os autores, quando o fator periodicidade for significativo, as medidas podem ser afetadas por mudanças de ordem fisiológica, regulares, irregulares ou sistemáticas.

Em trabalhos semelhantes com goiabeira-serrana (Degenhardt et al., 2002), dendezeiro (*Elaeis guineenses*) (Cedillo et al., 2008), híbridos de dendezeiro e caiaué (*E. oleifera*) (Chia et al., 2009), araçazeiro e pitangueira (Danner et al., 2010), observou-se que as estimativas obtidas pelo método da Anova foram sempre inferiores às obtidas pela análise multivariada, em razão do fator periodicidade (Negreiros et al., 2008; Chia et al., 2009).

Os caracteres rendimento de suco, relação SS/AT e índice tecnológico apresentaram as maiores variações no coeficiente de repetibilidade, com amplitudes de r de 0,7547; 0,657 e 0,6968, respectivamente, e amplitudes de R^2 de 65,9; 36,3 e 74,7%, respectivamente. A espessura de casca foi o caráter de menor variação, com 0,3454 e 72,5% (Anova) e 0,3719 e 74,7% (CPCOR), o que denota certa regularidade na

Tabela 5. Coeficientes de repetibilidade (r) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) para os caracteres massa média de frutos (MMF), espessura de casca (ESPC), rendimento de suco, sólidos solúveis (SS), acidez total (AT), relação SS/AT e índice tecnológico (IT), obtidos pelos métodos de análise de variância (Anova), componentes principais obtidos da matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas (CPCOV), componentes principais obtidos da matriz de correlação (CPCOR) e análise estrutural com base no autovalor teórico da matriz de correlação (Aecor).

Caráter	Coefficiente	Anova	CPCOV	CPCOR	Aecor
MMF	r	0,4204	0,4593	0,4340	0,4314
	R^2 (%)	78,38	80,94	79,31	79,14
ESPC	r	0,3454	0,3527	0,3719	0,3620
	R^2 (%)	72,52	73,15	74,75	73,94
Rendimento	r	0,0798	0,8345	0,2292	0,1820
	R^2 (%)	30,24	96,19	59,79	52,67
SS	r	0,3125	0,3700	0,3809	0,3184
	R^2 (%)	69,44	74,60	75,47	70,02
AT	r	0,3008	0,5651	0,5835	0,3815
	R^2 (%)	68,26	86,66	87,51	75,51
Relação SS/AT	r	0,2422	0,8992	0,5451	0,3230
	R^2 (%)	61,51	97,81	85,70	70,47
IT	r	0,0442	0,7410	0,1483	0,0868
	R^2 (%)	18,77	93,46	46,55	32,22

repetição do caráter entre as avaliações. Em seguida, vieram os caracteres massa média do fruto e sólidos solúveis. Bergo et al. (2013) relataram comportamento semelhante, para caracteres morfológicos de pupunheira, e apontaram o método CPCOV como o que possibilita maior coeficiente de repetibilidade. Estes autores consideraram confiáveis valores de r acima de 0,4, mas com maior número de medições ao longo dos ciclos de cultivo. Neves et al. (2010) também sugerem o uso de maior número de medições, para maracujazeiro. Já Souza Sobrinho et al. (2010), ao analisar as características de produção de *U. ruziziensis*, consideraram razoáveis valores de r acima de 0,5, uma vez que possibilitam valores de R^2 acima de 80%. Cedillo et al. (2008), Manfio et al. (2011) e Bruna et al. (2012), ao avaliar plantas perenes, como dendezeiro, macaúba e pessegueiro, respectivamente, consideram 0,6 um alto valor de r , enquanto Oliveira & Moura (2010) indicaram, como magnitudes desejáveis, R^2 acima de 75%.

Apesar da variação nas estimativas de r , o alto valor obtido pelos métodos multivariados, com destaque para CPCOV, indicam regularidade na repetição do desempenho dos genótipos ao longo das avaliações (Cruz et al., 2004). Resultados semelhantes foram relatados em goiabeira-serrana, por Degenhardt et al. (2002); cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*), por Alves & Resende (2008); pessegueiro, por Bruna et al. (2012); e muricizeiro (*Byrsonima dealbata*), por Lourenço et al. (2013).

Pelos métodos CPCOV e CPCOR, são necessárias 15,2, 14,6 e 6,4 avaliações, para se ter 90% de confiança nas estimativas de espessura de casca, sólidos solúveis e acidez total, respectivamente, e 10,6, 1,8, 1,0 e 3,1 avaliações, nas estimativas de massa média de frutos, rendimento de suco, relação SS/AT e índice tecnológico, respectivamente (Tabela 6). De acordo com Negreiros et al. (2008), esse alto valor de R^2 demonstra acurácia nas medições realizadas, regularidade da superioridade dos indivíduos de um ciclo para outro e o bom controle genético da expressão das características avaliadas. Além disso, elevados valores de R^2 indicam que a variância ambiental, para a característica avaliada, foi relativamente baixa, comparada à variância entre plantas (Alves & Resende, 2008).

Contudo, Padilha et al. (2003) observaram que, para caracteres de produção, algumas variáveis podem apresentar números inviáveis de avaliações quando se exige alto grau de certeza (acima de 95%).

Dessa forma, a definição do R^2 ideal deve privilegiar, além da mínima confiabilidade esperada nos dados,

Tabela 6. Número de medições (n_0) necessárias para predição do valor real dos genótipos de laranjeiras-doce (*Citrus sinensis*), quanto aos caracteres massa média de frutos (MMF), espessura de casca (ESPC), rendimento de suco, sólidos solúveis (SS), acidez total (AT), relação SS/AT e índice tecnológico (IT), ao se considerar diferentes coeficientes de determinação (R^2) e os métodos de análise de variância (Anova), componentes principais obtidos da matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas (CPCOV), componentes principais obtidos da matriz de correlação (CPCOR) e análise estrutural com base no autovalor teórico da matriz de correlação (Aecor).

Caráter	R^2 (%)	Anova	CPCOR	CPCOV	Aecor
MMF	80	5,515	4,708	5,126	5,273
	85	7,813	6,670	7,389	7,470
	90	12,409	10,593	11,735	11,864
	95	26,197	22,363	24,775	25,045
	99	136,500	116,523	129,090	130,500
ESPC	80	7,579	7,342	6,755	7,050
	85	10,737	10,401	9,570	9,988
	90	17,053	16,520	15,199	15,863
	95	36,001	34,875	32,086	33,488
	99	187,586	181,719	167,187	174,491
Rendimento	80	46,135	0,793	13,449	17,972
	85	65,358	1,124	19,053	25,461
	90	103,804	1,784	30,261	40,438
	95	219,141	3,767	63,884	85,369
	99	1.141,841	19,629	332,869	444,816
SS	80	8,800	6,811	6,502	8,564
	85	12,467	9,648	9,211	12,132
	90	19,800	15,324	14,629	19,268
	95	41,801	32,351	30,884	40,677
	99	217,803	168,565	160,921	211,950
AT	80	9,299	3,078	2,856	6,485
	85	13,174	4,361	4,045	9,187
	90	20,923	6,926	6,425	14,591
	95	44,171	14,622	13,564	30,804
	99	230,152	76,186	70,674	160,505
Relação SS/AT	80	12,515	0,448	3,338	8,383
	85	17,729	0,635	4,728	11,875
	90	28,158	1,009	7,510	18,861
	95	59,446	2,130	15,854	39,817
	99	309,743	11,098	82,609	207,469
IT	80	86,554	1,398	22,968	42,079
	85	122,618	1,981	32,537	59,612
	90	194,746	3,146	51,677	94,677
	95	411,131	6,642	109,096	199,874
	99	2.142,211	34,608	568,446	1.041,449

a disponibilidade de recursos e mão de obra para as avaliações. Vários estudos consideram valores de 80 a 90% como de boa acurácia (Degenhardt et al., 2002; Chia et al., 2009; Danner et al., 2010; Manfio et al., 2011; Matsuo et al., 2012).

No presente trabalho, entretanto, optou-se por considerar como confiáveis dados com certeza de 90%. O número necessário de medições obtido foi considerado razoável, uma vez que, segundo Matsuo et al. (2012), quando a repetibilidade é alta, o acréscimo do número de medições resulta em pequeno aumento na precisão, em comparação com a avaliação de um caráter por meio de uma única medição.

Conclusões

1. Os coeficientes de repetibilidade apresentam regularidade na predição da superioridade dos genótipos de laranja-doce (*Citrus sinensis*) quanto a características de qualidade do fruto, no Estado do Acre.

2. Há variabilidade genética significativa entre os genótipos de laranja-doce quanto aos caracteres massa média de frutos, espessura da casca, sólidos solúveis, acidez total e relação sólidos solúveis (SS)/acidez total (AT).

3. São necessárias 15 avaliações, com 90% de certeza, para determinar os caracteres espessura de casca e sólidos solúveis, e 11, 6, 3, 2 e 1 avaliações para massa média de fruto, acidez total, índice tecnológico, rendimento de suco e relação SS/AT, respectivamente.

Agradecimentos

Ao Tesouro Nacional e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Referências

- ABEYWARDENA, V. An application of principal component analysis in genetics. *Journal of Genetics*, v.61, p.27-51, 1972. DOI: 10.1007/BF02984099.
- ALVES, R.M.; RESENDE, M.D.V. de. Avaliação genética de indivíduos e progênies de cupuaçuzeiro no Estado do Pará e estimativas de parâmetros genéticos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.30, p.696-701, 2008. DOI: 10.1590/S0100-29452008000300023.
- AOAC INTERNATIONAL. *Official methods of analysis of the AOAC International*. 19th ed. Arlington: AOAC International, 2012.
- BERGO, C.L.; NEGREIROS, J.R. da S.; MIQUELONI, D.P.; LUNZ, A.M.P. Estimativa de repetibilidade de caracteres de produção em pupunheiras para palmito da raça Putumayo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.35, p.829-836, 2013. DOI: 10.1590/S0100-29452013000300020.
- BOLETIM DE PREÇOS DE PRODUTOS AGROPECUÁRIOS E FLORESTAIS DO ESTADO DO ACRE. Rio Branco: Embrapa Acre, ano 2, n.8, jan. 2013. Disponível em: <http://iquiri.cpafac.embrapa.br/guest/boletim_de_precos_janeiro2013.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2013.
- BRUNA, E.D.; MORETO, A.L.; DALBÓ, M.A. Uso do coeficiente de repetibilidade na seleção de clones de pessegueiro para o Litoral Sul de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.34, p.206-215, 2012. DOI: 10.1590/S0100-29452012000100028.
- CEDILLO, D.S.O.; BARROS, W.S.; FERREIRA, F.M.; DIAS, L.A. dos S.; ROCHA, R.B.; CRUZ, C.D. Correlation and repeatability in progenies of African oil palm. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.30, p.197-201, 2008. DOI: 10.4025/actasciagron.v30i2.1728.
- CHIA, G.S.; LOPES, R.; CUNHA, R.N.V. da; ROCHA, R.N.C. da; LOPES, M.T.G. Repetibilidade da produção de cachos de híbridos interespecíficos entre o caiaué e o dendezeiro. *Acta Amazonica*, v.39, p.249-253, 2009. DOI: 10.1590/S0044-59672009000200001.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. *Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio*. 2.ed. Lavras: UFLA, 2005. 783p.
- CRUZ, C.D. *Programa Genes: biometria*. Viçosa: Ed. da UFV, 2006. 382p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: Ed. da UFV, 2004. v.1, 480p.
- DANNER, M.A.; RASEIRA, M. do C.B.; SASSO, S.A.Z.; CITADIN, I.; SCARIOT, S. Repetibilidade de caracteres de fruto em araçazeiro e pitangueira. *Ciência Rural*, v.40, p.2086-2091, 2010. DOI: 10.1590/S0103-84782010005000163.
- DEGENHARDT, J.; DUCROQUET, J.P.; REIS, M.S. dos; GUERRA, M.P.; NODARI, R.O. Efeito de anos e determinação do coeficiente de repetibilidade de características de frutos de goiabeira-serrana. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.1285-1293, 2002. DOI: 10.1590/S0100-204X2002000900012.
- DI GIORGI, F.; IDE, B.Y.; DIB, K.; MARCHI, R.J.; TRIBONI, H.R.; MARCHI, R.J. WAGNER, R.L. Qualidade da laranja para industrialização. *Laranja*, v.14, p.97-118, 1993.
- DUARTE, T.F.; BRON, I.U.; RIBEIRO, R.V.; MACHADO, E.C.; MAZZAFERA, P.; SHIMIZU, M.M. Efeito da carga pendente na qualidade de frutos de laranja 'Valência'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.33, p.823-829, 2011. DOI: 10.1590/S0100-29452011005000098.
- GONDIM, T.M. de S.; RTZINGER, R.; CUNHA SOBRINHO, A.P. da. Seleção e caracterização de laranjeiras-doces (*Citrus sinensis* (L.) OSBECK) no Estado do Acre. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.23, p.451-454, 2001. DOI: 10.1590/S0100-29452001000200052.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estados@**. 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/index.php>. Acesso em: 6 jun. 2013.
- LEDO, A. da S.; ALMEIDA, N.F. de; AZEVEDO, F.F. de. **Recomendações para o cultivo de citros no Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 1996. 29p. (Embrapa Acre. Circular técnica, 18).
- LEDO, A. da S.; LEDO, F.J. da S.; RITZINGER, R.; CUNHA SOBRINHO, A.P. da. Porta-enxertos para laranjeiras-doces (*Citrus sinensis* (L.) Osb.), em Rio Branco, Acre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.1211-1216, 1999. DOI: 10.1590/S0100-204X1999000700013.
- LOPES, R.; BRUCKNER, C.H.; CRUZ, C.D.; LOPES, M.T.G. FREITAS, G.B. de. Repetibilidade de características do fruto da aceroleira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.507-513, 2001. DOI: 10.1590/S0100-204X2001000300015.
- LOURENÇO, I.P.; FIGUEIREDO, R.W. de; ALVES, R.E.; ARAGÃO, F.A.S. de; MOURA, C.F.H. Caracterização de frutos de genótipos de muricizeiros cultivados no litoral cearense. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.499-504, 2013. DOI: 10.1590/S1806-66902013000300011.
- MANFIO, C.E.; MOTOIKE, S.Y.; SANTOS, C.E.M. dos; PIMENTEL, L.D.; QUEIROZ, V. de; SATO, A.Y. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. **Ciência Rural**, v.41, p.70-76, 2011. DOI: 10.1590/S0103-84782011000100012.
- MANSOUR, H.; NORDHEIM, E.V.; RUTLEDGE, J.J. Estimators of repeatability. **Theoretical and Applied Genetics**, v.60, p.151-156, 1981. DOI: 10.1007/BF00264520.
- MATSUO, É.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C.D.; OLIVEIRA, R. de C.T. Análise da repetibilidade em alguns descritores morfológicos para soja. **Ciência Rural**, v.42, p.189-196, 2012. DOI: 10.1590/S0103-84782012000200001.
- NEGREIROS, J.R. da S.; SARAIVA, L.L.; OLIVEIRA, T.K. de; ÁLVARES, V. de S.; RONCATTO, G. Estimativas de repetibilidade de caracteres de produção em laranjeiras-doces no Acre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1763-1768, 2008. DOI: 10.1590/S0100-204X2008001200017.
- NEVES, L.G.; BRUCKNER, C.H.; CRUZ, C.D.; BARELLI, M.A.A. Avaliação da repetibilidade no melhoramento de famílias de maracujazeiro. **Ceres**, v.57, p.480-485, 2010. DOI: 10.1590/S0034-737X2010000400007.
- OLIVEIRA, M. do S.P. de; MOURA, E.F. Repetibilidade e número mínimo de medições para caracteres de cacho de bacabi (*Oenocarpus mapora*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, p.1173-1179, 2010. DOI: 10.1590/S0100-29452010005000120.
- PADILHA, N.C.C.; OLIVEIRA, M. do S.P. de; MOTA, M.G. da C. Estimativa da repetibilidade em caracteres morfológicos e de produção de palmito em pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth). **Revista Árvore**, v.27, p.435-442, 2003. DOI: 10.1590/S0100-67622003000400003.
- PETTO NETO, A.; POMPEU JUNIOR, J. Colheita, beneficiamento e transporte. In: CASTRO, P.R.C. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p.893-897.
- POZZAN, M.; TRIBONI, H.R. Colheita e qualidade do fruto. In: MATTOS JUNIOR, D. de; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JÚNIOR, J. (Ed.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônomo: Fundag, 2005. p.801-822.
- RUTLEDGE, J.J. A scaling which removes bias of Abeywardena's estimator of repeatability. **Journal of Genetics**, v.61, p.247-250, 1974. DOI: 10.1007/BF02986435.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- SANTOS, D. dos; MATARAZZO, P.H.M.; SILVA, D.F.P. da; SIQUEIRA, D.L. de; SANTOS, D.C.M. dos; LUCENA, C.C. de. Caracterização físico-química de frutos cítricos produzidos em Viçosa, Minas Gerais. **Ceres**, v.57, p.393-400, 2010. DOI: 10.1590/S0034-737X2010000300016.
- SANTOS, R.M. dos; NÄÄS, I. de A.; MOLLO NETO, M.; VENDRAMETTO, O. An overview on the Brazilian orange juice production chain. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.35, p.218-225, 2013. DOI: 10.1590/S0100-29452013000100025.
- SCOTT, A.J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v.30, p.507-512, 1974. DOI: 10.2307/2529204.
- SOUZA SOBRINHO, F. de; BORGES, V.; LEDO, F.J. da S.; KOPP, M.M. Repetibilidade de características agrônômicas e número de cortes necessários para seleção de *Urochloa ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.579-584, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000600007.

Recebido em 3 de outubro de 2013 e aprovado em 20 de dezembro de 2013