

Estimativa de parâmetros genéticos, análise de trilha e seleção em bucha vegetal para caracteres agrônômicos

Ariel Dotto Blind¹, Mágnio Sávio Ferreira Valente², Maria Teresa Gomes Lopes², Marcos Deon Vilela de Resende³

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil. E-mail: ariel.blind@inpa.gov.br (ORCID: 0000-0002-1499-7556)

² Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Produção Animal e Vegetal, Manaus, AM, Brasil. E-mail: magnosavio@yahoo.com.br (ORCID: 0000-0003-4730-0062); mtglopes@hotmail.com (ORCID: 0000-0003-1988-7126)

³ Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. E-mail: marcos.deon@gmail.com (ORCID: 0000-0002-3087-3588)

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos e realizar estudos de associação entre caracteres de interesse agrônômico em 24 acessos de bucha vegetal (*Luffa cylindrica* L.) provenientes de sete Estados brasileiros, com o intuito de selecionar genótipos potencialmente promissores para serem introduzidos em programas de melhoramento da cultura. Foram avaliados nove caracteres relacionados a produção e a qualidade de frutos e fibras de importância econômica para a espécie. A presença de variabilidade genética e altas herdabilidades em nível de médias (0,70 - 0,99) indicaram a possibilidade de ganhos expressivos com a aplicação da seleção fenotípica para os caracteres de interesse. Ganho genético de 42,79% foi obtido para produção de fibras após seleção dos oito genótipos superiores. As maiores correlações ($r > 0,73$) foram alcançadas entre os caracteres relacionados a circunferência dos frutos e espessura de fibra. A massa seca da fibra e o número de frutos apresentaram elevados efeitos diretos sobre a produção de fibras, todavia, com efeitos indiretos indesejáveis entre estes. O uso de índice de seleção possibilitou ganhos simultâneos em caracteres correlacionados negativamente, gerando boa perspectiva para o desenvolvimento de cultivares de bucha para uso na agroindústria de acordo com o mercado para qual o produto se destina.

Palavras-chave: ganho genético; herdabilidade; *Luffa cylindrica* L.; modelos mistos

Estimates of genetic parameters, path analysis and selection on vegetable sponge for agronomic traits

ABSTRACT: The aim of this study was to estimate genetic parameters and conduct association studies between traits of agro-industrial interest in 24 accessions of vegetable sponge (*Luffa cylindrica* L.) from seven Brazilian states in order to identify potentially promising genotypes to be introduced in crop breeding programs. The assessment covered nine traits related to the yield and quality of fruits and fibers of economic importance for the species. The presence of genetic variability and high mean heritability (0.70 - 0.99) are indicative of possible significant gains by applying phenotypic selection for traits of interest. A genetic gain of 42.79% was obtained for fiber production after selecting eight superior genotypes. The highest estimated correlations ($r > 0.73$) were between the traits related to fruit circumference and fiber thickness. Dry fiber weight and the number of fruits showed strong direct effects on fiber yield, but there were some undesirable indirect effects. Use of the selection index produced simultaneous gains in negatively correlated traits, offering a promising outlook for the development of vegetable sponge cultivars for use in agro-industry.

Key words: genetic gain; heritability; *Luffa cylindrica* L.; mixed models

Introdução

A bucha vegetal (*Luffa cylindrica* L.), da família cucurbitácea, é uma planta herbácea trepadeira, de caule longo e tem como centro de diversidade o sudeste asiático (Oboh & Alyor, 2009). A espécie pode ser encontrada em todo o território brasileiro, possuindo baixo custo de produção de frutos, com ampla aplicabilidade em diversos setores da agroindústria. A cultura é comumente utilizada na limpeza geral, higiene pessoal, confecção de artesanatos e na indústria como filtros para piscinas, água e óleo (Ferreira et al, 2010).

Devido a procura crescente por produtos sustentáveis e ecologicamente corretos, a área cultivada de bucha vegetal tem aumentado em várias regiões brasileiras, apresentando-se como importante atividade econômica e social, principalmente na agricultura familiar. Apesar do aumento da demanda, a espécie ainda carece de estudos nos mais diversos campos da agronomia, a fim de subsidiar avanços nos sistemas de cultivo e no aprimoramento genético da cultura.

Pesquisas envolvendo as propriedades térmicas, mecânicas e químicas das fibras de bucha (Ghali et al. 2011; Tanobe et al., 2014) tem sido alvo de empresas e centros de pesquisa em todo o mundo. Isto porque as propriedades tecnológicas das fibras evidenciam o seu uso em substituição e/ou incorporação em novos produtos e compósitos (Oboh & Alyor, 2009; Laidani et al., 2012). As propriedades medicinais provenientes de diferentes estruturas vegetativas da espécie também têm ganhado destaque nos últimos anos (Partap et al., 2012).

No Brasil, os trabalhos atuais desenvolvidos com a bucha vegetal têm sido pontuais e limitados à caracterização e avaliação de germoplasma (Ferreira et al., 2010; Lira et al., 2012). Estudos envolvendo a utilização como porta-enxerto (Ito et al. 2014; Medeiros et al., 2014), acúmulo de nutrientes (Siqueira et al., 2009) e aspectos relacionados a germinação de sementes (Moreira et al., 2007), também têm sido considerados. Contudo, são poucas as informações que efetivamente podem ser utilizadas em programas de melhoramento da espécie, uma vez que grande parte das

pesquisas realizadas não faz referência à origem do material vegetal utilizado e nem fornecem parâmetros genéticos que facilitem a identificação de tipos geneticamente superiores.

Atualmente, a maioria dos materiais cultivados não apresentam nenhum nível de melhoramento, constituindo-se de tipos varietais locais derivados de seleção feita por pequenos produtores durante várias gerações. Deste modo, estes genótipos apresentam uma série de limitações como desuniformidade no padrão de coloração, de diâmetro e comprimento dos frutos, entre outras características importantes para a comercialização (Lira et al., 2012) e normalmente é observada grande variabilidade em caracteres de interesse comercial na cultura (Kumar et al., 2013).

Até o presente momento, são poucas as cultivares definidas e específicas para determinado uso. As mais conhecidas são denominações institucionais de avaliações preliminares. No entanto, para que a seleção de genótipos superiores seja feita com maior acurácia, torna-se necessário o conhecimento dos efeitos ambientais sobre os caracteres que conferem maior produção, uniformidade, melhor padronização e qualidade dos frutos/fibra. Adicionalmente, informações genéticas para os caracteres agroindustriais, aliado ao conhecimento das associações entre estes, constituiria base fundamental para o sucesso de um programa de melhoramento da espécie (Rabbani et al., 2012). Estes dados irão contribuir na escolha dos métodos mais adequados de condução das populações segregantes e também permitirão inferir sobre a variabilidade genética e os ganhos esperados com a seleção.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos e realizar estudos de associação entre caracteres de interesse agroindustrial em 24 acessos de bucha vegetal, com o intuito de selecionar genótipos potencialmente promissores para serem introduzidos nos programas de melhoramento da cultura.

Material e Métodos

Foram avaliados 24 acessos de *Luffa cylindrica* provenientes de sete Estados Brasileiros (Tabela 1).

Tabela 1. Lista dos acessos de *Luffa cylindrica* e seus respectivos locais de coleta.

Acesso*	BAG ¹	Local	Acesso*	BAG ¹	Local
01	FBVAR-15	São José – SC	13	IAC-86	Campinas - SP
02	FBVAR-44	Tomé Açu - PA	14	IAC-82	Campinas - SP
03	FBVAR-20	Palotina - PR	15	IAC- 9	Brasília - DF
04	IAC-9	Monte Alegre do Sul - SP	16	FBVAR-06	Presidente Figueiredo - AM
05	IAC-27	Umuarama - PR	17	FBVAR-13	Manacapuru - AM
06	IAC-30	Campinas - SP	18	FBVAR-19	Manaus - AM
07	IAC-42	Presidente Prudente - SP	19	FBVAR-34	Irlanduba - AM
08	IAC-12	Campinas - SP	20	FBVAR-03	Presidente Figueiredo - AM
09	IAC-92	Eldorado - SP	21	FBVAR-10	Porto Velho - RO
10	IAC-20	Umuarama - PR	22	FBVAR-28	Porto Velho - RO
11	IAC-47	Monte Alegre do Sul - SP	23	FBVAR-29	Manaus - AM
12	IAC-55	Brasília - DF	24	FBVAR-07	Vilhena - RO

*Numeração utilizada para identificação no estudo proposto.

¹Identificação no BAG – Banco Ativo de Germoplasma da Universidade Federal do Amazonas.

As amostras foram selecionadas pelo histórico de manutenção seminal como variedades crioulas e reunidas institucionalmente por meio de cessão de germoplasma entre a Universidade Federal do Amazonas, Embrapa Hortaliças, Instituto Agrônomo do Paraná e Instituto Agrônomo de Campinas.

A avaliação do material vegetal foi realizada na estação experimental de Hortaliças do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, localizada na cidade de Manaus-AM. O solo do local foi classificado como Argissolo Amarelo distrófico de textura arenosa e o clima da região caracterizado como “Afi” equatorial quente e úmido segundo classificação climática de Köppen, com precipitação média anual de 2700 mm e temperatura do ar média anual de 26,5 °C, variando entre mínima e máxima de 22,5 °C e 38,0 °C.

A semeadura dos acessos foi realizada em copos descartáveis e as mudas permaneceram em ambiente protegido até apresentarem quatro folhas definitivas (20 dias), quando então foram transplantadas para o campo, em janeiro de 2014.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados completos com 4 repetições e três plantas por parcela. O experimento foi conduzido no sistema de cultivo tipo espaldeira vertical com espaçamento de 3,0 m entre linhas e 1,5 m entre plantas. Os tratamentos culturais necessários ao desenvolvimento da cultura, assim como o processamento pós-colheita dos frutos, foram realizados de acordo com Siqueira et al. (2009) e Carvalho (2007).

Os caracteres quantitativos avaliados foram: produção de fibra - PROD (g planta⁻¹), obtido a partir do total de fibra seca coletado por planta no período de seis meses de produção, entre abril e setembro de 2014; número de frutos - NF (unidade), contagem do número de frutos durante seis meses de produção; comprimento do fruto - CF (cm), aferido do pedúnculo a base do fruto com auxílio de fita milimétrica; circunferência apical do fruto - CAF (mm), mensurada à 3 cm do pedúnculo; circunferência medial do fruto - CMF (mm), obtida na região mediana do fruto; circunferência basal do fruto - CBF (mm), quantificada à 3 cm da base do fruto com auxílio de fita milimétrica; massa seca da fibra - MSF (g), obtida por fruto em etapa posterior ao período de pós-colheita utilizando balança digital $\pm 0,001$ g; espessura mínima da fibra - EMI (mm) e espessura máxima da fibra - EMA (mm), coletadas diretamente na manta fibrosa na posição medial da estilha com auxílio de paquímetro digital. Também foram avaliados os seguintes caracteres qualitativos multicategóricos: maciez da fibra (classificada em muito dura, dura, macia e muito macia), cor natural da fibra (classificada em cristalina, creme e amarela) e o tipo de fruto (classificado em cilíndrico, achatado e triangular). Com exceção da produção de fibra e do número de frutos, para avaliação dos demais caracteres, foi utilizada uma amostra de cinco frutos por planta representada em campo, contabilizando um total de sessenta frutos amostrados por acesso.

Os caracteres quantitativos foram analisados por meio da metodologia de modelos mistos, procedimento REML/BLUP

(máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada), segundo o seguinte modelo linear: $y = Xr + Zg + Wp + e$, em que y é o vetor de dados, r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), p é o vetor dos efeitos de parcela, e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. A estimação dos parâmetros genéticos foi realizada por meio do modelo 94 de análise no software genético estatístico Selegen-Reml/Blup (Resende, 2007a).

Foram obtidas as correlações fenotípicas e genotípicas para todas as combinações de caracteres. A significância destas foi estimada pelo teste t com $n-2$ graus de liberdade, em que n corresponde ao número de genótipos avaliados. Posteriormente, realizou-se o desdobramento das correlações em efeitos diretos e indiretos, por meio da análise de trilha (Cruz et al., 2014), em que a produção de fibras foi o caráter básico, número de frutos e massa seca da fibra os componentes primários e os demais caracteres foram considerados como componentes secundários de produção de fibras. O diagnóstico de multicolinearidade foi estabelecido com base no número de condição (NC), que é a razão entre o maior e o menor autovalor da matriz de correlação. As análises foram realizadas com auxílio do programa computacional Genes (Cruz, 2013).

A indicação de indivíduos superiores para um próximo ciclo de seleção foi tomada com base nos valores genotípicos totais para produção de fibras e a partir do índice de seleção de Mulamba & Mock (1978), com peso econômico 1 para produção de fibras, número de frutos e comprimento dos frutos. A eficiência do índice foi verificada por meio do coeficiente de coincidência dos genótipos selecionados pelo índice de seleção com aqueles selecionados com base na seleção direta em todos os caracteres.

Resultados e Discussão

Os valores dos coeficientes de variação genética revelaram a existência de variabilidade genética de alta magnitude entre os 24 genótipos para os nove caracteres quantitativos avaliados (Tabela 2). Valores elevados para este parâmetro são comuns em avaliações no gênero *Luffa*, sobretudo para caracteres de produção (Koppad et al., 2015; Karthik et al., 2017). A presença de variabilidade é condição essencial para o estabelecimento de qualquer programa de melhoramento genético, todavia, a eficiência da seleção de genótipos superiores irá depender de parâmetros genéticos e ambientais relacionados aos caracteres de interesse.

De modo geral, o ambiente teve pouca influência no experimento, apresentando baixo c_{parc}^2 ($<0,05$) para a maioria dos caracteres, exceto para a produção de fibra e número de frutos, que apresentaram grande heterogeneidade ambiental entre parcelas (0,51 e 0,63, respectivamente). De acordo com Resende (2007b), uma estimativa de até 0,10 seria o ideal visando maior confiabilidade dos parâmetros genéticos.

Tabela 2. Estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos em genótipos de *Luffa cylindrica*.

Componentes de variância ¹	Caracteres ²								
	PROD	NF	CF	CAF	CMF	CBF	MSF	EMI	EMA
$\hat{\sigma}_g^2$	41414,17	269,97	482,94	25,02	20,08	19,94	36,12	1,25	3,15
$\hat{\sigma}_{\text{parc}}^2$	45106,55	465,66	3,83	1,23	0,41	0,45	1,49	0,06	0,10
$\hat{\sigma}_e^2$	1294,54	8,59	1,24	0,31	0,65	0,57	0,21	0,07	0,11
$\hat{\sigma}_f^2$	87815,27	744,22	488,00	26,55	21,13	20,96	37,81	1,38	3,36
c_{parc}^2	0,51	0,63	0,01	0,05	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03
h_g^2	0,47	0,36	0,99	0,94	0,95	0,95	0,96	0,91	0,94
$h_{m,g}^2$	0,78	0,70	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99
Acc	0,89	0,84	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
CV _g (%)	49,11	36,31	66,48	33,13	22,59	23,24	58,55	34,02	37,12
CV _e (%)	51,50	47,83	6,23	7,64	3,99	4,16	12,15	8,58	7,76
CV _r	0,95	0,76	10,67	4,34	5,67	5,58	4,82	3,96	4,78
\bar{x}	414,35	45,25	33,05	15,10	19,84	19,21	10,26	3,29	4,78

¹ σ_g^2 : variância genotípica; σ_{parc}^2 : variância ambiental entre parcelas; σ_e^2 : variância residual; σ_f^2 : variância fenotípica individual; c_{parc}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; h_g^2 : herdabilidade individual no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais; $h_{m,g}^2$: herdabilidade da média de genótipo; Acc: acurácia da seleção de genótipos; CV_g (%): coeficiente de variação genotípica; CV_e (%): coeficiente de variação residual; CV_r = CV_g/CV_e: coeficiente de variação relativa; \bar{x} : média geral do experimento.

²PROD: produção de fibra; NF: número de frutos; CF: comprimento de frutos; CAF: circunferência apical do fruto; CMF: circunferência medial do fruto; CBF: circunferência basal do fruto; MSF: massa seca da fibra; EMI: espessura mínima da fibra; EMA: espessura máxima da fibra.

Estes também foram os caracteres que apresentaram os maiores coeficientes de variação experimental, uma vez que caracteres ligados a produção normalmente são controlados por vários genes, resultando em grande efeito ambiental na expressão fenotípica. Além disso, por serem germoplasma que não passaram por processo de melhoramento, apresentam elevada variação. No entanto, os coeficientes de variação experimental estimados foram inferiores aos relatados em genótipos de *Luffa acutangula* avaliados em Bangladesh (Rabbani et al., 2012).

Os valores do coeficiente de variação relativa (CVR) encontrados variaram de 0,76 a 10,67. Valores maiores ou iguais a 1 revelam uma situação muito favorável para a seleção (Cruz et al., 2014), indicando que maiores ganhos seletivos deverão ser obtidos para comprimento do fruto em comparação aos esperados para produção de fibra e número de frutos.

Devido à ampla variabilidade existente entre os genótipos estudados, aliado ao bom controle ambiental praticado, foram obtidos de médios a altos coeficientes de herdabilidade individual no sentido amplo para todos os caracteres avaliados (Tabela 2). Estes resultados apresentam-se como condição favorável à seleção, sendo também de grande importância para o avanço no melhoramento da cultura, uma vez que norteiam possibilidades de utilização de diferentes métodos de seleção e permitem estimar o progresso genético. Apesar da produção de fibra e número de frutos terem apresentado coeficientes de herdabilidade de média magnitude a nível de indivíduo (0,47 e 0,36, respectivamente), existem boas possibilidades de seleção, pois conduziram a estimativas de herdabilidade com base na média de genótipos maiores que 0,70 e acurácia na seleção de progênies de 0,89 e 0,84, respectivamente. Para os demais caracteres, altas herdabilidades (>0,90) foram estimadas tanto a nível de médias de genótipos como a nível de indivíduos, observando-se assim, acurácias próximas a unidade. Herdabilidades superiores a 0,80 também foram

estimadas por Kumar et al. (2013) e Rabbani et al. (2012) para um grande número de caracteres agrônômico em *L. cylindrica* e *L. acutangula*, respectivamente. Estes autores ainda citam que os altos valores obtidos para os coeficientes de variação genético e herdabilidades indicam possibilidade de expressivos ganhos seletivos, corroborando ao verificado no presente trabalho.

Nas fases iniciais e intermediárias de um programa de melhoramento é preferível que se tenha valores de acurácia próximos ou superiores a 70% (Resende, 2007b). Portanto, os valores de acurácia obtidos neste trabalho (variando de 84% a 99%) são promissores, possibilitando selecionar genótipos de bucha com precisão e confiabilidade para serem utilizados em programas de melhoramento ou para servirem de fonte inicial de sementes para cultivos da espécie. Nestes casos, o método de seleção fenotípica em gerações iniciais será o mais eficaz para seleção de genótipos superiores, conforme também relatado por Su et al. (2009) em trabalho com o gênero *Luffa*.

Com relação à associação entre os caracteres, deve ser destacado que as correlações fenotípicas e genotípicas apresentaram comportamento similar (Tabela 3). As maiores correlações foram obtidas entre os caracteres relacionados a circunferência dos frutos e espessura de fibra, todas significativas e positivas de alta magnitude, variando de 0,74 (CAF x EMA) a 0,98 (EMI x EMA).

Para número de frutos e comprimento de frutos, correlações negativas foram verificadas com a maioria dos caracteres. Este fato torna o processo seletivo mais complexo, haja vista que aumentos em um caráter tendem a ser acompanhados de decréscimos em outros, necessitando de adoções de restrições na seleção para obtenção de ganhos no sentido desejado. A correlação negativa estimada entre NF e CF foi similar a estimada por Choudhary et al. (2014) ($r = -0,456$) em espécie do mesmo gênero, contudo, contrastantes aos resultados de Hanumegowda et al. (2012) ($r = 0,608$). Correlações positivas e significativas

Tabela 3. Correlações fenotípicas (abaixo da diagonal) e genotípicas (acima da diagonal) entre caracteres avaliados em 24 genótipos de *Luffa cylindrica*.

Caracteres ¹	PROD	NF	CF	CAF	CMF	CBF	MSF	EMI	EMA
PROD	1	0,103	0,238	0,057	0,296	0,298	0,703**	0,331	0,470*
NF	0,295	1	-0,570**	0,133	0,001	-0,143	-0,547**	-0,265	-0,272
CF	0,216	-0,473*	1	-0,556**	-0,421*	-0,198	0,688**	-0,161	-0,065
CAF	0,055	0,111	-0,551**	1	0,918**	0,880**	-0,068	0,798**	0,742**
CMF	0,262	-0,001	-0,420*	0,913**	1	0,952**	0,220	0,875**	0,841**
CBF	0,262	-0,123	-0,196	0,875**	0,949**	1	0,371	0,916**	0,894**
MSF	0,633**	-0,452*	0,686**	-0,064	0,220	0,370	1	0,415*	0,528**
EMI	0,290	-0,224	-0,158	0,785**	0,868**	0,909**	0,414*	1	0,986**
EMA	0,423*	-0,223	-0,063	0,736**	0,837**	0,890**	0,527**	0,980**	1

¹PROD: produção de fibra; NF: número de frutos; CF: comprimento de frutos; CAF: circunferência apical do fruto; CMF: circunferência medial do fruto; CBF: circunferência basal do fruto; MSF: massa seca da fibra; EMI: espessura mínima da fibra; EMA: espessura máxima da fibra.

**, *: significativo a 1 e 5%, pelo teste t, respectivamente.

($r > 0,6$) foram observadas entre massa seca da fibra com os caracteres produção de fibra e comprimento do fruto, características de grande importância em diferentes setores agroindustriais, existindo a possibilidade de utilização destes em seleção indireta.

Como os coeficientes de correlação não informam a respeito das verdadeiras relações de causa e efeito entre os caracteres de interesse, procedeu-se a análise de trilha, sendo anteriormente avaliada a multicolinearidade pelo número de condição (NC) da matriz de correlações. A inclusão simultânea de todos os caracteres relacionados a circunferência dos frutos e espessura de fibra proporcionou efeitos severos de multicolinearidade. Resultado que confirma os observados nas altas correlações anteriormente apresentadas. Deste modo, foram eliminados os caracteres circunferência apical dos frutos, circunferência basal dos frutos e espessura mínima da fibra do modelo da análise de trilha e, novamente avaliou-se a multicolinearidade, que enquadrou-se fraca (NC = 28,75), não ocasionando maiores dificuldades para realização da análise de trilha.

As estimativas dos efeitos diretos dos caracteres primários sobre a produção de fibras evidenciaram coeficiente de determinação satisfatório ($R^2 = 0,824$), sendo apresentado maior efeito direto da massa seca da fibra (0,963) sobre o caráter básico (Tabela 4). Alto efeito direto também foi obtido para número de frutos (0,730), revelando a necessidade de se considerar conjuntamente NF e MSF a fim de eliminar os efeitos indiretos indesejáveis de um caráter sobre o outro. Tal fato pode ser explicado pela existência de correlação negativa (-0,452) entre estes caracteres (Tabela 3), o que sugere a possibilidade da seleção de indivíduos com elevado número de frutos por planta, porém apresentando baixo teor de massa seca de fibra. Rabbani et al. (2012) relataram os maiores efeitos diretos sobre a produção para número de frutos e peso médio de frutos em *L. acutangula*, ambos com correlações significativas e maiores de 0,7 com o caráter básico. Todavia, ao contrário do observado no presente trabalho, estes autores não encontraram efeitos indiretos indesejáveis entre os caracteres primários de produção.

Com base nos efeitos dos caracteres secundários é possível identificar caracteres que podem maximizar a resposta correlacionada em um programa de melhoramento

Tabela 4. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres primários e secundários sobre o caráter básico de produção de fibra avaliados em 24 genótipos de *Luffa cylindrica*.

Efeitos dos caracteres primários sobre PROD ¹			
Efeito	NF	MSF	
Direto sobre PROD	0,730	0,963	
Indireto via NF	-	-0,330	
Indireto via MSF	-0,435	-	
Total (r de Pearson)	0,295	0,633	
Coef. de Determinação (R^2) = 0,824			
Efeito residual = 0,419			
Efeitos dos caracteres secundários sobre NF, MSF e PROD			
Efeitos	NF	MSF	PROD
Caráter CF			
Direto	-0,474	0,822	0,239
Indireto via CMF	-0,017	-0,114	0,005
Indireto via EMA	0,018	-0,022	-0,028
Total (r de Pearson)	-0,473	0,686	0,216
Caráter CMF			
Direto	0,039	0,271	-0,013
Indireto via CF	0,199	-0,346	-0,100
Indireto via EMA	-0,239	0,295	0,375
Total (r de Pearson)	-0,001	0,220	0,262
Caráter EMA			
Direto	-0,286	0,353	0,449
Indireto via CF	0,030	-0,052	-0,015
Indireto via CMF	0,033	0,226	-0,011
Total (r de Pearson)	-0,223	0,527	0,423
Coef. de Determinação (R^2)	0,288	0,810	0,238
Efeito residual	0,844	0,436	0,873

¹PROD: produção de fibra; NF: número de frutos; CF: comprimento de frutos; CMF: circunferência medial do fruto; MSF: massa seca da fibra; EMA: espessura máxima da fibra.

genético (Nogueira et al., 2012). No entanto, os caracteres secundários (CF, CMF e EMA) não foram efetivos na determinação da variação do número de frutos ($R^2 = 0,288$) e produção de fibras ($R^2 = 0,238$), demonstrando que as variações nestes não podem ser explicadas de forma eficiente pelos três caracteres secundários aferidos. Neste caso, há necessidade da inclusão de novos caracteres no diagrama causal, o que poderá ser feito em trabalhos futuros e, em caso de problemas de multicolinearidade, uma alternativa seria incluir um maior número de variáveis na análise de trilha e adotar um sistema de análise de trilha

com regressão em crista (Cruz et al., 2014). Para massa seca da fibra, o coeficiente de determinação foi satisfatório ($R^2 = 0,810$), sendo apresentado efeito direto positivo a partir de todos os caracteres secundários, com destaque ao comprimento do fruto, com o maior efeito direto (0,822). Deste modo, é possível prever que a seleção indireta para MSF seria eficiente para CF. Os demais efeitos foram predominantemente negativos e/ou inferiores ao efeito residual não sendo, portanto, indicados a seleção indireta.

Os valores genotípicos, média genotípica, ganhos genéticos preditos e a nova média da população, referente à recombinação dos oito melhores genótipos (pressão de seleção de 33,33%) para produção de fibras, estão representados na Tabela 5. Os efeitos genotípicos oscilaram de 33,52 a 582,94 e a seleção dos indivíduos superiores elevou a média populacional de 414,35 g de fibra por planta para 591,65 g após um ciclo de seleção, o que equivale a um aumento de 42,79%. Estes altos valores podem ser justificados pela avaliação de germoplasma ainda não trabalhado em programas de melhoramento genético e reforçam a existência de grande variabilidade genética a ser explorada. Todavia, o ganho genético foi inferior ao observado por Choudhary et al. (2014) (59,86%) e superior ao relatado por Kumar et al. (2013) (22,73%), ambos praticando seleção direta para produção de frutos em genótipos de bucha coletados na Índia.

Ganhos expressivos muitas vezes são obtidos a partir da seleção direta em determinada característica, todavia, há dificuldade de encontrar genótipos com alelos favoráveis para todos os caracteres de interesse. No caso da bucha vegetal, o número de frutos por planta e o comprimento

Tabela 5. Efeitos genotípicos (g), média genotípica (u + g), ganho genético predito e novas médias da população com base na seleção dos oito melhores genótipos para produção de fibras (g planta⁻¹) em *Luffa cylindrica*.

Ordem	Genótipo	g	u + g	Ganho genético	Nova média
1	11	582,9446	997,2912	582,9446	997,2912
2	2	391,7842	806,1309	487,3644	901,7111
3	17	182,4674	596,8141	385,7321	800,0787
4	6	76,7655	491,1121	308,4904	722,8371
5	23	76,2216	490,5683	262,0367	676,3833
6	15	40,1656	454,5122	225,0581	639,4048
7	4	34,5958	448,9425	197,8492	612,1959
8	12	33,5232	447,8698	177,3085	591,6551

de frutos são correlacionados negativamente (Tabelas 3 e 4), deste modo, os índices de seleção são procedimentos indispensáveis permitindo a obtenção de ganhos simultâneos em caracteres com efeitos adversos.

Um total de oito dos 24 genótipos avaliados foram selecionados pelo índice baseado em soma de ranks (Mulamba & Mock, 1978) para os caracteres PROD, NF e CF (Tabela 6). Os genótipos 2, 6, 11, 12, 15, 17, 20 e 23 foram selecionados obtendo uma coincidência de 87,50% com aqueles selecionados pela seleção direta para produção de fibras. O uso do índice permitiu ganhos de 41,67, 18,59 e 5,00% para PROD, NF e CF, respectivamente, todavia, os frutos ficariam mais finos, com menor circunferência em sua área basal, medial e apical. Para manter ou aumentar o diâmetro dos frutos o pesquisador teria que abrir mão de maiores ganhos em relação ao número e comprimento de frutos, minimizando assim os efeitos deletérios da resposta correlacionada entre estes. Neste caso, a definição do fenótipo ideal irá depender sobretudo do setor da agroindústria para qual o produto de destinará. Nas mais diversas culturas agrônômicas, o uso de índices de seleção tem possibilitado a obtenção de genótipos mais produtivos e adaptados ao interesse do pesquisador (Oliveira et al., 2008).

No Brasil, a bucha vegetal tem se destacado na agricultura familiar, sobretudo na produção de esponjas e artesanato. É preciso salientar que algumas características das plantas de bucha são de interesse em qualquer setor de produção envolvido, tais como maior produção de frutos e de fibras, todavia alguns setores demandam características específicas relacionadas ao formato dos frutos e/ou propriedades físicas, químicas e mecânica das fibras (Ghali et al., 2011). Como exemplo, para que os artesanatos tenham maior firmeza e durabilidade é preciso que as buchas apresentem fibras duras. Deste modo, os genótipos 6 e 11 seriam os indicados, pois além de apresentarem alta produção de fibra e frutos, estes apresentam a textura da fibra variando de dura a muito dura (Tabela 7). Para produção de esponja as características de maior interesse seriam outras, possuindo plantas com o fenótipo desejável frutos compridos e cilíndricos com fibras macias e cristalinas (Ferreira et al., 2012). Neste sentido, os genótipos 2 e 17 seriam os mais indicados, apresentando os maiores comprimentos de fruto dentre os genótipos de fibra macia e cristalina, além do formato cilíndrico dos frutos favorecer a uniformidade na produção de esponjas e menores desperdícios.

Tabela 6. Ganhos genéticos (GS) esperados pela seleção com base no índice de Mulamba & Mock (1978) e coeficientes de coincidência dos genótipos selecionados considerando a seleção direta para nove caracteres de *Luffa cylindrica*.

Índice Mulamba & Mock	Caracteres ¹								
	PROD	NF	CF	CAF	CMF	CBF	MSF	EMI	EMA
Ganho de seleção (GS)	172,65	8,41	1,65	-1,66	-0,36	-0,81	1,94	-0,06	0,06
Ganho de seleção (GS %)	41,67	18,59	5,00	-11,01	-1,80	-4,20	18,91	-1,78	1,16
Coincidência c/ Sel. Direta (%)	87,50	50,00	62,50	12,50	12,50	25,00	25,00	25,00	37,50
Genótipos selecionados	2; 6; 11; 12; 15; 17; 20; 23								

¹PROD: produção de fibra; NF: número de frutos; CF: comprimento de frutos; CAF: circunferência apical do fruto; CMF: circunferência medial do fruto; CBF: circunferência basal do fruto; MSF: massa seca da fibra; EMI: espessura mínima da fibra; EMA: espessura máxima da fibra.

Tabela 7. Caracterização de 24 acessos de *Luffa cylindrica* para três caracteres de interesse comercial.

Acesso	Tipo de fruto	Cor natural da fibra	Maciez da fibra
01	achatado	cristalina	dura
02	cilíndrico	cristalina	macia
03	cilíndrico	creme	muito dura
04	cilíndrico	cristalina	dura
05	cilíndrico	cristalina	dura
06	cilíndrico	cristalina	dura
07	cilíndrico	cristalina	dura
08	cilíndrico	cristalina	dura
09	cilíndrico	cristalina	muito macia
10	cilíndrico	cristalina	macia
11	cilíndrico	cristalina	muito dura
12	cilíndrico	cristalina	dura
13	triangular	cristalina	macia
14	triangular	creme	macia
15	cilíndrico	creme	muito dura
16	cilíndrico	amarela	macia
17	cilíndrico	cristalina	macia
18	cilíndrico	amarela	macia
19	cilíndrico	cristalina	muito macia
20	cilíndrico	cristalina	macia
21	cilíndrico	cristalina	macia
22	cilíndrico	cristalina	macia
23	cilíndrico	cristalina	macia
24	triangular	cristalina	dura

Uma observação interessante é que os dois materiais vegetais recomendados para utilização em artesanatos foram provenientes da Região Sudeste do Brasil, enquanto os indicados para fabricação de esponjas, foram coletados na Região Norte. Em avaliações prévias da diversidade genética destes acessos a partir de marcadores genéticos (dados ainda não publicados), foi observado uma separação dos acessos provenientes do Norte com as demais regiões brasileiras. Deste modo, com objetivo de reter o máximo de variabilidade em coleções de germoplasma de *L. cylindrica*, recomenda-se priorizar futuras coletas principalmente nas regiões Norte e Sudeste do país.

De modo geral, os resultados obtidos neste trabalho geram boa perspectiva para o desenvolvimento de materiais vegetais superiores de bucha para uso na agroindústria, possibilitando ganhos expressivos de acordo com o processo seletivo adotado e mercado para qual a produto se destina.

Conclusões

A análise dos parâmetros genéticos demonstra que a amostra de germoplasma estudada apresenta considerável variabilidade genética possibilitando o aumento da produção via seleção, sendo os genótipos 2, 6, 11 e 17 os mais indicados para serem utilizados em programas de melhoramento genético da bucha vegetal.

A alta herdabilidade estimada para todos os caracteres analisados sugere o valor fenotípico como uma medida confiável para seleção de genótipos superiores. Todavia, a presença de correlações negativas entre os caracteres de

interesse torna o processo seletivo mais complexo, sendo indicado o uso de índices de seleção multivariados.

Elevados efeitos diretos sobre a produção de fibra são estimados para massa seca da fibra e número de frutos, contudo, há necessidade de se considerar conjuntamente estes a fim de eliminar os efeitos indiretos indesejáveis.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo apoio financeiro na realização deste trabalho.

Literatura Citada

- Carvalho, J. D. V. Dossiê técnico: cultivo de bucha vegetal. Brasília: CDT/UnB, 2007. 18p. <http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MjI5>. 13 abr. 2017.
- Choudhary, B. R.; Pandey, S.; Singh, P. K.; Pandey, V. Genetic diversity analysis for quantitative traits in hermaphrodite ridge gourd [*Luffa acutangula* (Roxb.) L.]. *Indian Journal of Horticulture*, v. 71, n. 2, p. 284-287, 2014. <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijh&volume=71&issue=2&article=027>. 05 mar. 2017.
- Cruz, C. D. Genes - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.
- Cruz, C. D.; Carneiro, P. C. S.; Regazzi, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3.ed. Viçosa: UFV, 2014. v.2. 668 p.
- Ferreira, I. C. P. V.; Araújo, A. V.; Cavalcanti, T. F. M.; Costa, C. A.; Ferreira, M. A. J. F. Caracterização morfológica de frutos de 17 acessos de bucha vegetal cultivados no Norte de Minas Gerais. *Horticultura brasileira*, v. 28, p. S2192-S2198, 2010. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/858951/1/AldeteCBO2010.pdf>. 13 Abr. 2017.
- Ferreira, M. A. J. F.; Lira, I. C. S. A.; Sena, E. M. N.; Aquino, D. A. L.; Passos, L. R. G.; Silva, M. L.; Araújo, C. L. Seleção de bucha vegetal para produção de esponjas. In: Congresso Brasileiro de Recursos Genéticos, 2., 2012, Belém. Anais. Brasília: Sociedade Brasileira de Recursos Genéticos, 2012. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/71544/1/Aldete-2012-3.pdf>. 04 Abr. 2017.
- Ghali, L. H.; Aloui, M.; Zidi, M.; Daly, H. B.; Msahli, S.; Sakli, F. Effect of chemical modification of *Luffa cylindrica* fibers on the mechanical and hygrothermal behaviours of polyester/luffa composites. *BioResources*, v. 6, n. 4, p. 3836-3849, 2011. http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_06_4_3836_Ghali_AZBMS_Chem_Modl_Luffa_Cylindrica. 07 Abr. 2017.
- Hanumegowda, K.; Shirol, A. M.; Mulge, R.; Shantappa, T.; Prasadkumar, P. Correlation co-efficient studies in ridge gourd [*Luffa acutangula* (L.) Roxb.]. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, v. 25, n. 1, p. 160-162, 2012. <http://www.inflibnet.ac.in/ojs/index.php/KJAS/article/viewFile/1316/1193>. 13 Abr. 2017.

- Ito, L. A.; Gaion, L. A.; Galatti, F. S.; Braz, L. T.; Santos, J. M. Resistência de porta-enxertos de cucurbitáceas a nematoides e compatibilidade da enxertia em melão. *Horticultura Brasileira*, v. 32, n. 3, p. 297-302, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000300010>.
- Karthik, D.; Varalakshmi, B.; Kumar, G.; Lakshmi, N. Genetic variability studies of ridge gourd advanced inbred lines (*Luffa acutangula* (L.) Roxb.). *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, v. 5, n. 6, p. 1223-1228, 2017. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.6079>.
- Koppad, S. B.; Chavan, M. L.; Hallur, R. H.; Rathod, V.; Shantappa, T. Variability and character association studies in ridge gourd (*Luffa acutangula* Roxb.) with reference to yield attributes. *Journal of Global Biosciences*, v. 4, n. 5, p. 2332-2342, 2015. <http://www.mutagens.co.in/jgb/vol.04/5/27.pdf>. 20 Feb. 2018.
- Kumar, R.; Ameta, K. D.; Dubey, R. B.; Pareek, S. Genetic variability, correlation and path analysis in sponge gourd (*Luffa cylindrica* Roem.). *African Journal of Biotechnology*, v. 12, n. 6, p. 539-543, 2013. <https://doi.org/10.5897/AJB12.2968>.
- Laidani, Y.; Hanini S.; Mortha, G.; Heninia, G. Study of a fibrous annual plant, *Luffa cylindrica* for paper application part I: characterization of the vegetal. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, v. 31, n. 4, p. 119-129, 2012. http://www.ijcce.ac.ir/article_5935_afa18d5ac0fbad67621c49389d007b8b.pdf. 13 Abr. 2017.
- Lira, I. C. S. A.; Passos, L. R. G.; Ferreira, M. A. J. F.; Silva, M. L.; Sena, E. M. N.; Araújo, C. L.; Aquino, D. A. L. Seleção intra-populacional em bucha vegetal. *Horticultura Brasileira* v. 30, p. S4406-S4413, 2012. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/935150/1/Aldete.pdf>. 05 Abr. 2017.
- Medeiros, A. M. A.; Bezerra, F. M. S.; Lima, L. A.; Cavalcante, A. L. G.; Linhares, P. S. F.; Alves, R. C.; Oliveira, F. A. Desenvolvimento inicial da bucha vegetal irrigada com águas salinas. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 10, n. 1, p. 111-117, 2014. <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/viewFile/445/pdf>. 13 Abr. 2017.
- Moreira, F. J. C.; Innecco, R.; Silva, M. A. P.; Medeiros Filho, S. Tratamentos pré-germinativos em sementes de *Luffa cylindrica* Roemer. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 2, p. 233-238, 2007. <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/136/131>. 07 Abr. 2017.
- 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, n. 1, p. 40-51, 1978.
- Nogueira, A. P. O.; Sedyama, T.; Sousa, L. B.; Hamawaki, O. T.; Cruz, C. D.; Pereira, D. G.; Matsuo, É. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. *Bioscience Journal*, v. 28, n. 6, p. 877-888, 2012. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/14576>. 05 Abr. 2017.
- Oboh, O.; Aluyor, E. O. *Luffa cylindrica* - an emerging cash crop. *African Journal of Agricultural Research*, v. 4, n. 8, p. 684-688, 2009. <http://www.academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/7F7A6C137750>. 01 Abr. 2017.
- Oliveira, E. J.; Silva Santos, V.; Lima, D. S.; Machado, M. D.; Lucena, R. S.; Motta, T. B. N.; Silva Castellen, M. Seleção em progênies de maracujazeiro-amarelo com base em índices multivariados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 11, p. 1543-1549, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008001100013>.
- Partap, S.; Kumar, A.; Sharma, N K.; Jha, K. K. *Luffa Cylindrica*: An important medicinal plant. *Journal of Natural Product and Plant Resources*, v. 2, n. 1, p. 127-134, 2012. <http://www.scholarsresearchlibrary.com/articles/luffa-cylindrica--an-important-medicinal-plant.pdf>. 10 Abr. 2017.
- Rabbani, M. G.; Naher, M. J.; Hoque, S. Variability, character association and diversity analysis of ridge gourd (*Luffa acutangula* Roxb.) genotypes of Bangladesh. *SAARC Journal of Agriculture*, v. 10, n. 2, p. 1-10, 2012. <https://doi.org/10.3329/sja.v10i2.18319>.
- Resende, M. D. V. Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético. Colombo: Embrapa Florestas, 2007b. 535 p.
- Resende, M. D. V. Software SELEGEN - REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a. 359p.
- Siqueira, R. S.; Santos, R. H. S.; Martinez, H. E. P.; Cecon, P. R. Crescimento, produção e acúmulo de nutrientes em *Luffa cylindrica* M. Roem. *Revista Ceres*, v. 56, n. 5, p. 685-696, 2009. <http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/viewFile/3478/1377>. 29 Mar. 2017.
- Su, X. J.; Xu, H.; Gao, J.; Zheng, Z. S.; Song, B.; Chen, L. Z.; Yuan, X. H.; Chen, J. F. Genetic analysis on fruit characters of *Luffa*. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, v. 25, n. 5, p. 1112-1118, 2009. http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-JSNB200905032.htm. 31 Mar. 2017.
- Tanobe, V. O.; Flores-Sahagun, T. H.; Amico, S. C.; Muniz, G. I.; Satyanarayana, K. G. Sponge gourd (*Luffa cylindrica*) reinforced polyester composites: preparation and properties. *Defence Science Journal*, v. 64, n. 3, p. 273, 2014. <https://doi.org/10.14429/dsj.64.7327>.