

DIVERGÊNCIA GENÉTICA ENTRE SUBAMOSTRAS DE MANDIOCA ⁽¹⁾

CARLOS NICK ^(2*); SAMUEL PEREIRA DE CARVALHO ⁽³⁾; ADRIANA MADEIRA SANTOS JESUS ⁽⁴⁾;
TELDE NATEL CUSTÓDIO ⁽⁵⁾; BRUNO GARCIA MARIM ⁽⁶⁾; LUIZ HENRIQUE BAMBINI DE ASSIS ⁽⁷⁾

RESUMO

Objetivou-se no presente estudo, estimar a diversidade genética entre 75 clones F₁, 19 variedades locais ou "landraces" e seis cultivares comerciais, sugerir com base na dissimilaridade e no desempenho agrônômico, subamostras com potencial para uso em programas de hibridação ou como cultivares e estimar a contribuição relativa de cada característica fenotípica para a diversidade. As subamostras foram avaliadas por meio de sete caracteres quantitativos relacionadas à parte aérea e à produção de raízes tuberosas em experimento realizado em Lavras, Minas Gerais. O delineamento utilizado foi um látice simples 10x10, com parcelas de 2,4 m² e quatro plantas úteis. A divergência genética foi expressa por meio da distância generalizada de Mahalanobis, com posterior agrupamento das subamostras pelo método de otimização de Tocher. A contribuição relativa das características para a diversidade baseou-se no método de Singh (1981). Há divergência genética entre as subamostras estudadas, sendo as subamostras 60, 61, 66 e 67 potencialmente úteis a participarem de fases seguintes em um programa de melhoramento. O rendimento de biomassa da parte aérea e o número de raízes tuberosas por planta foram mais importantes para a discriminação das subamostras.

Palavras-chave: *Manihot esculenta*, pré-melhoramento, análises biométricas.

ABSTRACT

GENETIC DIVERGENCE AMONG CASSAVA ACCESSIONS

The objective of the present study was to estimate the genetic diversity among 75 F₁ clones, 19 landraces and six commercial cultivars and to suggest on the basis of dissimilarity and the agronomic performance the accessions potential by use full as cultivars or for breeding programs. In addition this study aimed at to estimate the relative contribution of phenotypic traits for the diversity. The accessions were evaluated using seven quantitative traits related to shoot and roots production in experimental trial conducted in Lavras, Minas Gerais State. The design was a simple lattice 10x10, in which plots of 2.4 m², and four useful plants. The genetic diversity was expressed by the generalized Mahalanobis distance, with subsequent grouping of the accessions by Tocher's optimization procedure. The relative contribution of traits to the diversity based method of Singh (1981). There are genetic differences between the accessions studied. The accessions 60, 61, 66 and 67 are potentially useful to participate in phases in a breeding program. The yield of shoots biomass and roots number per plant were more important for accession discrimination.

Key words: *Manihot esculenta*, pre breeding, biometrics analyses.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 16 de Junho de 2009 e aceito em 5 de março de 2010.

⁽²⁾ Doutorando em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), 36570-000 Viçosa (MG). E-mail: carlos.nick@yahoo.com.br (*) Autor correspondente.

⁽³⁾ Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, (UFLA), Caixa Postal 3037, 37200-000 Lavras (MG). E-mail: samuelpc@ufla.com.br.

⁽⁴⁾ EPAMIG/Unidade Regional Triângulo e Alto Paranaíba, Caixa Postal 351, 38001-970 Uberaba (MG). E-mail: adriana.madeira@epamig.br.

⁽⁵⁾ Universidade Federal de São João Del Rei, Campus Alto Paraopeba (MG). E-mail: telde@ufsjr.br

⁽⁶⁾ Doutorando em Genética e Melhoramento da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa (MG). 36570-000. E-mail: bgmarim@yahoo.com.br.

⁽⁷⁾ Mestrando em Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, (UFLA). Caixa Postal 3037, 37200-000 Lavras (MG). E-mail: lhbassis@yahoo.com.br.

1. INTRODUÇÃO

A mandioca é caracterizada por sua ampla diversidade genética, que por sua vez é geradora de uma infinidade de indivíduos capazes de se adaptar a diferentes regiões ecogeográficas de cultivo. FUKUDA et al. (2002) atribuem esta elevada diversidade, ao fato de a mandioca ser uma planta alógama, altamente heterozigota e com ampla segregação na primeira geração filial.

ELIAS et al. (2004) identificaram em variedades locais sul-americanas de mandioca, 15 novos alelos quando comparados a uma coleção mundial de referência, e sugeriram que estas evidências apontam para a grande diversidade genética presente em "landraces". Em números, estima-se que aproximadamente 3800 subamostras são conservadas em bancos de germoplasma no Brasil e cerca de 8500 em todo o mundo (FUKUDA et al., 2005).

A diversidade genética é sobremaneira importante, pois o sucesso de qualquer programa de melhoramento fundamenta-se na presença de variabilidade para a característica que se deseja melhorar. Neste contexto, torna-se indispensável a realização de pré-melhoramento para que se possa avaliar e caracterizar os recursos genéticos disponíveis, pois, é por meio da expressão fenotípica que se infere sobre a presença e magnitude da diversidade.

Trabalhos dessa natureza são capazes de identificar diferenças fenotípicas entre indivíduos de uma particular população, de forma que sejam descritas as potencialidades e aptidões de cada um (ARAÚJO et al., 2002), provendo aos melhoristas, informações úteis à seleção de genótipos que se adaptem às necessidades dos programas de melhoramento da cultura.

A diversidade genética pode ser estimada avaliando-se a dissimilaridade ou similaridade por meio de técnicas biométricas, seja pela quantificação da heterose em estudos envolvendo análises dialélicas seja pelo uso de métodos preditivos que se baseiam em informações fenotípicas e genotípicas, acessadas pela observação de diferenças morfológicas, fisiológicas ou moleculares. Após sua quantificação, a diversidade genética pode ser melhor evidenciada por meio da aplicação de técnicas de estatística multivariada (CRUZ e CARNEIRO, 2003).

Dada a sua significativa diversidade genética, principalmente em variedades locais, têm sido realizados estudos objetivando sua estimativa em diversas populações de mandioca. Como exemplos citam-se os trabalhos realizados por PERONI et al.

(1999) e MUHLEN et al. (2000). Ambos realizaram estudos de "landraces" de mandioca e constataram elevada diversidade entre as variedades estudadas.

Com os significativos avanços nas técnicas que utilizam marcadores moleculares, em virtude do maior grau de informação sobre a diversidade genômica dos indivíduos, é grande o número de trabalhos que estimam a diversidade em populações de mandioca por meio dessas técnicas (CARVALHO e SHALL 2001; COSTA et al., 2003; COLOMBO et al., 1998; ELIAS et al., 2004; MUHLEN et al., 2000; SIQUEIRA et al., 2009).

A associação entre informações moleculares com informações fenotípicas quantitativas e qualitativas, também é reportada na literatura. VIEIRA et al. (2008), por meio dessa associação, revelaram haver considerável diversidade entre mandiocas denominadas açucaradas e não açucaradas. Entretanto, vale ressaltar que a quantificação da diversidade genética baseada em marcadores moleculares via genotipagem dos indivíduos, pouco ajuda na seleção de subamostras para participação em algum programa de melhoramento. Para este fim, é necessária a fenotipagem dos indivíduos sendo o uso de características agrônomicas quantitativas indispensável, uma vez que a principal pressuposição para predição de cruzamentos com base em estimativas de diversidade, é que, além da diversidade, o desempenho agrônomico seja considerado.

Características agrônomicas para determinar a diversidade de variedades comerciais e também variedades locais foram utilizadas por GONÇALVES-VIDIGAL et al. (1997) e NICK et al. (2008).

Desde modo, objetivou-se no presente estudo estimar a divergência genética entre 75 clones F_1 provenientes de campos de policruzamento, 19 "landraces" e seis cultivares comerciais, estimar a contribuição relativa para a diversidade e selecionar com base no desempenho agrônomico, subamostras que possam ser fixadas como variedades ou utilizadas em futuros programas de hibridação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas cem subamostras de mandioca, das quais 75 são clones F_1 provenientes de campos de policruzamentos do Programa de Melhoramento da Mandioca de Mesa da Universidade Federal de Lavras na fase de primeira multiplicação agâmica da matriz clonal, 19 "landraces", e como testemunhas, seis cultivares comerciais (Tabela 1).

Tabela 1. Identificação e procedência de 100 subamostras de mandioca

Subamostras	Identificação	Procedência	Subamostras	Identificação	Procedência
1	UFLA 7	Lavras, MG	51	UFLA 58	Lavras, MG
2	UFLA H	Lavras, MG	52	UFLA 3	Lavras, MG
3	UFLA 30	Lavras, MG	53	UFLA 71	Lavras, MG
4	UFLA 4	Lavras, MG	54	UFLA 36	Lavras, MG
5	UFLA 48	Lavras, MG	55	UFLA 69	Lavras, MG
6	UFLA 42	Lavras, MG	56	UFLA 53	Lavras, MG
7	UFLA 90	Lavras, MG	57	UFLA 28	Lavras, MG
8	UFLA 2	Lavras, MG	58	UFLA 77	Lavras, MG
9	UFLA 63	Lavras, MG	59	UFLA 73	Lavras, MG
10	UFLA 33	Lavras, MG	60	UFLA 10	Lavras, MG
11	UFLA 59	Lavras, MG	61	UFLA 55	Lavras, MG
12	UFLA G	Lavras, MG	62	UFLA 46	Lavras, MG
13	UFLA 25	Lavras, MG	63	UFLA 60	Lavras, MG
14	UFLA 9	Lavras, MG	64	UFLA 68	Lavras, MG
15	UFLA 19	Lavras, MG	65	UFLA 26	Lavras, MG
16	UFLA41	Lavras, MG	66	UFLA 32	Lavras, MG
17	UFLA E	Lavras, MG	67	UFLA 20	Lavras, MG
18	UFLA 47	Lavras, MG	68	UFLA 72	Lavras, MG
19	UFLA 16	Lavras, MG	69	UFLA 29	Lavras, MG
20	UFLA 39	Lavras, MG	70	UFLA 62	Lavras, MG
21	UFLA 52	Lavras, MG	71	UFLA 67	Lavras, MG
22	UFLA 40	Lavras, MG	72	UFLA 56	Lavras, MG
23	UFLA 5	Lavras, MG	73	UFLA 1	Lavras, MG
24	UFLA 76	Lavras, MG	74	UFLA 22	Lavras, MG
25	UFLA 57	Lavras, MG	75	UFLA 38	Lavras, MG
26	UFLA 11	Lavras, MG	76	Baiana	Lavras, MG
27	UFLA 65	Lavras, MG	77	Casca roxa	Lavras, MG
28	UFLA 18	Lavras, MG	78	ONC4	Lavras, MG
29	UFLA 61	Lavras, MG	79	ONC 3	Lavras, MG
30	UFLA 23	Lavras, MG	80	ONC 5	Lavras, MG
31	UFLA 8	Lavras, MG	81	ONC 6	Lavras, MG
32	UFLA D	Lavras, MG	82	Seis meses	Lavras, MG
33	UFLA 64	Lavras, MG	83	ONC 7	Lavras, MG
34	UFLA 13	Lavras, MG	84	Mocotó	Lavras, MG
35	UFLA 51	Lavras, MG	85	Pinheira	Carrancas, MG
36	UFLA 60	Lavras, MG	86	Baianinha	Lavras, MG
37	UFLA 74	Lavras, MG	87	Amarelinha	Carrancas, MG
38	UFLA 44	Lavras, MG	88	Pão	Lavras, MG
39	UFLA 66	Lavras, MG	89	Manaboiu	Patos de Minas, MG
40	UFLA 21	Lavras, MG	90	UFLA C	Lavras, MG
41	UFLA 75	Lavras, MG	91	Ouro	Lavras, MG
42	UFLA 17	Lavras, MG	92	ONC 1	Lavras, MG
43	UFLA 27	Lavras, MG	93	ONC 2	Lavras, MG
44	UFLA 24	Lavras, MG	94	Rosinha	Lavras, MG
45	UFLA 15	Lavras, MG	95	IAC 12	Campinas, SP
46	UFLA J	Lavras, MG	96	IAC 13	Campinas, SP
47	UFLA 45	Lavras, MG	97	IAC 14	Campinas, SP
48	UFLA 31	Lavras, MG	98	IAC 15	Campinas, SP
49	UFLA 49	Lavras, MG	99	FIBRA	Campinas, SP
50	UFLA 12	Lavras, MG	100	IAC 576	Campinas, SP

O experimento foi desenvolvido em Lavras, Minas Gerais, situada a 21°14'30"S e 45°0'10"W. O clima da região é classificado como mesotérmico, Cwa (Köppen), com temperaturas médias anuais de 19,3 °C, precipitação pluvial média de 1.411 mm, com 65% a 70% desse total concentrados no período de dezembro a março, e altitude média de 900 m (BRASIL, 1992).

O experimento foi implantado em Latossolo Vermelho distroférrico (EMBRAPA, 1999). No sulco de plantio foram aplicados 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato simples, de acordo com recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999). Foram utilizadas manivas com 15 a 20 cm de comprimento e diâmetro de 2,5 cm, com aproximadamente cinco a sete gemas, colocadas horizontalmente a 10 cm de profundidade (OTSUBO e LORENZI, 2004). O plantio foi realizado em setembro de 2005, e a colheita efetuada em agosto de 2006.

Segundo CONCEIÇÃO (1981) nessa fase, em virtude do baixo número de manivas disponíveis, deve-se realizar o plantio de uma linha de 5 a 10 plantas por parcela com duas ou mais repetições. Deste modo, seguindo tais recomendações, o experimento foi delineado em látice simples 10x10, ou seja, com duas repetições e as parcelas experimentais foram constituídas de uma linha com quatro plantas em espaçamento de 1,0 x 0,6 m, com área útil de 2,4 m².

Na colheita, efetuada 11 meses após a emergência das plantas, foram coletados dados fenotípicos de sete características quantitativas: altura da planta (ALTPL), média das alturas das plantas da parcela, em metros; altura da primeira ramificação (ALTRA), média da altura da primeira ramificação acima do solo, em metros; rendimento médio de biomassa da parte aérea (BIOPA), em t ha⁻¹; comprimento médio de raízes tuberosas (CODRA), comprimento médio das raízes tuberosas da parcela obtido no momento da colheita, em cm; diâmetro médio das raízes tuberosas (DIDRA), média do diâmetro das raízes tuberosas da parcela medido na região central das raízes, em cm; número médio de raízes tuberosas por planta (NURAI), número médio de raízes tuberosas da parcela no momento da colheita e rendimento médio de raízes tuberosas por hectare (RENRA), em t ha⁻¹.

Inicialmente, os dados relativos a todas as características fenotípicas foram analisados de acordo com o delineamento experimental em látice simples 10x10, estimando-se a eficiência do látice em relação ao delineamento em blocos casualizados.

Ao se verificar a baixa eficiência do látice em relação ao delineamento em blocos casualizados, procedeu-se à análise de variância univariada,

considerando o delineamento experimental em blocos casualizados, com posterior agrupamento entre as médias dos genótipos e das testemunhas referenciais pelo teste de SCOTT-KNOTT (1974) com (p = 0,05).

Para aplicação dos testes multivariados, efetuou-se previamente o diagnóstico de multicolinearidade por meio da análise do número de condição, que é a razão entre o maior e o menor autovalor da matriz de correlação fenotípica.

A divergência genética entre as subamostras foi estimada, com base na dissimilaridade expressa pela distância generalizada de Mahalanobis (D²) (MAHALANOBIS, 1936), com posterior aplicação do método de otimização de Tocher (RAO, 1952).

A importância relativa dos caracteres em relação à divergência genética entre as subamostras foi estudada segundo SINGH (1981). As análises dos dados foram realizadas com o auxílio do programa estatístico GENES, versão 1.0.0 Windows (CRUZ, 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou diferença significativa pelo teste de F (p<0,05) para todas as características fenotípicas avaliadas. Desta forma, o comportamento diferenciado das subamostras retrata a presença de variabilidade para os caracteres agronômicos estudados.

Pela análise de agrupamento de médias de Scott-Knott, houve a formação de dois grupos para a característica altura de plantas, sendo as médias das subamostras e das testemunhas, próximas a 1,25 m (Tabela 2). Valor semelhante foi encontrado por KVITSCHAL et al. (2003), que relatam altura média de 1,41 m em variedades comerciais para indústria, avaliadas no noroeste do Paraná no ano agrícola 2000/2001. De acordo com FUKUDA et al. (2002), esta característica é muito importante, uma vez que está correlacionada positivamente com o rendimento de raízes tuberosas.

À semelhança, para a altura da primeira ramificação, ocorreu a formação de apenas dois grupos (Tabela 2). A média das subamostras foi de 48 cm. Contudo, é importante destacar que as subamostras 8, 23, 39, 47 e 83 tiveram médias superiores a 70 cm. VIDIGAL-FILHO et al. (2000) julgam ser a altura da primeira ramificação uma característica que facilita, de modo geral, o manejo da cultura, principalmente atividades relacionadas à colheita e ao manejo de plantas daninhas.

Tabela 2. Médias referentes ao agrupamento de Scott-Knott, relativas a sete características agrônômicas avaliadas em cem subamostras de mandioca. Altura da planta (ALTPL), altura da primeira ramificação (ALTRA), rendimento da biomassa da parte aérea (BIOPA), comprimento médio da raiz tuberosa (CODRA), diâmetro médio da raiz tuberosa (DIDRA), número médio de raiz tuberosa por planta (NURAI), rendimento médio de raízes (RENRA)

Subamostras	ALTPL m	ALTRA t ha ⁻¹	BIOPA m	CODRA cm	DIDRA cm	NURAI n.º	RENRA t ha ⁻¹
1	1,155 b	0,505 a	12,650 c	13,800 b	3,200 a	7,250 b	11,875 b
2	1,465 a	0,485 b	11,192 c	27,500 a	4,050 a	1,900 c	12,600 b
3	0,975 b	0,350 b	6,709 d	15,300 b	2,700 a	3,125 c	4,050 b
4	1,325 a	0,565 a	8,575 c	22,200 b	4,100 a	4,475 c	17,525 b
5	0,895 b	0,355 b	10,542 c	19,900 b	3,400 a	5,425 c	19,859 a
6	1,330 a	0,455 b	18,050 b	19,200 b	3,700 a	7,125 b	30,625 a
7	1,105 b	0,430 b	8,283 c	20,600 b	3,650 a	6,500 b	17,917 b
8	1,755 a	0,720 a	17,000 b	32,700 a	3,950 a	3,625 c	23,725 a
9	1,290 a	0,610 a	13,217 c	19,400 b	3,600 a	7,915 b	24,217 a
10	1,070 b	0,405 b	7,734 c	23,600 a	3,800 a	6,125 b	19,642 a
11	1,280 a	0,470 b	11,142 c	22,300 b	4,000 a	5,125 c	18,600 b
12	1,590 a	0,590 a	14,667 b	25,900 a	3,000 a	3,500 c	12,692 b
13	1,040 b	0,580 a	6,075 d	17,100 b	2,550 a	4,750 c	8,584 b
14	1,335 a	0,585 a	15,342 b	23,200 b	4,550 a	6,500 b	21,484 a
15	1,255 a	0,525 a	7,534 c	22,400 b	3,000 a	4,750 c	12,459 b
16	1,500 a	0,590 a	11,092 c	25,500 a	3,300 a	4,500 c	19,333 a
17	1,280 a	0,598 a	7,792 c	24,700 a	3,200 a	3,300 c	11,067 b
18	0,880 b	0,435 b	9,725 c	23,700 a	3,300 a	4,830 c	17,875 b
19	0,665 b	0,320 b	6,783 d	22,500 b	2,800 a	4,000 c	9,550 b
20	1,060 b	0,415 b	7,008 d	21,900 b	3,150 a	2,830 c	8,667 b
21	0,995 b	0,430 b	10,108 c	26,900 a	3,100 a	6,550 b	18,342 b
22	1,245 a	0,505 a	10,009 c	30,000 a	3,500 a	5,250 c	22,100 a
23	1,335 a	0,773 a	11,050 c	25,200 a	3,600 a	4,775 c	18,108 b
24	1,065 b	0,380 b	8,184 c	22,900 b	3,750 a	3,955 c	15,492 b
25	1,255 a	0,530 a	9,983 c	16,200 b	2,400 a	10,415 a	21,308 a
26	1,330 a	0,510 a	10,784 c	22,300 b	3,500 a	6,125 b	21,867 a
27	1,285 a	0,640 a	10,417 c	15,800 b	3,200 a	6,000 b	13,717 b
28	1,375 a	0,540 a	8,717 c	21,600 b	3,150 a	5,625 b	16,650 b
29	1,295 a	0,390 b	18,050 b	21,600 b	4,050 a	5,750 b	20,842 a
30	1,185 b	0,605 a	8,342 c	17,900 b	3,100 a	7,125 b	14,484 b
31	0,865 b	0,295 b	8,900 c	25,500 a	3,450 a	4,455 c	28,859 a
32	1,525 a	0,450 b	16,609 b	24,000 a	3,850 a	5,875 b	23,175 a
33	1,335 a	0,470 b	9,717 c	19,000 b	3,100 a	6,955 b	15,225 b
34	0,800 b	0,355 b	6,025 d	21,300 b	3,200 a	3,250 c	8,025 b
35	1,010 b	0,445 b	8,825 c	19,400 b	3,100 a	8,125 a	23,025 a
36	1,400 a	0,640 a	14,459 b	19,500 b	3,100 a	6,080 b	20,484 a
37	1,160 b	0,310 b	13,109 c	25,400 a	3,600 a	2,250 c	10,758 b
38	0,960 b	0,460 b	8,725 c	23,600 a	3,200 a	6,375 b	24,425 a
39	1,030 b	0,800 a	3,283 e	20,500 b	3,400 a	7,830 b	20,659 a
40	1,200 b	0,340 b	10,258 c	23,600 a	3,650 a	5,750 b	19,408 a
41	1,175 b	0,430 b	12,708 c	19,400 b	3,100 a	5,584 b	15,309 b
42	1,230 a	0,190 b	8,559 c	25,900 a	3,300 a	4,000 c	11,958 b
43	1,075 b	0,375 b	9,925 c	17,100 b	3,300 a	3,495 c	7,742 b
44	1,315 a	0,520 a	9,259 c	17,000 b	3,250 a	5,250 c	14,392 b
45	1,140 b	0,420 b	11,317 c	20,200 b	5,350 a	1,625 c	8,809 b
46	1,180 b	0,300 b	11,833 c	21,300 b	2,950 a	2,500 c	10,109 b
47	0,960 b	0,855 a	13,233 c	26,200 a	3,250 a	9,000 a	28,692 a
48	1,215 b	0,590 a	10,234 c	19,100 b	3,350 a	6,125 b	13,867 b
49	0,970 b	0,390 b	11,733 c	30,100 a	3,400 a	6,750 b	30,734 a
50	0,935 b	0,310 b	6,384 d	27,100 a	3,300 a	3,275 c	11,542 b
51	1,440 a	0,665 a	11,000 c	21,800 b	3,150 a	7,665 b	20,759 a
52	1,370 a	0,260 b	11,934 c	18,400 b	3,400 a	3,875 c	9,925 b

Continua

Tabela 2. Conclusão

Subamostras	ALTPL	ALTRA	BIOPA	CODRA	DIDRA	NURAI	RENRA
	m	t ha ⁻¹	m	cm		n.º	t ha ⁻¹
52	1,370 a	0,260 b	11,934 c	18,400 b	3,400 a	3,875 c	9,925 b
53	1,265 a	0,455 b	13,042 c	25,300 a	3,650 a	5,250 c	20,925 a
54	1,385 a	0,435 b	6,700 d	20,900 b	3,400 a	5,375 c	10,167 b
55	0,765 b	0,200 b	7,117 d	19,900 b	3,000 a	5,250 c	8,675 b
56	1,425 a	0,590 a	10,883 c	21,900 b	2,950 a	4,875 c	12,311 b
57	0,920 b	0,700 a	8,292 c	16,000 b	2,650 a	3,497 c	6,800 b
58	1,045 b	0,285 b	8,600 c	21,500 b	2,550 a	5,750 b	17,068 b
59	1,125 b	0,545 a	6,734 d	22,400 b	3,350 a	7,000 b	16,409 b
60	1,490 a	0,430 b	21,867 b	30,000 a	3,450 a	6,750 b	31,275 a
61	1,510 a	0,483 b	15,533 b	22,200 b	3,000 a	10,415 a	24,217 a
62	1,130 b	0,580 a	11,267 c	21,300 b	3,650 a	4,375 c	15,184 b
63	1,070 b	0,498 a	8,884 c	26,200 a	4,050 a	3,330 c	12,125 b
64	1,455 a	0,315 b	16,167 b	24,200 a	3,650 a	4,500 c	17,192 b
65	1,100 b	0,445 b	11,100 c	24,500 a	3,350 a	7,625 b	23,334 a
66	1,185 b	0,310 b	15,625 b	25,100 a	3,250 a	10,000 a	35,833 a
67	1,775 a	0,470 b	31,642 a	27,500 a	3,800 a	8,790 a	45,475 a
68	1,435 a	0,430 b	18,959 b	21,400 b	2,900 a	5,500 b	18,042 b
69	1,245 a	0,475 b	13,083 c	18,300 b	3,350 a	10,000 a	23,459 a
70	1,115 b	0,240 b	9,434 c	19,600 b	3,500 a	3,375 c	13,225 b
71	1,795 a	0,390 b	13,934 c	24,000 a	3,450 a	3,375 c	20,367 a
72	1,100 b	0,520 a	9,833 c	22,500 b	3,250 a	6,253 b	17,917 b
73	1,395 a	0,570 a	12,117 c	24,300 a	3,600 a	3,665 c	13,425 b
74	1,585 a	0,510 a	17,225 b	26,100 a	3,600 a	7,000 b	26,775 a
75	1,435 a	0,290 b	13,300 c	22,100 b	3,950 a	4,165 c	19,750 a
76	1,285 a	0,680 a	0,561 e	30,400 a	3,400 a	3,165 c	21,692 a
77	1,215 b	0,565 a	0,576 e	18,200 b	3,650 a	3,415 c	13,967 b
78	1,335 a	0,495 a	0,932 e	20,600 b	3,950 a	5,000 c	22,567 a
79	1,215 b	0,580 a	0,354 e	17,400 b	2,700 a	5,000 c	14,025 b
80	1,225 a	0,535 a	0,500 e	39,000 a	4,000 a	3,800 c	15,875 b
81	1,160 b	0,550 a	0,412 e	24,300 a	3,300 a	2,625 c	10,942 b
82	1,055 b	0,440 b	0,706 e	23,000 b	3,950 a	6,250 b	20,459 a
83	1,375 a	0,805 a	0,928 e	25,500 a	3,550 a	3,290 c	11,750 b
84	1,035 b	0,545 a	0,308 e	20,700 b	3,200 a	3,705 c	9,142 b
85	1,145 b	0,275 b	0,737 e	26,300 a	3,900 a	2,875 c	14,475 b
86	1,350 a	0,460 b	0,700 e	19,000 b	3,800 a	5,000 c	17,083 b
87	0,965 b	0,380 b	0,434 e	22,800 b	3,400 a	5,750 b	17,117 b
88	1,425 a	0,525 a	1,223 e	24,100 a	4,000 a	2,875 c	14,534 b
89	1,365 a	0,580 a	0,806 e	19,100 b	3,100 a	6,160 b	19,583 a
90	1,325 a	0,500 a	0,728 e	25,600 a	3,850 a	3,955 c	16,659 b
91	1,410 a	0,625 a	0,791 e	27,700 a	3,500 a	2,830 c	15,358 b
92	1,190 b	0,410 b	1,054 e	26,700 a	3,800 a	6,288 b	29,950 a
93	1,510 a	0,590 a	0,990 e	26,300 a	3,600 a	6,000 b	28,833 a
94	1,590 a	0,555 a	1,007 e	18,900 b	3,250 a	3,250 c	8,009 b
95*	1,210 b	0,455 b	8,075 c	17,200 b	3,850 a	5,125 c	17,017 b
96*	1,250 a	0,490 a	9,625 c	23,200 b	3,750 a	5,915 b	19,792 a
97*	1,590 a	0,430 b	9,517 c	22,900 b	3,800 a	4,580 c	17,484 b
98*	1,270 a	0,420 b	10,567 c	20,400 b	3,200 a	5,375 c	13,323 b
99*	0,765 b	0,425 b	4,433 d	18,300 b	3,000 a	4,175 c	10,467 b
100*	1,395 a	0,555 a	12,750 c	26,500 a	4,300 a	4,500 c	21,517 a
Média geral	1,230	0,480	9,150	0,230	3,440	5,220	17,550
Média Landraces	1,272	0,531	0,723	0,240	3,574	4,275	16,948
Média F ₁	1,222	0,471	11,281	0,223	3,393	5,484	17,774
Média Comerciais	1,247	0,462	9,161	0,214	3,650	4,945	16,660
CV (%)	16,01	26,77	36,42	16,62	13,00	31,07	37,20

*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott, (p<0,05).

Em relação ao rendimento de biomassa da parte aérea, FUKUDA et al. (2002) reportam sua importância quando o objetivo é a seleção indireta para o rendimento de raízes com base nesta característica. Dentre as características fenotípicas avaliadas, o rendimento da biomassa da parte aérea foi aquela em que o maior número de grupos foi formado, ao todo cinco, e conseqüentemente aquele com maior variabilidade. Destaque para subamostra 67, que obteve um rendimento médio de 31,64 t ha⁻¹. O segundo grupo com a maior média, 17 t ha⁻¹, superou a média das testemunhas em 8 t ha⁻¹ (Tabela 2).

O comprimento das raízes tuberosas aos onze meses pós-plantio foi em média de 22 cm (Tabela 2). Foi possível a distinção de dois grupos, sendo a média do primeiro de 26,39 cm e a do segundo de 20 cm. PINHO et al. (1995) realizaram colheitas em doze épocas, na busca de informações sobre a influência dos componentes de produção e da partição de matéria seca na produção de raízes tuberosas de mandioca e constataram comprimentos médios de raízes aos dezesseis meses pós-plantio de 23 cm. Já KVITSCHAL et al. (2003), em avaliações realizadas durante três anos agrícolas consecutivos, relatam que o comprimento médio de raízes tuberosas foi de 31,63 cm.

A discriminação de grupos para o diâmetro de raízes tuberosas não ocorreu. Ressalta-se que a média das subamostras foi de 3,43 cm enquanto a média das testemunhas foi de 3,65 cm.

O número de raízes tuberosas por planta é outro importante componente de produção da mandioca. Ocorreu a formação de três grupos, com médias de 9,5, 6,5 e 4 raízes por planta. As subamostras 25, 35, 47, 61, 66, 67 e 69 produziram em média 9,5 raízes tuberosas por planta, número superior ao produzido pelas testemunhas referenciais. Outro ponto que merece destaque é o fato de que quatro das cinco testemunhas utilizadas foram alocadas no grupo de menor média (Tabela 2).

Quanto ao rendimento de raízes tuberosas, dois grupos foram formados com rendimentos médios de 24,00 t ha⁻¹ e 13,33 t ha⁻¹. Apesar da formação de apenas dois grupos, grande amplitude (41,42 t) entre os valores médios de rendimento pode ser observada, com destaque para as subamostras 49, 60, 66, 67 e 69 (Tabela 2).

Após a constatação da variabilidade para cada característica individualmente, realizou-se o diagnóstico de multicolinearidade. Este indicou multicolinearidade fraca (NC = 17,20) e não constitui problema sério na estimação dos parâmetros posteriores.

A diversidade genética, estimada por meio da distância de Mahalanobis, aponta para maior dissimilaridade entre a subamostra 67 e a "landrace" 80, com magnitude de 124,77. A maior similaridade foi observada entre as subamostras 15 e 28 com magnitude de 0,85 (Matriz de distância não apresentada).

A distância genética entre os genitores é indicativa da expressão heterótica nas progênies (FALCONER, 1981) e a partir de populações segregantes oriundas de combinações híbridas com maior efeito heterótico ou maior heterozigose tem-se maior possibilidade de recuperação de genótipos superiores (CRUZ e REGAZZI, 2001).

É importante ressaltar que a utilização de indivíduos mais divergentes como parentais não implica necessariamente obtenção de heterose, uma vez que, estes podem ser divergentes, mas não complementares. SOUZA et al. (2005) destacam que, além da divergência genética, para a escolha dos genitores destinados a programas de hibridação e posterior seleção de indivíduos superiores nas gerações segregantes, o desempenho *per se* dos genitores bem como a complementaridade alélica entre eles deve ser considerada.

De acordo com este critério, a análise do desempenho agrônomico da subamostra 67, indica ser esta, a de melhor desempenho daquelas avaliadas, uma vez que possui elevado rendimento de biomassa da parte aérea, 31,62 t ha⁻¹, número médio de raízes tuberosas por planta de 8,8 e principalmente um rendimento de raízes tuberosas de 45,47 t ha⁻¹. Entretanto, a "landrace" 80 não tem desenvolvimento agrônomico satisfatório, principalmente pelo número de 3,8 raízes tuberosas, em média, por planta e rendimento de 15,87 t ha⁻¹ (Tabela 2). Assim, apesar dessas subamostras em magnitude serem as mais divergentes, o baixo desempenho da "landrace" 80 resultará progênies com baixo desempenho agrônomico.

Neste contexto, a utilização de técnicas multivariadas que facilitem a interpretação dos dados em conjunto é indispensável, sendo bom exemplo o método de otimização de Tocher. Assim, é possível sugerir cruzamentos entre indivíduos pertencentes a grupos diferentes, mas analisando a média do grupo para as características agrônomicas que se desejam fixar.

Utilizando o método de agrupamento de Tocher, foi possível a formação de nove grupos distintos (Tabela 3) e analisando as médias relativas às sete características fenotípicas dos nove grupos formados (Tabela 4) é possível sugerir os seguintes cruzamentos.

Tabela 3. Agrupamento, pelo método de Tocher, de cem subamostras de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), com base na dissimilaridade estimada por meio da distância generalizada de Mahalanobis em relação a sete características agronômicas (¹)

Grupo	Tratamentos/Subamostras
1	15 28 56 17 16 26 98 44 33 48 96 72 30 27 51 13 36 9 41 7 73 11 53 40 62 20 59 4 24 10 95 65 54 35 23 32 100 74 97 22 18 38 99 5 63 34 21 50 58 43 70 42 75 3 64 2 55 46 52 19 37 6 29 14 1 69 57 12 84 68
2	88 90 91 81 77 86 78 89 79 83 94 87 82 85 93 92 76
3	25 61 66
4	31 49
5	60 67
6	8 71
7	39 47
8	80
9	45

(¹) Altura da planta (ALTPL), altura da primeira ramificação (ALTRA), rendimento da biomassa da parte aérea (BIOPA), comprimento médio da raiz tuberosa (CODRA), diâmetro médio da raiz tuberosa (DIDRA), número médio de raiz tuberosa por planta (NURAI), rendimento médio de raízes (RENRA).

Tabela 4. Médias dos grupos de discriminação das subamostras de mandioca por meio do algoritmo de Tocher, relativas à sete características agronômicas

Características fenotípicas	Médias dos grupos (*) formados pelo algoritmo de Tocher								
	1(*)	2(*)	3(*)	4(*)	5(*)	6(*)	7(*)	8(*)	9(*)
ALTPL	1,206	1,289	1,316	0,917	1,632	1,775	0,995	1,225	1,140
ALTRA	0,465	0,530	0,440	0,342	0,450	0,555	0,827	0,535	0,420
BIOPA	10,390	0,760	13,713	10,316	26,754	15,466	8,258	0,500	11,317
CODRA	0,217	0,232	0,211	0,278	0,287	0,283	0,233	0,390	0,201
DIDRA	3,391	3,570	2,883	3,425	3,625	3,700	3,325	4,000	5,350
NURAI	5,166	4,336	10,276	5,602	7,770	3,500	8,415	3,800	1,625
RENRA	16,026	17,470	27,119	29,796	38,370	22,045	24,675	15,875	8,808

Altura da planta (ALTPL), altura da primeira ramificação (ALTRA), rendimento da biomassa da parte aérea (BIOPA), comprimento médio da raiz tuberosa (CODRA), diâmetro médio da raiz tuberosa (DIDRA), número médio de raiz tuberosa por planta (NURAI), rendimento médio de raízes (RENRA).

Para a redução do porte da planta de mandioca, sem perda em produtividade, sugere-se o cruzamento entre os indivíduos dos grupos 4 e 7 (Tabelas 3 e 4). Estes grupos obtiveram as menores médias para altura de planta, sem, contudo, comprometer a produtividade. Ao contrário, cruzamentos entre indivíduos dos grupos 5 e 6 poderiam ser promissores, se objetivo do programa for obter plantas com maior porte e com elevada produtividade (Tabelas 3 e 4).

Para a redução do diâmetro das raízes e da manutenção do critério produtividade, sugere-se o cruzamento entre os indivíduos dos grupos 3, 4 e 7, pois estes proporcionaram boa produtividade com os menores valores de DIDRA (Tabelas 3 e 4).

Pela seleção inicial de indivíduos com base no desempenho agrônômico das características número médio de raízes tuberosas por planta e rendimento de raízes tuberosas por hectare, sugere-se que cruzamentos entre os indivíduos dos grupos 3, 4 e 5 são os mais promissores (Tabelas 3 e 4). O desempenho individual de cada componente dos grupos (Tabela 2) reforça tal expectativa. Analisando as médias das subamostras 60 e 67 (Grupo 5) e as subamostras 25, 61 e 66 (Grupo 3), é possível concluir que o desempenho *per se* destas subamostras é satisfatório.

Com relação à contribuição relativa das características fenotípicas para a diversidade genética, as duas características com maior contribuição foram

o rendimento de biomassa da parte aérea e o número médio de raízes tuberosas por planta (Tabela 5). Essas características são essenciais em programas de melhoramento da mandioca, pois, podem ser utilizadas como critérios de seleção auxiliares para produtividade de raízes tuberosas, como relatado por GOMES et al. (2007).

A característica que menos contribuiu para a diversidade foi o rendimento de raízes tuberosas (Tabela 5). Contudo, após seu descarte e reagrupamento das subamostras, houve alteração do agrupamento inicial. Dessa forma, de acordo com OLIVEIRA et al. (2004), essa característica deve ser mantida em trabalhos futuros.

Tabela 5. Contribuição relativa de sete características agrônômicas avaliadas em cem subamostras de mandioca, por meio da metodologia de Singh (1981)

Características agrônômicas	Contribuição relativa (%)
ALTPL	12,019
ALTRA	8,951
BIOPA	39,640
CODRA	9,864
DIDRA	8,748
NURAI	12,931
RENRA	7,844

Altura da planta (ALTPL), altura da primeira ramificação (ALTRA), rendimento da biomassa da parte aérea (BIOPA), comprimento médio da raiz tuberosa (CODRA), diâmetro médio da raiz tuberosa (DIDRA), número médio de raiz tuberosa por planta (NURAI), rendimento médio de raízes (RENRA).

4. CONCLUSÕES

1. Há divergência genética entre as subamostras estudadas e as subamostras 60, 61, 66 e 67 são potencialmente úteis para participar de fases seguintes em um programa de melhoramento.

2. O rendimento de biomassa da parte aérea e o número de raízes tuberosas por planta são mais importantes para discriminação das subamostras.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro ao projeto, e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos para a realização do curso de mestrado.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, D.G. Caracterização de germoplasma de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Willd ex Spreng Schum) utilizando descritores de fruto. **Ciência e Agrotecnologia**, v.26, p.13-21, 2002.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação; Departamento Nacional de Meteorologia, 1992. 84p.
- CARVALHO, L.J.C.B.; SCHAAL, B.A. Assessing genetic diversity in the cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm collection in Brazil using PCR-based markers. **Euphytica**, v.120, p.133-142, 2001.
- COLOMBO, C.; SECOND, C.; VALLE, T.L.; CHARRIER, A. Genetic diversity characterization of cassava cultivars (*Manihot esculenta* Crantz). I. RAPD markers. **Genetic Molecular Biology**, v.21, p.105-113, 1998.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1999. 359 p.
- CONCEIÇÃO, A.J.. **A mandioca**. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1981. 382p.
- COSTA, M.R.; CARDOSO, E.R.; OHAZE, M.M.M. Similaridade de cultivares de mandioca por meio de marcadores RAPD. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, p.158-164, 2003.
- CRUZ, C.D. **Aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa, 2001. 585p.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2003. vol.2. 585p.
- CRUZ, C.D.; Regazzi, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2001. 390p.
- ELIAS, M.; MUHLEN, G.S. MCKEY, D.; ROA, A.C.; TOHME, J. Genetic diversity of traditional south American landraces of cassava *Manihot esculenta* Crantz: an analysis using microsatellites. **Economic Botany**, v.58, p.242-256, 2004.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Tradução de SILVA, M.A.; SILVA, J.C. Viçosa:UFV, 1981. 279p.
- FUKUDA, W.M.G.; OLIVEIRA, R.P.; FIALHO, J.F.; CAVALCANTI, J.; CARDOSO, E.M.R.; BARRETO, F. MARSHALEK, R.; COSTA, E.R.S. Germoplasma de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) no Brasil. **Revista Brasileira de Mandioca**, v.18, p.7-12, 2005.
- FUKUDA, W.M.G.; SILVA, S.O.; IGLESIAS, C. Cassava Breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.2, p.617-638, 2002.

- GOMES, C.N.; CARVALHO, S.P.; JESUS, A.M.S.; CUSTÓDIO, T.N. Caracterização morfoagronômica e coeficientes de trilha de caracteres componentes da produção em mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1121-1130, 2007.
- GONÇALVES-VIDIGAL, M.C.; VIDIGAL-FILHO, P.S.; AMARAL-JÚNIOR, A.T.; BACCINI, A.L. Divergência genética entre cultivares de mandioca por meio de estatística multivariada. **Bragantia**, v.56, p.263-271, 1997.
- KVITSCHAL, M.V.; VIDIGAL FILHO P.S.; PEQUENO M.G.; SAGRILO E.; BRUMATI C.C.; MANZOTI M.; BEVILAQUA G. Avaliação de clones de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) para indústria na região noroeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, v.25, p.299-304, 2003.
- MAHALANOBIS, P.C. On the generalized distance in statistics. **Proceedings of the National Institute of Sciences of India**, v.2, p.49-55, 1936.
- MUHLEN, G.S.; MARTINS, P.S.; ANDO, A. Variabilidade genética de etnovarietades de mandioca, avaliada por marcadores de DNA. **Scientia Agricola**, v.57, p.319-328, 2000.
- NICK, C.; CARVALHO, M.; ASSIS, L.H.B.; CARVALHO, S.P. Genetic dissimilarity in cassava clones determined by multivariate techniques. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.8, p.104-110, 2008.
- OLIVEIRA, A.C.B.; SEDIYAMA, M.A.N.; PEDROSA, M.W.; GARCIA, N.C.P.; GARCIA, S.L.R. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. **Acta Scientiarum**, v.26, p.211-217, 2004.
- OTSUBO, A.A.; LORENZI, J.O. **Cultivo da mandioca na Região Centro-Sul do Brasil**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 116p.
- PERONI, N.; MARTINS, P.S.; ANDO, A. Diversidade inter e intra-específica e uso de análise multivariada para morfologia da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): um estudo de caso. **Scientia Agricola**, v.56, p.2-14, 1999.
- PINHO, J.L.N.; TÁVORA, F.J.A.F.; MELO, F.I.O.; QUEIROZ, G.M. Componentes de produção e capacidade distributiva da mandioca no litoral do Ceará. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.7, p.89-96, 1995.
- RAO, R.C. **Advanced statistical methods in biometric research**. New York: J. Wiley, 1952. 330 p.
- SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. A cluster analysis methods for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v.30, p.507-512, 1974.
- SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetics e Plant Breeding**, v.41, p.237-245, 1981.
- SIQUEIRA, M.V.B.M.; QUEIROZ-SILVA, J.R.; BRESSAN, E.A.; BORGES, A.; PEREIRA, K.J.C.; PINTO, J.G.; VEAHEY, E.A. Genetic characterization of cassava (*Manihot esculenta*) landraces in Brazil assessed with simple sequence repeats. **Genetic Molecular Biology**, v.32, p.104-110, 2009.
- SOUZA, F.de.F.; QUEIROZ, M.A.de.; DIAS, R.de.C.S. Divergência genética em linhagens de melancia. **Horticultura Brasileira**, v.23, p.179-183, 2005.
- VIDIGAL FILHO, P.S.; PEQUENO, M.G.; SCAPIM, C.A.; VIDIGAL, M. C. G. V.; MAIA, R. R.; SAGRILO, E.; SIMON. G.A.; LIMA, R.S. Avaliação de cultivares de mandioca na região noroeste do Paraná. **Bragantia**, v.59, p.69-75, 2000.
- VIEIRA, E.A.; FIALHO, J.F.; FALEIRO, F.G.; BELLON, G.; CARVALHO, L.J.C.B.; SILVA, M.S.; MORAES, S.V.P.; FILHO, M.O.S.S.; SILVA, K.N. Divergência genética entre acessos açucarados e não açucarados de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1707-1715, 2008.