

DETECÇÃO DE QTLs CANDIDATOS PARA PESO E TAMANHO DO PSEUDOFRUTO DO CAJUEIRO (*Anacardium occidentale* L.)

Francisco Herbeth Costa dos Santos¹; José Jaime Vasconcelos Cavalcanti²; Fanuel Pereira da Silva³.

Resumo

A seleção assistida por marcadores (SAM) vem auxiliando diversos programas de melhoramento, acelerando e reduzindo custos do processo seletivo. Objetivou-se com este estudo identificar QTLs para peso e tamanho do pedúnculo de caju. As análises foram realizadas em cajus de 66 plantas da geração F₁ originadas do cruzamento CCP 1001 x CP 96. As seguintes características foram avaliadas: peso, comprimento, diâmetro basal e apical do pedúnculo. Para identificação dos QTLs foram utilizadas as metodologias de mapeamento de intervalo e mapeamento de QTLs múltiplos. As análises permitiram identificar 22 QTLs associados aos caracteres estudados. O diâmetro apical apresentou o menor número de QTL (três), enquanto o peso do pedúnculo manifestou o maior número (sete). Os QTLs explicaram entre 4,84 e 14,30 % da variação fenotípica total. Após validação, os QTLs identificados serão utilizados na SAM em futuros trabalhos de melhoramento.

Introdução

A aparência determina a aceitabilidade de um alimento, razão pela qual talvez seja a propriedade mais importante, tanto em produtos naturais quanto processados. As características físicas, como peso e formato do pedúnculo, são de fundamental importância para a boa aceitação do produto pelo consumidor. Com a grande variabilidade genética existente faz-se necessário selecionar pedúnculos que atendam às exigências da comercialização, tais como formato piriforme, de fácil disposição nas embalagens utilizadas e pedúnculos de tamanho grande, ou seja, dos tipos 4 ou 5 (de acordo com o número de cajus/bandeja). Esses tipos alcançam os melhores preços no mercado (MOURA *et al.*, 2001).

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é altamente heterozigoto e apresenta predominantemente polinização cruzada, sendo necessário avaliar um grande número de progênies para a identificação de genótipos superiores. Com o intuito de melhorar a eficiência na seleção de genótipos, relevante atenção tem sido dada à identificação de QTLs (locos de caráter quantitativo). Marcadores moleculares associados aos QTLs podem ser utilizados na seleção de indivíduos em estágios precoces, com combinações favoráveis de várias características de interesse e com isso melhorar a eficácia da seleção e reduzir o tempo e/ou custo da avaliação de desempenho fenotípico (BUNDOCK *et al.*, 2008).

Estudos visando identificar QTLs associados a qualidade dos frutos tem sido realizados com o intuito de, principalmente, substituir avaliações físicas e químicas, as quais, geralmente necessitam de bastante tempo para a sua execução pela seleção assistida por marcadores. Esta técnica é particularmente promissora no melhoramento de árvores frutíferas, como o cajueiro, onde o longo período juvenil dessas espécies e a natureza poligênica das características de qualidade do fruto se constituem no maior gargalo no programa de melhoramento, devido à progênie resultante de um cruzamento necessitar ser mantida por um longo período de tempo até a conclusão do processo seletivo (KENIS *et al.*, 2008). Por essas razões, a identificação de QTLs associados ao peso e tamanho do pedúnculo de caju é altamente desejável. Neste sentido, objetivou-se com o presente estudo identificar QTLs relacionados ao peso e tamanho do pedúnculo de caju para uma possível aplicação na seleção assistida por marcadores em programas de melhoramento genético desta espécie.

¹ Doutorando em Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, CEP 60451-970, E-mail: herbeth.santos@gmail.com

² Pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, CEP 60511-110, E-mail: jaime@cnpat.embrapa.br

³ Professor Associado do Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, CEP 60451-970, E-mail: fanuel@ufc.br

Material e Métodos

Para a caracterização física do peso e tamanho dos pedúnculos de caju foram avaliadas 66 plantas da geração F₁ do cruzamento entre CCP 1001 e CP 96. A amostra foi composta de quinze pedúnculos por planta colhidos no Campo Experimental de Pacajus, no período outubro a novembro de 2006 e transportados para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita da Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza, CE, onde foram realizadas as avaliações. Os caracteres avaliados foram os seguintes: (a) Peso do pedúnculo - determinado em balança semi-analítica (Mark 3100), com precisão de 0,01 g. (b) Tamanho do pedúnculo - foram realizadas medições do comprimento, diâmetros basal e apical do pedúnculo, utilizando paquímetro Starrett digital 300 mm 727-12/300, conforme Almeida *et al.* (1987).

As análises de QTL foram realizadas utilizando todos os marcadores dos mapas genéticos de cada genitor (CCP 1001 e CP 96) desenvolvidos por Cavalcanti e Wilkinson (2007). Das 85 plantas F₁'s originais utilizadas para criar os mapas genéticos dos genitores, 66 plantas produziram número satisfatório de pedúnculos, sendo incluídos nas análises para avaliação do peso e formato dos mesmos. O software MapQTL[®] 5.0 (VAN OOIJEN, 2004) foi utilizado para executar o mapeamento de intervalo (interval mapping - IM) em combinação como o mapeamento de QTLs múltiplos (multiple QTL mapping - MQM). Um LOD score mínimo 3,0 foi utilizado para detectar QTLs de importância. Este valor indica que a ocorrência de ligação entre QTL e marcador é mil vezes mais provável que a de segregação independente. Os QTLs identificados por este procedimento foram descritos pelo marcador com o LOD score mais significativo na região correspondente do QTL. A proporção da variação explicada pelo marcador foi utilizada para estimar o efeito do QTL, pelo uso da seguinte fórmula:

$$R^2 = SQ_G/SQ_{Total}$$

Onde, R² é a proporção da variação explicada pelo QTL, SQ_G é a soma dos quadrados do genótipo (QTL), e SQ_{Total} é a soma dos quadrados total.

Resultados e Discussão

As análises de QTLs proporcionam importantes informações para assistir trabalhos de vários programas de melhoramento de plantas e animais. O presente estudo representa uma análise de QTL para características associadas à qualidade do pedúnculo de caju de importância econômica, sendo esta a primeira investigação de QTLs associados aos caracteres peso e tamanho (comprimento, diâmetro basal e apical) do pedúnculo desta espécie vegetal. Estas informações poderão ser utilizadas no programa de melhoramento do cajueiro assistidos por marcadores moleculares.

Os resultados das análises de QTLs são apresentados na Tabela 1. Com base na análise de mapeamento de QTLs múltiplos foi possível detectar 22 locos associados aos QTLs e denominados de "QTLs candidatos", pois antes de serem utilizados em programas de melhoramento, eles devem ser validados, i.e., deve-se determinar a eficiência de seleção que eles terão em outras populações de cajueiro, considerando o caráter a ser melhorado, o que será objeto de futuros estudos.

A percentagem da variação fenotípica (R²), explicada pelas associações loco marcador e QTL, variou de 5,49 a 14,30% para peso do pedúnculo, de 7,27 a 12,35% para comprimento do pedúnculo, de 5,69 a 13,76% para diâmetro basal e de 4,84 a 8,50% para diâmetro apical. Segundo Anderson *et al.* (2007), a proporção da variação do caráter explicada por um QTL individual é, provavelmente, a barreira mais importante para a implantação da seleção assistida por marcadores. A maioria dos estudos de QTL revela efeitos moderados (R² de 10 a 20%) em um ou poucos locos, enquanto vários outros locos explicam menos que 10% da variação. Neste estudo, sete QTLs apresentaram R² com efeitos moderados: um para peso do pedúnculo (*pp-1f*) e diâmetro basal (*db-1f*) e cinco para comprimento do pedúnculo (*cp-1f*, *cp-2f*, *cp-3f*, *cp-4f* e *cp-6m*). Esta razoável proporção da variação fenotípica representa uma situação onde a seleção assistida por marcadores pode apresentar um considerável ganho genético para a característica de interesse.

A maioria dos QTLs identificados explicaram menos que 10 % da variação, sendo considerados QTLs de efeito menor. A identificação de alelos com efeitos menores via marcadores moleculares pode-se somar à detecção dos alelos de efeitos maiores por meio de avaliação fenotípica e, assim, aumentar a eficiência do processo seletivo, melhorando os ganhos com a seleção por meio de

um programa de seleção assistida por marcadores que utilizem a informação molecular associada à informação fenotípica.

A caracterização física do peso e tamanho do pedúnculo de caju pode ser uma alternativa de aproximação rotineira na mensuração destes caracteres. No entanto, marcadores moleculares fornecem uma ferramenta muito mais eficiente, uma vez que eles podem ser utilizados para selecionar materiais promissores ainda na fase de viveiro, podendo reduzir significativamente o número de indivíduos indesejáveis transferidos ao campo. Deste modo, um expressivo ganho genético, aliado a redução da área experimental e, conseqüentemente, de custos e tempo podem ser alcançados.

Os QTLs detectados neste estudo estão em processo de validação para que possam ser utilizados na seleção assistida por marcadores em programas de melhoramento genético do cajueiro e nortear futuros trabalhos de melhoramento desta espécie vegetal visando obter genótipos elite com maior qualidade do pedúnculo.

Conclusões

Há presença de três QTLs para diâmetro apical, seis para diâmetro basal e comprimento do pedúnculo, e sete para peso do pedúnculo de caju, explicando de 4,84 a 14,30 % da variação fenotípica total.

Os QTLs identificados podem ser utilizados na seleção assistida por marcadores. No entanto, faz-se necessário a realização de outros experimentos com intuito de validar os QTLs detectados neste estudo.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de fomento à pesquisa concedida e a Embrapa Agroindústria Tropical pelo apoio na execução e condução do estudo.

Referências

- ALMEIDA, J.I.L.; BARROS, L.M.; LOPES, J.G.V.; ARAÚJO, F.E. Estudos sobre o crescimento do fruto e pseudofruto do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) do tipo anão precoce. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 9, p. 21-30, 1987.
- ANDERSON, J.A.; CHAO, S.; LIU, S. Molecular breeding using a major QTL for fusarium head blight resistance in wheat. *Crop Science*, v.47, p.112-119, 2007.
- BUNDOCK, P.C.; POTTS, B.M.; VAILLANCOURT, R.E. Detection and stability of quantitative trait loci (QTL) in *Eucalyptus globules*. *Tree Genetics e Genomes*, v.4, p.85-95, 2008.
- CAVALCANTI, J.J.V. WILKINSON, M.J. The first genetic maps of cashew (*Anacardium occidentale* L.). *Euphytica*, v.157, p.131-143, 2007.
- KENIS, K.; KEULEMANS, J.; DAVEY, M.W. Identification and stability of QTLs for fruit quality traits in apple. *Tree Genetics e Genomes*, v.4, p.647-661, 2008.
- MOURA, C.F.H.; ALVES, R.E.; INNECCO, R.; FILGUEIRAS, H.A.C.; MOSCA, J.L.; PINTO, S.A.A. Características físicas de pedúnculos de cajueiro para comercialização *in natura*. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.23, p.537-540, 2001.
- VAN OOIJEN, J.W. *MapQTL® 5*: Software for mapping of quantitative trait loci in experimental populations. Wageningen, Kyazma B.V. 2004.

Tabela 1. Descrição dos QTLs candidatos identificados para as características associadas ao peso e formato do pedúnculo de caju detectados nos mapas dos genitores feminino (F) e masculino (M) usando o método de mapeamento de QTLs múltiplos (MQM).

Característica	QTL	Grupo de ligação	Posição (cM) ¹	Marcador próximo	LOD	R ² (%) ²
Peso do pedúnculo						
	<i>pp-1f</i>	F4	32,03	22Ab121	6,21	14,30
	<i>pp-2f</i>	F4	51,43	05Ag114	6,36	9,06
	<i>pp-3f</i>	F10	25,51	04CG131	3,37	6,18
	<i>pp-4f</i>	F1	93,29	12CY005	4,10	5,49
	<i>pp-5m</i>	M7	1,00	06By008	4,67	8,98
	<i>pp-6m</i>	M1	83,21	21CB002	6,13	8,09
	<i>pp-7m</i>	M11	69,72	03Bb087	5,18	7,42
Comprimento do pedúnculo						
	<i>cp-1f</i>	F1	85,85	21CB002	3,42	12,35
	<i>cp-2f</i>	F3	64,84	22Ag026	3,74	11,39
	<i>cp-3f</i>	F1	66,31	04CY014	5,55	10,13
	<i>cp-4f</i>	F4	66,43	Aocc42	5,19	10,09
	<i>cp-5f</i>	F4	35,05	04Ag060	3,61	7,27
	<i>cp-6m</i>	M11	70,34	03Bb087	3,69	12,28
Diâmetro basal						
	<i>db-1f</i>	F4	30,29	22Ab121	6,40	13,76
	<i>db-2f</i>	F4	51,43	05Ag114	4,09	8,69
	<i>db-3f</i>	F10	33,86	04CG132	3,29	7,87
	<i>db-4f</i>	F5	19,16	10Ab195	3,15	6,61
	<i>db-5m</i>	M4	0,00	04CG035	3,03	7,99
	<i>db-6m</i>	M11	72,34	03Bb087	3,19	5,69
Diâmetro apical						
	<i>da-1f</i>	F5	24,90	10Ab195	3,48	8,50
	<i>da-2f</i>	F9	33,33	01Ab084	4,50	7,63
	<i>da-3f</i>	F4	32,03	22Ab121	3,65	4,84

¹Posição do QTL baseada na região onde ocorreu o maior valor do LOD.

²Porcentagem da variação fenotípica total explicada pelo marcador mais próximo ao QTL.