

## Capítulo 5

# Avanços, desafios e novas estratégias do melhoramento genético do cajueiro no Brasil

José Jaime Vasconcelos Cavalcanti  
Francisco das Chagas Vidal Neto  
Levi de Moura Barros

### INTRODUÇÃO

A provável origem do cajueiro é o Brasil. Hoje essa espécie encontra-se em praticamente todo o mundo tropical, em razão não apenas da sua capacidade de adaptação aos diversos ecossistemas tropicais, mas também, e principalmente, pelo papel socioeconômico que pode desempenhar nas regiões mais pobres da Terra, uma vez que a amêndoa encerrada em seu fruto, a castanha, é uma das mais comercializadas no mercado mundial de nozes comestíveis. Para a obtenção da amêndoa da castanha-de-caju (ACC), é necessário o funcionamento de uma cadeia agroindustrial que envolva o cultivo, a industrialização e a comercialização, tanto da matéria-prima como do produto industrializado, gerando emprego e renda que são fundamentais para os países que exploram a cajucultura e que são caracterizados pela forte participação do negócio agrícola em suas economias (BARROS et al., 2008).

Com base nos dados de produção da FAO para o ano de 2009 (Tabela 1), e considerando a carência de dados sobre a comercialização no varejo, é possível fazer inferências sobre a importância do agronegócio caju a partir do conhecimento sobre a distribuição dos valores na cadeia de produção da ACC, que é 10% para o setor produtivo, 20% para a indústria e 70% para o varejo. Assim, se for considerado que apenas 60% da produção mundial de castanhas foi processada e alcançou os principais mercados, e que o preço pago ao produtor foi de US\$ 0,25 por quilograma de castanha, encontram-se aproximadamente os seguintes valores: US\$ 500 milhões para os produtores,

**Tabela 1.** Produção mundial de castanha-de-caju (em toneladas), por ano, no período entre 2001 e 2009.

| País            | Ano              |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                 | 2001             | 2002             | 2003             | 2004             | 2005             | 2006             | 2007             | 2008             | 2009             |
| Vietnã          | 292.800          | 515.200          | 657.600          | 818.800          | 960.800          | 941.600          | 961.000          | 1.234.000        | 958.000          |
| Nigéria         | 485.000          | 514.000          | 524.000          | 555.000          | 594.000          | 636.000          | 660.000          | 727.603          | 580.761          |
| Índia           | 450.000          | 470.000          | 500.000          | 535.000          | 544.000          | 573.000          | 620.000          | 665.000          | 695.000          |
| Brasil          | 124.073          | 164.539          | 183.094          | 187.839          | 152.751          | 243.770          | 176.384          | 243.253          | 220.505          |
| Indonésia       | 91.586           | 110.232          | 106.931          | 131.020          | 135.070          | 140.573          | 146.000          | 156.652          | 145.000          |
| Filipinas       | 7.000            | 7.000            | 7.000            | 116.910          | 116.533          | 113.071          | 118.000          | 112.334          | 111.993          |
| Costa do Marfim | 87.573           | 104.985          | 84.811           | 140.636          | 175.000          | 200.000          | 130.000          | 330.000          | 350.000          |
| Tanzânia        | 98.600           | 67.300           | 95.000           | 79.000           | 72.000           | 90.400           | 92.000           | 99.100           | 74.169           |
| Guiné-Bissau    | 85.000           | 86.000           | 86.000           | 86.000           | 88.000           | 81.000           | 81.000           | 81.000           | 64.653           |
| Moçambique      | 58.000           | 58.000           | 58.000           | 58.000           | 58.000           | 58.000           | 58.000           | 85.000           | 64.000           |
| Outros          | 128.088          | 127.535          | 128.227          | 133.051          | 139.416          | 140.935          | 143.655          | 175.480          | 156.808          |
| <b>Total</b>    | <b>1.907.720</b> | <b>2.224.791</b> | <b>2.430.663</b> | <b>2.841.256</b> | <b>3.035.570</b> | <b>3.218.349</b> | <b>3.186.039</b> | <b>3.909.422</b> | <b>3.420.889</b> |

Fonte: FAO (2010)

US\$ 1 bilhão para a indústria e US\$ 5 bilhões para o setor varejista. Mesmo subestimados, são valores expressivos, o que justifica o interesse crescente, sobretudo na Ásia e na África, pelo cultivo do cajueiro.

Além disso, o valor da ACC, que é consumida na forma de aperitivo, poderá aumentar se confirmados os estudos recentes que mostram que ela é rica em ácidos graxos insaturados, predominando o oleico (60,3%) e o linoleico (21,5%). Isso significa que a amêndoa contém altos teores de ômega 9 e ômega 6, essenciais em todo o ciclo vital dos humanos (GAZZOLA et al., 2007).

Na safra de 2009, a área colhida e a produção nos principais países produtores foram estimadas em, respectivamente, 4.307.352 ha e 3.420.889 t (FAO, 2010), sendo Vietnã, Índia, Nigéria, Costa do Marfim, Brasil, Indonésia, Filipinas, Tanzânia e Guiné-Bissau os principais produtores de castanha-de-caju (Tabela 1). É importante enfatizar que a liderança do Vietnã deve-se a um programa de incentivo com o plantio do cajueiro-anão-precoces (FIGUEIREDO JÚNIOR, 2006), originário do Brasil. Aqui, na safra de 2009, cerca de 195 mil produtores colheram, em 758 mil hectares, 220 mil toneladas de castanhas, proporcionando exportações de 40 mil toneladas de ACC, aproximadamente, que representam 17% das exportações mundiais. Elas têm resultado, nos últimos anos, em US\$ 225 milhões em divisas para o País. O consumo mundial continua em franco crescimento, o que significa que há necessidade de o sistema produtivo melhorar a sua participação em termos de aumento de produtividade, sendo a incorporação de clones mais produtivos o fator de menor custo em face do aumento generalizado observado, em nível mundial, no custo dos insumos agrícolas como um todo.

A cadeia agroindustrial da ACC gera em torno de 40 mil empregos no campo e de 15 a 20 mil na indústria (LEITE; PESSOA, 2002), números em crescimento ante o aumento da demanda internacional por ACC. Além disso, inúmeras oportunidades de trabalho são geradas nos serviços associados, principalmente manuseio da matéria-prima e da ACC, em todas as etapas, da produção até a chegada ao consumidor final, como transporte, embalagens e corretagem. A maioria dos plantios comerciais para a obtenção da ACC está no Nordeste, que responde por cerca de 94% da produção e por toda a industrialização da castanha produzida. Em termos de ecossistemas, a faixa litorânea e transições com outros ecossistemas dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte abriga a maior parte dos pomares. Em razão de a planta ter grande potencial adaptativo aos diversos ecossistemas tropicais, tem-se verificado a introdução do cajueiro em cultivo nas demais regiões do País, principalmente para a exploração do caju como fruta de mesa.

Há também expectativa de sucesso com a cultura em regime de sequeiro no semiárido, ecossistema que constitui mais da metade da área física da região Nordeste e onde são mais graves os problemas sociais, pela escassez de opções econômicas para a população. Para que essa perspectiva seja bem sucedida, será fundamental a adoção de tecnologias que incluam genótipos adaptados às condições edafoclimáticas de cada ambiente, onde o melhoramento genético deve desempenhar importante papel na viabilização econômica da cultura.

Além da ACC, o cajueiro oferece dois subprodutos de valor: o líquido da casca da castanha (LCC), que tem grande potencial de aproveitamento na indústria química, mas é, atualmente, de baixo valor econômico em razão de limitações tecnológicas e comerciais; e o falso fruto (pedúnculo), cujo potencial é dos mais expressivos, pelas opções de aproveitamento, como o suco concentrado ou pronto para beber, que estão entre os mais consumidos no País. São 30 a 40 possibilidades industriais com a tecnologia já disponível. Além disso, o consumo como fruta de mesa está em crescimento nos principais mercados do Brasil.

## CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA, ORIGEM E CITOGENÉTICA

O cajueiro, *Anacardium occidentale* L., é uma Anacardiaceae, família formada por 400 a 600 espécies de 60 a 74 gêneros predominantemente de árvores e arbustos tropicais e subtropicais, com poucos exemplares de subarbustos, trepadeiras e espécies de clima temperado (BAILEY, 1942). Na mais recente revisão, feita com base na taxonomia numérica, o gênero *Anacardium* foi composto por 10 espécies (MITCHELL; MORI, 1987) que resultaram no agrupamento de 21 descritas pela taxonomia tipológica (BARROS, 1995).

*Anacardium occidentale* L. é a única espécie cultivada e a de maior dispersão do gênero (JOHNSON, 1973; OHLER, 1979; MITCHELL; MORI, 1987), sendo encontrada em praticamente todo o mundo tropical. Deve-se ressaltar que a sua distribuição natural é confundida pela dispersão por cultivo, uma vez que os centros de origem do gênero *Anacardium* estão na região amazônica e nos cerrados, ao passo que a maior diversidade da espécie cultivada verifica-se no Nordeste do Brasil. Esse fato tem levado a especulações sobre a especiação e local de origem do cultivo, porém há provas circunstanciais apontando o Brasil (ou pelo menos todo o norte da América do Sul e parte da América Central) como o provável centro de origem do cajueiro (BARROS; CRISÓSTOMO, 1995; BARROS et al., 2002).

O número haploide de cromossomos é encontrado na literatura com valores discrepantes entre os resultados das poucas investigações no cajueiro:  $n=12$  (KHOSLA et al., 1973),  $n=15$  (MACHADO, 1944),  $n=20$  (SIMMONDS, 1979) e  $n=21$  (DARLINGTON; JANAKI AMMAL, 1945; ALIYU; AWOPETU, 2007). No entanto, tudo indica ser este último o mais provável.

## TIPOS VARIETAIS

É possível identificar e agrupar as plantas em relação a duas características bem definidas, porte e precocidade, em dois tipos: o comum e o anão-precoce. O cajueiro do tipo comum é o mais encontrado naturalmente, bem como nos velhos plantios comerciais. Esse tipo caracteriza-se pelo porte mais elevado, com altura variando entre 8 m e 15 m e envergadura da copa entre 12 m e 16 m, podendo ultrapassar os 20 m. Apresenta grande variação na distribuição de ramos e formato de copa, que vai desde ereta e compacta até espreada (BARROS, 1988b). A capacidade produtiva individual do cajueiro-comum é muito variável, com registro de plantas que produzem menos de 1 kg até cerca de 100 kg de castanha por safra. O peso do fruto varia de 3 g a 33 g, e o do pedúnculo, de 20 g a 500 g. A idade de estabilização da produção em plantas propagadas por sementes é entre 11 e 13 anos. Em plantas propagadas assexuadamente, esse período é reduzido em 2 anos.

O cajueiro tipo anão-precoce, também conhecido por cajueiro de 6 meses, caracteriza-se pelo porte baixo, copa homogênea, diâmetro de caule e envergadura inferiores aos do tipo comum. O florescimento tem início normalmente aos 6 meses, estendendo-se por 6 a 8 meses, contra os 5 a 7 meses do tipo comum. O peso do fruto, nas populações naturais, varia de 3 g a 10 g, e o do pedúnculo, de 20 g a 160 g. A capacidade produtiva individual também é menor, com produção máxima registrada de 43 kg de castanhas (BARROS, 1988b). As principais características dos cajueiros dos tipos comum e anão-precoce são ilustradas na Tabela 2.

## BIOLOGIA FLORAL E MODO DE REPRODUÇÃO

O cajueiro é uma espécie andromonoica, ou seja, seu sistema reprodutivo constitui-se de flores masculinas e hermafroditas (BARROS; CRISÓSTOMO, 1995). A inflorescência é uma panícula onde são encontrados os dois tipos de

**Tabela 2.** Principais características dos cajueiros dos tipos comum e anão-precoce.

| Característica                       | Comum         | Anão-precoce |
|--------------------------------------|---------------|--------------|
| Porte (m)                            | alto (8 - 15) | baixo (< 5)  |
| Tamanho da copa (m)                  | > 7           | 5 a 7        |
| Primeira floração                    | 2 a 5 anos    | 6 a 18 meses |
| Varição no peso da castanha (g)      | 3 a 33        | 3 a 13       |
| Varição no peso do pedúnculo (g)     | 20 a 500      | 20 a 160     |
| Produção: castanha/planta/safra (kg) | < 1 a > 100   | até 43       |

flores em quantidades e proporções diferentes, variando tanto entre plantas como dentro de uma mesma planta (BARROS, 1988a). Rao e Hassan (1957) destacaram que apenas 4% das flores formadas são hermafroditas. Nambiar (1977) menciona uma proporção de 75% a 90% de flores masculinas, que varia com a época do ano, localização e genótipo da planta.

A classificação do cajueiro quanto ao sistema de acasalamento ainda encontra-se indefinido; porém, sabe-se que apresenta alogamia, podendo ocorrer inclusive a autofecundação, com taxas desconhecidas. Segundo Faluy (1983), não se constata existência de sistema de autoincompatibilidade.

## MELHORAMENTO GENÉTICO

Apesar da importância socioeconômica e da expansão da área cultivada, que passou de 48.694 ha em 1960 para cerca de 720.000 ha, a produtividade média de castanha sofreu uma drástica redução de 635 kg ha<sup>-1</sup> no início da década de 1970 para 200 kg ha<sup>-1</sup>, no final dos anos 1990, pelo fato de a exploração ter sido sempre à margem do emprego de tecnologias, principalmente variedades melhoradas, inexistentes até o início dos anos 1980. O lançamento dos primeiros clones melhorados de cajueiro-anão-precoce redirecionou os programas de melhoramento e abriu perspectivas reais de transformação da atividade do extrativismo para o cultivo tecnificado. Hoje, esse quadro já apresenta uma importante reação em função, principalmente, dos novos plantios com o cajueiro-anão-precoce. Isso pode ser constatado pela produção no Estado do Ceará, cujo plantio do tipo anão-precoce representou, em 2008, 11,1% da área plantada e uma produção de 18,9% (22,9 mil toneladas) do total, com rendimento médio de 531 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto o tipo comum teve um rendimento de apenas 286 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2009).

## Objetivos

As demandas atuais da cajucultura têm como foco não só o aproveitamento da amêndoa, mas também do pedúnculo, tanto para o consumo in natura como para melhoria da qualidade da matéria-prima para processamento industrial. Nesse contexto, a seleção deve ser orientada para: a) planta apresentando porte baixo, para facilitar a colheita manual, e resistência aos fatores bióticos e abióticos; b) amêndoa com peso adequado (> 2 g), rendimento de amêndoa/castanha > 25%, facilidade na despelculagem da amêndoa e percentagem de inteiras superior a 70%; c) pedúnculo com características adequadas de coloração, sabor, textura, maior período de conservação, consistência da polpa e teor de tanino adequado à preferência do consumidor.

## Propriedades genéticas

O êxito de qualquer programa de melhoramento depende do conhecimento de parâmetros genéticos da população a ser melhorada. Ultimamente, importantes propriedades genéticas foram determinadas para o cajueiro, sobretudo a partir da década de 1990, constituindo-se em relevantes informações para utilização no melhoramento dessa cultura, como descrito a seguir.

Nambiar (1977) relata a existência de correlação negativa da produção e caracteres morfológicos de área foliar com o tamanho de internódios das plantas. Entretanto, nem sempre se verificam resultados positivos entre parâmetros que sugerem correlações, como entre envergadura e produção indicada por Ohler (1979). Nesse caso, a correlação somente será positiva se for favorável o balanço entre as ramificações intensiva e extensiva, o que pode ser comprovado pelos resultados obtidos por Parameswaran et al. (1984), que reportaram ser positiva a correlação entre o número de ramos com inflorescências e a produção.

No cajueiro do tipo comum, no entanto, nem sempre o balanço entre os tipos de ramificações é favorável, embora Murthy et al. (1984) tenham encontrado, no material estudado, correlação positiva entre o número de panículas e o de flores hermafroditas, diferentemente do que se verifica no cajueiro do tipo anão-precoce (BARROS, 1988a). Azevedo et al. (1998) confirmaram essa diferença, encontrando, em plantas dos clones CCP 06, CCP 09, CCP 76 e CCP 1.001, correlações genéticas e fenotípicas positivas entre

os caracteres altura de planta, envergadura da copa e o número de ramos primários e secundários. Essa correlação depende, ainda, de outros fatores, como a presença de flores hermafroditas, que é correlacionada com a produção (RAO; HASSAN, 1957), e porcentagem de vingamento de frutos (BUENO, 1997).

Paiva et al. (1998) demonstraram os efeitos da depressão por endogamia sobre as características vegetativas e de produção, aos 12, 18 e 29 meses de idade das plantas, comparando progênies de clones de cajueiro-anão-precoce originárias de autofecundações, polinizações livres e de cruzamentos controlados. Os resultados apontaram reduções significativas de até 15,4% na altura da planta, 19,5% no diâmetro da copa, 11,6% no peso da castanha, 12,4% no peso da amêndoa e 48% na produção.

Por outro lado, Damodaran (1975) evidenciou ocorrência de vigor híbrido no cajueiro para diversos caracteres, relatando incrementos de 153% para produção de castanhas em plantas derivadas de cruzamentos. Esse fenômeno também foi detectado por Manoj e George (1993) para os caracteres produção, peso de castanha e amêndoa. Cavalcanti et al. (2000) avaliaram a heterose em plantas oriundas do cruzamento entre os tipos comum e anão-precoce e constataram efeitos de 20% para a altura da planta, 32% para diâmetro da copa, 121% para número de castanha por planta, 192% para produtividade, 15% para peso da castanha e 19% para peso da amêndoa.

Avaliando genótipos obtidos de cruzamentos entre cajueiros-anões-precoces, Cavalcanti et al. (2003) identificaram incrementos médios de 12%, 19%, 98% e 97%, para altura da planta, diâmetro da copa (Figura 1), número de castanha por planta e produtividade, respectivamente. Além desses caracteres, Crisóstomo et al. (2002) detectaram heterose para os relacionados ao pedúnculo, com valores de até 100% para a concentração de tanino, 52% para acidez total, 10% para teores de sólidos solúveis, 22% para a textura do pedúnculo e 9% para o pH.

Recentemente, Cavalcanti et al. (2007), usando os procedimentos REML/BLUP (RESENDE, 2002) para estudo sobre o controle genético de caracteres relacionados ao vigor da planta, produção de castanhas e qualidade da amêndoa, observaram estimativas das herdabilidades no sentido amplo ( $h^2_g$ ) e restrito (i.e. aditiva,  $h^2_a$ ). Seus resultados mostraram altas magnitudes de  $h^2_a$  para os caracteres altura da planta (89,1% e 86,5%, no primeiro e segundo ano de avaliação, respectivamente), diâmetro da copa (65,9% e 51,2%), peso da castanha (76,9% e 63,2%) e peso da amêndoa (74,3% e 58,8%), confirmando que esses caracteres estão fortemente sob controle genético aditivo, e possibilitando que simples métodos de seleção possam ser usados





Foto: José Jaime Vasconcelos Cavalcanti

**Figura 1.** Exemplo do vigor de híbrido (heterose) e da depressão por endogamia no cajueiro. Pacajus, CE.

para obtenção de ganhos significativos. Por outro lado, o número de castanha por planta e a produtividade tiveram baixas magnitudes das herdabilidades no sentido amplo (variando de 15,8% a 41,1%, em quatro anos de avaliação), com predominância dos efeitos de dominância, portanto, necessitando de métodos de seleção mais complexos. Dessa forma, os autores afirmam que a estratégia de melhoramento de seleção recorrente recíproca apresenta-se como a mais promissora para o melhoramento dessa espécie, sobretudo pela exploração da heterose, por meio de cruzamentos entre os tipos anão-precoce e comum, utilizando-se genótipos com os melhores desempenhos médios e as mais altas capacidades específicas de combinação.

Outro parâmetro importante em plantas perenes é a repetibilidade, ou seja, a capacidade de um indivíduo repetir sua performance, para um determinado caráter, no tempo e/ou no espaço. Cavalcanti et al. (2000), estudando clones de cajueiro-anão-precoce, estimaram que três medições do caráter produção de castanha e duas para a altura de planta e diâmetro do caule são suficientes para selecionar indivíduos com 95% de certeza da predição dos seus valores reais. Em outro experimento, utilizando progênies de irmãos germanos, Cavalcanti et al. (2007) detectaram valores da ordem de apenas 30% para os caracteres número de castanha por planta e produtividade,

o que é esperado em função do controle genético citado anteriormente, sendo necessárias quatro avaliações para seleção. Já para os caracteres altura da planta, diâmetro da copa, peso da castanha e peso da amêndoa, os valores foram da ordem de 85%, com necessidade de apenas uma mensuração. Esses resultados demonstram que é possível uma redução considerável no tempo do ciclo de seleção e lançamento de clones, de 7 a 8 anos para 3 a 4, proporcionando um maior ganho genético por unidade de tempo.

## Métodos de melhoramento

O melhoramento utilizado no cajueiro-anão-precoce no Brasil teve início em 1965, no Campo Experimental de Pacajus, Município de Pacajus, CE. O trabalho constou de uma seleção fenotípica individual, seguida pelo controle anual da produção nas plantas selecionadas. Essa metodologia, embora simples e de ganhos genéticos esperados reduzidos, permitiu o lançamento comercial dos clones CCP 06 e CCP 76, em 1983, e CCP 09 e CCP 1.001, em 1987 (ALMEIDA, 1993; BARROS et al., 1984). Portanto, as pesquisas foram direcionadas para o cajueiro-anão-precoce, que, pela estreita base genética da população inicial, demandava prioritariamente a ampliação dessa base para os caracteres de interesse agroindustrial. Usou-se a introdução e seleção de plantas em populações segregantes, recombinação genética pelo método do policruzamento e hibridação artificial entre plantas superiores do tipo anão-precoce e em cruzamentos entre os tipos anão e comum, resultando na base genética atual em uso na Embrapa Agroindústria Tropical.

As características da planta favorecem a inclusão da cultivar nos modernos sistemas de produção em fruticultura, razão pela qual o programa de melhoramento do cajueiro foi, até o fim da década de 1990, inteiramente direcionado para a obtenção de clones do tipo anão-precoce (BARROS et al., 2008). Esse direcionamento favoreceu diretamente o segmento produtivo, que pôde aumentar a produtividade dos seus plantios e, indiretamente, o segmento industrial, que incrementou a disponibilidade de matéria-prima para beneficiamento. Com o acirramento da concorrência, principalmente dos países asiáticos (Vietnã, Filipinas e Indonésia), que vêm aumentando aceleradamente as suas participações, tanto no fornecimento de matéria-prima como na oferta de amêndoas para o mercado de nozes, o programa de melhoramento foi redirecionado, priorizando o peso da amêndoa, que é o grande diferencial do produto brasileiro. Em decorrência, o germoplasma do tipo comum passou a ter maior participação na busca por novas combinações gênicas que resultem

em plantas precoces, de porte baixo, produtivas, com maior adaptabilidade a diferentes ambientes, maior resistência a doenças e peso de amêndoa que possibilitem a obtenção dos melhores preços no mercado de nozes comestíveis.

A escolha do método na condução de um programa de melhoramento está diretamente relacionada com a biologia reprodutiva da espécie, ou seja, é importante conhecer se a espécie é de cruzamento ou de autofecundação. Sendo o cajueiro uma espécie em que predomina a fecundação cruzada, o método de melhoramento a ser empregado deve ser inerente a esse grupo de plantas.

O melhoramento do cajueiro é facilitado pela possibilidade de multiplicação assexuada dos melhores indivíduos em qualquer etapa do programa, razão pela qual a prospecção em áreas de diversidade e seleção clonal foram as metodologias mais simples e que possibilitaram ganhos mais rápidos de seleção. Entretanto, o melhoramento de populações deve ser perseguido para o aumento da frequência de alelos favoráveis nas populações do programa de melhoramento dessa espécie. Porém, para que se obtenha sucesso, é necessário que se disponha de variabilidade genética na população original. Além disso, outros fatores devem ser rigorosamente observados, como o método de seleção adotado, a precisão nas avaliações dos genótipos, a correta interpretação dos efeitos do ambiente, as interações genótipos x locais e genótipos x anos, a identificação de efeitos pleiotrópicos e das correlações genéticas e fenotípicas entre caracteres (PATERNIANI; MIRANDA FILHO, 1987). Adicionalmente, Vencovsky (1987) acrescenta o tipo de ação gênica envolvida, a precisão experimental e a continuidade dos programas como fatores que influenciam no sucesso do melhoramento de populações. Resende (2002) cita também que a eficiência do método de melhoramento depende do mecanismo genético envolvido na herança do caráter a ser melhorado, como o número de genes que o influenciam, sua herdabilidade e repetibilidade. Nesse sentido, uma eficiente estimativa dos parâmetros genéticos constitui base fundamental para o sucesso de qualquer programa de melhoramento.

Pela sua praticidade, a seleção recorrente de famílias de meios-irmãos é atualmente o método mais empregado no melhoramento do cajueiro. Porém, a utilização da hibridação para a exploração da heterose apresenta-se como uma estratégia de grande potencial e deve ser explorada, apesar da baixa porcentagem de sucesso no pegamento dos cruzamentos, em torno de 5% apenas. Entretanto, com a possibilidade de propagação vegetativa no cajueiro, o vigor híbrido presente nas novas combinações é capitalizado em sua totalidade, logo na primeira geração, pela seleção e clonagem dos indivíduos superiores.

Nesse sentido, o emprego da seleção recorrente recíproca (COMSTOCK et al., 1949), usando as populações de cajueiro do tipo anão e comum, pela maior base genética presente nesse tipo, torna-se uma estratégia bastante propícia e oportuna. Dessa forma, atualmente o programa de melhoramento do cajueiro da Embrapa Agroindústria Tropical tem focado na geração de vários híbridos simples, duplos e triplos.

Como na grande maioria das culturas, um grande desafio no melhoramento do cajueiro é superar e explorar as propriedades inerentes à interação genótipos x ambientes, pela implantação de experimentos em diferentes ambientes, sobretudo em função da expansão do cultivo para outros ecossistemas, devido aos números gerados pela cadeia agroindustrial do caju que colaboraram para a expansão da cajucultura em novas áreas, principalmente o cerrado e o semiárido. Isso demanda o emprego de métodos de seleção mais elaborados para obtenção de clones específicos a esses ambientes, diante das poucas alternativas.

## Cultivares

Além dos clones CCP 06 e CCP 76, CCP 09 e CCP 1.001 lançados nos anos 1980, novos clones comerciais foram disponibilizados a partir da década de 1990: Embrapa 50, Embrapa 51, BRS 189, BRS 226, BRS 253 e BRS 265, todos de cajueiro-anão-precoce; BRS 274, primeiro clone de cajueiro-comum; e BRS 275, primeiro clone de híbrido anão x comum, proporcionando aos produtores alternativas para a exploração dessa cultura em outros ecossistemas (Tabela 3).

Como exemplo do significativo ganho desses novos clones, podemos citar o incremento alcançado no peso da amêndoa (Figura 2). Comparando os clones de cajueiro-anão, nota-se que os novos possuem amêndoas superiores aos quatro primeiros gerados, com ganhos superiores a 22%. O BRS 274 (comum) e BRS 275 (híbrido), lançados em 2007, ainda possuem valores mais expressivos. É importante observar que todos os novos clones, com exceção do BRS 189 (primeiro material desenvolvido para exploração do pedúnculo, como principal produto), ultrapassam os 2,54 g, peso mínimo para a obtenção da amêndoa com a melhor cotação no mercado internacional (SLW).

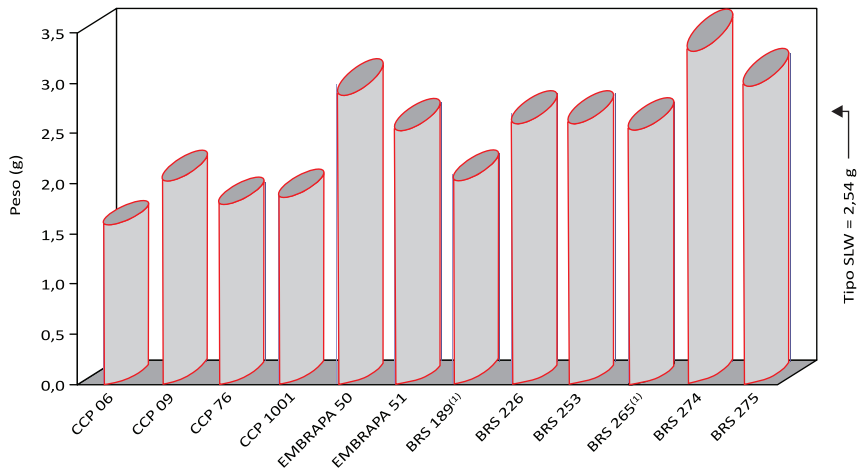
## Recomendações de clones

Como há forte interação genótipo x ambiente, é recomendado plantar de 4 a 6 clones inicialmente, sobretudo nas áreas novas, onde não há informações sobre o comportamento dos clones. Em seguida, o produtor poderá selecionar

**Tabela 3.** Principais características agroindustriais dos clones de cajueiro no sexto ano de idade das plantas em condições de experimento, no município de Pacajus, CE.

| Clone      | Altura da planta   | Diâmetro da copa    | Produtividade        | Peso da castanha | Peso da amêndoa | Amêndoa/castanha (%) | Peso médio do pedúnculo | Coloração do pedúnculo |
|------------|--------------------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| CCP 06     | 2,1                | 4,5                 | 283                  | 6,4              | 1,6             | 25,0                 | 76,5                    | Amarela                |
| CCP 09     | 2,5                | 4,6                 | 412 <sup>(1)</sup>   | 7,7              | 2,1             | 27,3                 | 86,0                    | Laranja                |
| CCP 76     | 2,7                | 5,0                 | 1237 <sup>(2)</sup>  | 8,6              | 1,8             | 20,9                 | 135,0                   | Laranja                |
| CCP 1.001  | 2,8                | 5,0                 | 547 <sup>(1)</sup>   | 7,0              | 1,9             | 27,1                 | 84,6                    | Laranja                |
| EMBRAPA 50 | 3,4                | 7,7                 | 1.261                | 11,2             | 3,0             | 26,8                 | 111,4                   | Amarela                |
| EMBRAPA 51 | 3,5                | 7,8                 | 1.255                | 10,4             | 2,6             | 25,0                 | 104,0                   | Vermelha               |
| BRS 189    | 3,2                | 5,9                 | 562                  | 7,9              | 2,1             | 26,6                 | 155,4                   | Vermelha               |
| BRS 226    | 1,4                | 3,3                 | 687 <sup>(3)</sup>   | 9,7              | 2,7             | 27,8                 | 102,6                   | Laranja                |
| BRS 253    | 4,1                | 7,5                 | 1.509                | 10,2             | 2,7             | 26,5                 | 91,3                    | Vermelha               |
| BRS 265    | 2,5                | 5,6                 | 1.155                | 12,65            | 2,6             | 20,8                 | 118,2                   | Vermelha               |
| BRS 274    | 5,1 <sup>(4)</sup> | 11,0 <sup>(4)</sup> | 1.037 <sup>(5)</sup> | 16,0             | 3,5             | 21,9                 | 128,6                   | Laranja                |
| BRS 275    | 5,3 <sup>(4)</sup> | 9,7 <sup>(4)</sup>  | 1.226 <sup>(5)</sup> | 11,4             | 3,1             | 27,2                 | 108,0                   | Laranja                |

<sup>(1)</sup> Há registros com produtividades superiores a 1.000 kg ha<sup>-1</sup> para os clones CCP 09 e CCP 1.001 (dados não publicados). <sup>(2)</sup> Produtividade no sétimo ano de idade das plantas no Município de Pacajus, CE (CRISOSTOMO et al., 2004). <sup>(3)</sup> Produtividade no quinto ano de idade das plantas no Município de Pio IX, PI. Corresponde ao CAC 42, citado por Cavalcanti et al. (1998). <sup>(4)</sup> Avaliação no oitavo ano de idade no Município de Beberibe, CE. <sup>(5)</sup> Produtividade no quinto ano de idade no Município de Beberibe, CE.



**Figura 2.** Evolução dos clones de cajueiro quanto ao peso da amêndoa, em ordem cronológica de lançamento.

<sup>(1)</sup> clones desenvolvidos para consumo in natura do pedúnculo.

os mais adaptados para as condições ambientais locais, bem como para o tipo de manejo da propriedade.

Atualmente, na região litorânea do Nordeste, os clones de cajueiro-anão-precoce EMBRAPA 51, BRS 189, BRS 226, BRS 253 (BAHIA 12) e BRS 265 e o híbrido anão x comum BRS 275 são os mais recomendados para plantio comercial, pois, em geral, possuem alta produtividade e boa qualidade do pedúnculo (caju) e da amêndoa. Para exploração de caju in natura (caju de mesa), os mais recomendados são o CCP 76, o BRS 189 e o BRS 265, por apresentarem pedúnculos mais atrativos e de melhor sabor para os consumidores.

Para a região semiárida e do cerrado onde há presença da resinose e da podridão preta da haste (PPH), doenças que vêm causando prejuízos significativos aos cajucultores, recomenda-se apenas o clone BRS 226 (Planalto), único resistente a tais enfermidades.

## Novas estratégias do melhoramento

Para enfrentar os presentes desafios da cultura do cajueiro, novas estratégias devem ser utilizadas, tanto no melhoramento convencional, como no assistido por marcadores moleculares, entre outras ferramentas.

Atualmente, o programa de melhoramento introduziu e tem direcionado esforços para o uso de duas novas estratégias: seleção precoce intensiva e seleção assistida por marcadores moleculares.

### **Seleção Precoce Intensiva (SPI)**

Um dos fatores limitantes ao programa é a necessidade de grandes áreas experimentais, em função do espaçamento utilizado entre as plantas.

Além disso, observações anteriormente realizadas em diversos experimentos do programa de melhoramento dessa cultura demonstram que em torno de 84% das plantas oriundas dos testes de progênies de meios-irmãos e 70% dos híbridos anão x comum gerados produzem castanhas com peso inferior a 10 g (economicamente indesejável), aproximadamente 20% delas apresentam alta susceptibilidade às doenças antracnose e mofo-preto e parte significativa das plantas possui desenvolvimento vegetativo atípico, que geralmente é correlacionado a baixas produtividades. Sendo assim, a eliminação desses indivíduos indesejáveis proporcionará um ganho genético na população a ser avaliada, uma vez que essas características podem ser avaliadas precocemente (até dois anos de idade).

A seleção precoce intensiva (SPI) é uma metodologia que consiste no uso de um adensamento populacional quatro vezes maior que o tradicional e uma seleção precoce para os caracteres de alta herdabilidade (por exemplo, altura da planta, peso de castanha, resistência a doenças), nos dois primeiros anos de idade das plantas (Tabela 4).

Nesse método, apenas um indivíduo para cada grupo de quatro será selecionado, eliminando-se os demais (Figura 3).

No primeiro estágio de seleção, o ganho genético é dado por:

$$\Delta sp = (PSP - PO) h^2$$

em que:

$\Delta sp$  – Diferencial de seleção parcial.

PSP – média da população selecionada precocemente.

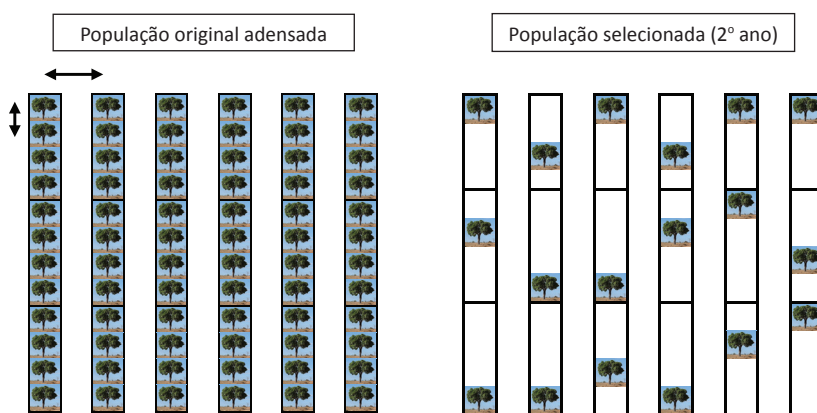
PO – média da população original.

$h^2$  – herdabilidade do caráter selecionado.

Para conclusão do processo seletivo, em função dos caracteres de baixa herdabilidade (produção, por exemplo), que necessitam de um maior período

**Tabela 4.** Comparação entre o método de seleção tradicional e a Seleção Precoce Intensiva para o cajueiro quanto ao tempo final para recomendação de um novo clone.

| Ano          | Seleção Tradicional (ST)        | Seleção Precoce Intensiva (SPI) |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 0            | Plantio                         | Plantio                         |
| 1            | -                               | -                               |
| 2            | -                               | Pré-seleção (SPI)               |
| 3            | -                               | -                               |
| 4            | -                               | Seleção dos melhores indivíduos |
| 5            | -                               | Teste de competição de clones   |
| 6            | Seleção dos melhores indivíduos | -                               |
| 7            | Teste de competição de clones   | -                               |
| 8            | -                               | -                               |
| 9            | -                               | Recomendação Final              |
| 10           | -                               | -                               |
| 11           | -                               | -                               |
| 12           | -                               | -                               |
| 13           | -                               | -                               |
| 14           | Recomendação Final              | -                               |
| <b>Ganho</b> |                                 |                                 |
| Tempo        | -                               | 5 anos                          |
| Espaço       | X = 208 plantas/ha              | 4X = 832 plantas/ha             |



**Figura 3.** Exemplo do esquema de seleção precoce intensiva (SPI) com plantio inicial adensado em 4x em relação ao sistema tradicional.



de avaliação, a seleção continua como no método tradicional, ou seja, a PSP permanece sendo avaliada até a finalização do processo (4º ano). O ganho genético final é dado por:

$$\Delta sf = (PF - PSP) h^2 + \Delta sp$$

em que:

$\Delta sf$  – diferencial de seleção final.

PF – média da população final selecionada.

Dessa forma, em relação à população original, o ganho genético será bastante superior, pois o diferencial de seleção final será dado por:

$$dsf = PF - PO$$

em que a PF é oriunda de uma população original 4x maior que no método tradicional, ou seja, não adensado.

Com isso, é fácil perceber, pela expressão a seguir, que o ganho de seleção será maior:

$$\Delta sf = h^2 dsf$$

Assim, serão praticadas duas seleções: precoce (SP, estágio juvenil) e final (SF, estágio adulto). O ganho total de seleção por unidade de tempo será:

$$GST = \Delta sf/t$$

em que t corresponde ao número de anos por ciclo de seleção.

Adicionalmente, o emprego da SPI contribuirá para uma redução da alta variabilidade genética existente dentro das parcelas experimentais, uma vez que no melhoramento populacional dessa cultura são usadas, principalmente, famílias de meios-irmãos, compostas por indivíduos oriundos de cruzamentos e autofecundações. Assim, há ocorrência de vigor híbrido e depressão por endogamia, respectivamente, dentro da parcela. Após a seleção precoce, essa variabilidade será minimizada pela eliminação dos indivíduos indesejáveis (endogâmicos e atípicos), colaborando para redução do erro experimental e aumento na herdabilidade, com consequente incremento no ganho genético.

### Seleção assistida por marcadores moleculares

O programa de melhoramento genético do cajueiro tem alcançado excelentes resultados nas últimas décadas. No entanto, o emprego das técnicas convencionais de melhoramento em plantas perenes é dificultado por uma série de fatores, como, por exemplo: longo período juvenil e tempo necessário para avaliações, alta heterozigosidade dos genótipos, efeitos ambientais expressivos, além da necessidade de grandes áreas experimentais. Uma ferramenta importante para auxiliar na superação desses problemas é a seleção assistida por marcadores (SAM). Esse método consiste na integração de informações da genética molecular com a seleção fenotípica e constitui uma das mais potentes estratégias para o melhoramento de plantas (LANDE; THOMPSON, 1990).

A associação de marcadores moleculares ligados a caracteres agronômicos de interesse é uma das mais úteis e efetivas aplicações da biologia molecular. Os genes ou grupos de genes que contribuem para caracteres poligênicos, tais como produção, qualidade do fruto e arquitetura da planta, são conhecidos como *Quantitative Trait Loci* (QTL), ou seja, locos que controlam caracteres quantitativos. A análise de QTL é baseada na combinação de mapas de ligação e avaliações fenotípicas precisas, utilizando o caráter (fenótipo), marcadores genéticos polimórficos e a configuração genética da população mapeada. A estratégia fundamental da análise de QTL é a identificação de correlações entre a variação genética específica do caráter quantitativo e a detecção do polimorfismo do genoma segregante pelo arranjo dos marcadores moleculares ligados (LANDE; THOMPSON, 1990).

Até o momento, poucos estudos moleculares foram realizados no cajueiro, e a maioria está dirigida para estudos de diversidade genética em clones e genótipos selvagens do banco de germoplasma (ARCHAK et al., 2003a; 2003b; DHANARAJ et al., 2002; MNENEY et al., 2001).

Com o objetivo de identificar QTLs para uso na seleção assistida por marcadores, Cavalcanti (2004) e Cavalcanti e Wilkinson (2007) desenvolveram os primeiros mapas genéticos para o cajueiro, utilizando marcadores AFLP e microssatélites (SSR). O mapa do genitor feminino (CCP 1.001) apresentou 19 grupos de ligação, enquanto o mapa do genitor masculino (CCP 96) apresentou 23, sendo próximo ao número haploide aceito para o cajueiro,  $n = 21$  (ALIYU; AWOPETU, 2007). Segundo os autores, a adição de novos marcadores torna-se fundamental para aumentar a saturação e representatividade do mapa genético em relação ao genoma, ou seja, ao verdadeiro número e tamanho

dos cromossomos da espécie. No entanto, esses mapas podem e estão sendo utilizados como ponto de partida para futuros estudos nessa cultura. De fato, Cavalcanti (2004), usando esses mapas, identificou os primeiros três QTLs no cajueiro: um para altura da planta (*ph-1m*), um para diâmetro de copa (*cd-1m*) e um para o caráter severidade do mofo-preto, responsáveis por explicar 22,8%, 9,6% e 21,8% da variação fenotípica, respectivamente.

Adicionalmente, usando os mesmos mapas, Santos (2008) identificou 48 QTLs candidatos associados à qualidade do pedúnculo: peso, tamanho (comprimento, diâmetros basal e apical), teores de fenólicos oligoméricos, sólidos solúveis totais, acidez total titulável, doçura e vitamina C. Esses QTLs explicaram entre 3,15% e 21,33% da variação fenotípica total e encontram-se em processo de validação para que possam ser utilizados na seleção assistida por marcadores em programas de melhoramento genético do cajueiro.

O uso da seleção assistida por marcadores vislumbra-se como uma ferramenta importante para auxiliar a superar os efeitos da interação genótipo x ambiente. De acordo com Yan et al. (1999) e Cao et al. (2001), há três tipos de QTLs: a) os que demonstram efeitos genéticos principais comuns a diferentes ambientes; b) os que apresentam efeitos de interação com ambiente, dependentes de ambientes específicos para se pronunciarem; c) os com comportamento misto, i.e. com efeitos principais e com presença de interação QTL x ambiente.

Na seleção assistida por marcadores no cajueiro, a estratégia inicial será o emprego de QTLs mais fáceis de manipulação, ou seja, os do tipo 1, sobretudo nos caracteres mais complexos, que apresentam baixa herdabilidade e forte interação GA, para o desenvolvimento de genótipos com ampla adaptabilidade, como sugerem Liu et al. (2006). QTLs poucos sensíveis ao ambiente relacionados a caracteres de herdabilidade alta, como a altura de planta, o peso de castanha e as qualidades do pedúnculo, geralmente não são interessantes, pois a seleção fenotípica é suficientemente eficiente, mesmo usando métodos simples de melhoramento. Entretanto, no caso do cajueiro, esses QTLs constituem uma importante ferramenta, pois podem ser usados na seleção de indivíduos antes do plantio definitivo (seleção precoce na fase de viveiro), ampliando as chances de ganhos genéticos significativos.

Uma outra aplicação dos marcadores moleculares, com impacto imediato esperado, é a identificação do tipo de cruzamento presente na geração de cada indivíduo. Isso porque o método mais utilizado nesse programa tem sido a seleção recorrente utilizando famílias de meios-irmãos, gerando genótipos oriundos de polinizações livres, gerados ao acaso por autofecundação ou

cruzamento, ocasionando grande variabilidade genética dentro das parcelas e contribuindo significativamente para o aumento do erro experimental. Com isso, dificulta-se o processo seletivo, pois, se por um lado temos a depressão por endogamia atuando nos indivíduos originados por autofecundação, por outro, temos indivíduos expressando vigor híbrido, ou seja, aqueles oriundos de cruzamentos. Os marcadores moleculares podem solucionar esse problema, pois permitem a identificação de plantas oriundas de autofecundação, as quais serão eliminadas antes do plantio definitivo, ampliando a precisão dos experimentos e eficácia do programa de melhoramento.

O uso conjunto da seleção precoce intensiva com os marcadores moleculares para detectar indivíduos endogâmicos e QTLs será um avanço importante para o melhoramento do cajueiro, pois um maior número de plantas poderá ser avaliado para uma mesma área experimental, proporcionando maiores ganhos genéticos e redução de custo.

## REFERÊNCIAS

ALIYU, O. M.; AWOPETU, J. A. Chromosome studies in cashew (*Anacardium occidentale* L.). **African Journal Biotechnology**, v.6, n.2, p.131-136, 2007.

ALMEIDA, J.I.L.; ARAÚJO, F.E.; LOPES, J.G.V. **Evolução do cajueiro anão-precoce na estação experimental de Pacajus, CE**. Fortaleza: EPACE, 1993. 17p. (EPACE. Documentos, 6).

ARCHAK, S.; GAIKWAD, A. B.; GAUTAM, D.; RAO, E. V. V. B.; SWAMY, K. R. M.; KARIHALOO, J. L. Comparative assessment of DNA fingerprinting techniques (RAPD, ISSR and AFLP) for genetic analysis of cashew (*Anacardium occidentale* L.) accessions of India. **Genome**, Ottawa, v.46, n.3, p.362-369, 2003a.

ARCHAK, S.; GAIKWAD A. B.; GAUTAM, D.; RAO, E. V. V. B.; SWAMY, K. R. M.; KARIHALOO, J. L. DNA fingerprinting of India cashew (*Anacardium occidentale* L.) varieties using RAPD and AFLP techniques. **Euphytica**, Wageningen, v.230, p.397-404, 2003b.

AZEVEDO, D. M. P.; CRISÓSTOMO, J. R.; ALMEIDA, F. C. G.; ROSSETI, A. G. Estimates of genetic correlations and correlated responses to selection in cashew (*Anacardium occidentale* L.) **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v.21, n.3, p.399-402, 1998.

BAILEY, L. H. **The standard cyclopedia of horticulture**. New York: MacMillan. 1942. 1200 p.

BARROS, L. de M. Biologia floral, colheita e rendimento. In: LIMA, V. P. M. S. (Ed.). **A cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil**. Fortaleza: BNB-Etene, 1988a. p.301-319. (BNB. Etene. Estudos econômicos e sociais, 35).

BARROS, L. de M. **Melhoramento**. In: LIMA V. P. M. S. (Ed.). **A cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil**. Fortaleza: BNB-Etene, 1988b. p.321-356. (BNB. Etene. Estudos econômicos e sociais, 35).

BARROS, L. de M. Botânica, origem e distribuição geográfica. In: ARAÚJO, J. P. P.; SILVA, V. V. (Ed.). **Cajucultura: modernas técnicas de produção**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1995. p.54-71.

BARROS, L. de M.; ARAÚJO, F. E.; ALMEIDA, J. I. L.; TEIXEIRA, L. M. S. **A cultura do cajueiro anão**. Fortaleza: EPACE. 1984. 67p.

BARROS, L. de M.; CRISÓSTOMO J. R. Melhoramento genético do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P.; SILVA, V. V. (Ed.). **Cajucultura: modernas técnicas de produção**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1995. p.73-96.

BARROS, L. de M.; PAIVA, J. R. de ; CAVALCANTI, J. J. V.; ALVES, R. E.; LIMA, A. C. BRS 189 dwarf cashew clone cultivar. **Crop Breeding & Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v.2, n.1, p. 157-158, 2002.

BARROS, L. de M.; PAIVA, J. R. de; CRISÓSTOMO, J. R.; CAVALCANTI, J. J. V. Cajueiro. In: BRUCKNER, C. H. (Ed.). **Melhoramento de fruteiras tropicais**. Viçosa, MG: UFV, 2002, p 159-176.

BARROS, L. de M.; CRISÓSTOMO, J. R.; PAIVA, J. R. de ; OLIVEIRA, V. H. de. O agronegócio do caju. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2008, p.341- 357.

BUENO, D. M. **Estudo da floração, frutificação, embriogênese final zigótica e anatomia do pericarpo do cajueiro anão precoce (*Anacardium Occidentale* L.)**. 1997. 95 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CAO, G. Q.; ZHU J.; HE, C. X.; GAO, Y. M.; YAN, J. Q.; WU, P. Impacts of epistasis and QTL x environment interaction for developmental behavior of plant height in rice (*Oryza sativa* L.). **Theoretical Applied Genetics**, Berlin, v. 103, n.1, p. 153-160, 2001.

CAVALCANTI, J. J. V. **Genetic mapping and QTL identification in cashew (*Anacardium occidentale* L.)**. 2004. 178 f. Tese (PhD) - University of Reading, Reading.

CAVALCANTI, J. J. V.; CRISÓSTOMO, J. R.; BARROS, L. de M.; PAIVA, J. R. de. Heterose em cajueiro anão precoce. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.3, p.565-570, 2003.

CAVALCANTI, J. J. V.; PAIVA, J. R de.; BARROS, L. de M.; CRISÓSTOMO, J. R.; CORREA, M. P. F. Repetibilidade de caracteres de produção e porte da planta em clones de cajueiro anão precoce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.35, n.4, p.773-777, 2000.

CAVALCANTI, J. J. V.; BARROS, L. de M.; CRISÓSTOMO, J. R.; PAIVA, J. R. de. **Potencialidades de clones de cajueiro anão-precoce para o semi-árido do Estado do Piauí**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1998. 3 p. (EMBRAPA-CNPAT. Comunicado técnico, 28).

CAVALCANTI, J. J. V.; PINTO, C. A. B. P.; CRISÓSTOMO, J. R.; FERREIRA, D. F. Análise dialéctica para avaliação de híbridos interpopulacionais de cajueiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.35, n.8, p.1567-1575, 2000.

CAVALCANTI, J. J. V.; RESENDE, M. D. D.; CRISÓSTOMO, J. R.; BARROS, L. de M.; PAIVA J. R. de. Genetic control of quantitative traits and hybrid breeding strategies for cashew improvement. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v.7, n.2, p.186-195, 2007.

CAVALCANTI, J. J. V.; WILKINSON, M. J. The first genetic maps of cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Euphytica**, Wageningen, v.157, n.1/2, p.131-143, 2007.

COMSTOCK, R.E.; ROBINSON, H.F.; HARVEY, P. H. A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. **Agronomy Journal**, Madison, v. 41, n. 8, p. 360-367, 1949.

CRISÓSTOMO, J. R.; CAVALCANTI, J. J. V.; BARROS, L. de M.; ALVES, R. E.; FREITAS, J. G.; OLIVEIRA, O. N. Melhoramento do cajueiro-anão-precoce: avaliação da qualidade do pedúnculo e a heterose dos seus híbridos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.477-480, 2002.

DAMODARAN, V. K. Hybrid vigour in cashew (*Anacardium occidentale* L. ). **Agricultural Research Journal of Kerala** , Vellayani, v.13, n.2, p.195-196, 1975.

DARLINGTON, C. D.; JANAKI AMMAL, E. K. **Chromosome atlas of cultivated plants**. London: George Allen and Unwin. 1945. 397 p.

DHANARAJ, A. L.; RAO, E. V. V. B.; SWAMY, K. R. M.; BHAT, M. G.; PRASAD, D. T.; SONDUR, S. N. Using RAPDs to assess the diversity in Indian cashew (*Anacardium occidentale* L.) germplasm. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v.77, n.1, p.41-47, 2002.

FALUYI, M. A. The natural breeding system of cashew (*Anacardium occidentale* L. ) and its influence on yield in southwestern Nigeria. **Nigeria Journal Science**, Ibadan, v. 17, n. 1, p. 51-60, 1983.

FAO. **FAOSTAT**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>>. Acesso em: 27. abr. 2010.

FIGUEIREDO JUNIOR, H. S. Desafios para a cajucultura no Brasil: o comportamento da oferta e da demanda de castanha-de-caju. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 37, n.4, p.550-571, 2006.

GAZZOLA, R.; GAZZOLA, J.; COELHO, C. H. M.; SOUZA, G. S.; WANDER, A. E.; CABRAL, J. E. O. **Considerações sobre a amêndoa da castanha-de-caju: aspectos nutricionais e de mercado** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 2007. Londrina. **Anais....** Londrina: Sober, 2007. p.65

IBGE. Unidade Estadual,CE. **Relatório de ocorrências**. Fortaleza, 2009. 5p.

JOHNSON, D. V. The botany, origin and spread of cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Journal of Plantation Crops**, Kasaragod, v.1, n.1, p.1-7, 1973.

KHOSLA, P. K.; SAREEN, T. S.; MEHRA, P. N. Cytological studies on himalayan *Anacardiaceae*. **The Nucleous**, v.4, n.3, p.205-209, 1973.

LANDE, R.; THOMPSON, R. Efficiency of marker-assisted selection in the improvement of quantitative traits. **Genetics**, Austin, v.124, n.3, p.743-756, 1990.

LEITE, L. A. de S.; PESSOA, P. F. A. P. Aspectos sócio-econômicos. In: BARROS, L. de M. (Ed.). **Caju produção: aspectos técnicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p.15-17 (Frutas do Brasil, 30).

LIU P. Y.; ZHU J.; YAN L. Impacts of QTL x environment interactions on genetic response to marker-assisted selection. **Acta Genetics Sinica**, v.33, n.1, p. 63-71, 2006.

MACHADO, O. Estudos novos sobre uma planta velha: o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.). **Rodriguesia**, Rio de Janeiro, v.8, p.19-48, 1944.

MANOJ, P. S.; GEORGE, T. E. Heterosis in cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Cashew**, Cochín, v.7, n.3, p.7-9, 1993.

MITCHELL, J. D.; MORI, S. A. **The cashew and its relatives (*Anacardium: Anacardiaceae*)**. New York: New York Botanical Garden Press, 1987. 76p. (Memories on the New York Botanical Garden, v.42).

MNENEY, E. E.; MANTELL, S. H.; BENNATT, M. Use of random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers to reveal genetic diversity within and between populations of cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v.76, n.4, p.375-383, 2001.

MURTHY, K. N.; K, V.; PILLAI, R. S. N.; KUMARAN, P. M. Aspects of flowering behaviour and correlation studies in cashew tree (*Anacardium occidentale* L.). In: INTERNATIONAL CASHEW SYMPOSIUM, 1984, Cochín. **Proceedings...** Cochín: Central Plantation Research Institute, 1984. p. 279-280..

NAMBIAR, M. C. Ecophysiology of cashew (*Anacardium occidentale* L.). In: ALVIM, P. de T.; KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic Press, 1977. p.1-26.

OHLER, J. G. **Cashew**. Amsterdam: Institut Voor de Tropen, 1979. 260 p.

PAIVA, J. R. de; BARROS, L. de M.; CRISÓSTOMO J. R.; ARAÚJO, J. P. P.; ROSSETI, A. G.; CAVALCANTI, J. J. V.; FELIPE, E. M. Depressão por endogamia em progênies de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) var. nanum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.33, n.4, p.425-431, 1998.

PARAMESWARAN, N.; DARAMODARAN, V.; PRABHAKARAN, P. Factors influencing yield in cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Indian Cashew Journal**, Ghaziabad, v.16, n.3, p.15-19, 1984.

PATERNIANI, E.; MIRANADA FILHO, J. B. Melhoramento de populações. In: PATERNIANI, E.; VIRGAS, G.P. (Ed.). **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987, p.217-274.

RAO, V. N. M. ; HASSAN, M. V. Preliminary studies on the floral biology of cashew (*Anacardium occidentale* L. ). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 27, n.3, p. 277-288, 1957.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

SANTOS, F. H. C. **Identificação de QTLs associados à qualidade pós-colheita do pedúnculo de caju**. 2008. 123 f Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fitotecnia - Genética e Melhoramento de Plantas ) Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.

SIMMONDS, N. W. **Principles of crop improvement**. New York: Longman, 1979. 386 p.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. (Ed.). **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.137-215.

YAN J. Q.; ZHU J.; HE, C. X.; BENMOUSSA, M.; WU, P. Molecular marker-assisted dissection of genotypes x environment interaction for plant type traits in rice (*Oryza sativa* L.). **Crop Science**, Madison, v.39, n.2, p. 538-544, 1999.