

Melhoramento genético do cajueiro.

João Ribeiro Crisóstomo¹

Levi de Moura Barros²

João Rodrigues de Paiva³

José Jaime V. Cavalcanti⁴

Introdução

O cajueiro, planta de origem brasileira, encontra-se hoje disseminada em quase todos os países do mundo tropical, (Barros & Crisóstomo, 1995), na maioria dos quais sem nenhuma importância econômica em razão dos aspectos envolvidos na sua exploração comercial, principalmente a falta de tradição e de tecnologias no setor produtivo, a organização necessária na comercialização da matéria-prima e capacidade de competição no mercado de nozes comestíveis. Nos países onde é explorado economicamente, principalmente pela comercialização da amêndoa obtida industrialmente do fruto, a ACC, é responsável pela geração de emprego e renda para uma parcela de suas populações caracterizada pelo baixo nível sócio-econômico e pela falta de oportunidade em outras atividades de maior retorno, principalmente por serem, estes países, ainda muito dependentes do negócio agrícola nas suas economias.

No Brasil, a exploração econômica do cajueiro concentra-se no Nordeste, responsável por cerca de 94% da produção, principalmente nos estados do Ceará, Piauí Rio Grande do Norte, na faixa litorânea e transições com outros ecossistemas (Tabela 1). O fato destes Estados serem justamente os mais afetados pelas alterações climáticas periódica (secas) que ocorrem na região, permite inferir pela ampla adaptatividade da espécie, como os diversos ecossistemas que formam a região. Isto, provavelmente, foi o que motivou o interesse em outras regiões do país com disponibilidade de terras não aproveitáveis com cultivos mais lucrativos, pelo cultivo do cajueiro, resultando na disseminação da planta para outros Estados do País. Além disso, na própria região Nordeste há uma expectativa com relação ao sucesso do cajueiro no semi-árido que constitui mais da metade da área física da região e onde são mais graves os problemas sociais, decorrentes da falta de programas e opções econômicas para a sua população.

Embora as estatísticas sobre produção sejam confusas e, por vezes, pouco confiáveis, é certo que, até o final dos anos oitenta, na relação dos maiores produtores de castanha de caju encontrava-se a Índia, Brasil, Moçambique, Tanzânia e Quênia, nesta ordem (Tabela 1), sendo que Índia (60%) e Brasil (31%) continuam, neste final de século, como os principais produtores e exportadores de ACC, não só pela tradição firmada e estrutura de comercialização estabelecida nos principais mercados, mas também pelos parques industriais já instaladas, que lhes permitem vantagens sobre os demais países produtores. E, o volume total de

¹ Embrapa/Agroindústria Tropical - Cx Postal 60511-110 - Fortaleza-CE, Email: jaime@cnpat.embrapa.br

² Embrapa/Agroindústria Tropical - Cx Postal 60511-110 - Fortaleza-CE, Email: levi@cnpat.embrapa.br

³ Embrapa/Agroindústria Tropical - Cx Postal 60511-110 - Fortaleza-CE Email: paiva@cnpat.embrapa.br

⁴ Embrapa/Agroindústria Tropical - Cx Postal 60511-110 - Fortaleza-CE jaime@cnpat.embrapa.br

amêndoas de castanha de caju (ACC) comercializado anualmente está estimado em 160.000t, o que resulta em mais de dois bilhões de dólares para o mercado varejista e, conseqüentemente, divisas para os países exportadores em razão dos maiores consumidores, pela ordem USA (55%), Holanda (10%), Alemanha (7%), Japão (5%) e Inglaterra (5%), com 82% do total absorvido por exportações, serem países de alta renda per capita (Ascenso e Duncan, 1997) e a ACC ser, ainda, um artigo de consumo para as camadas de maior poder aquisitivo.

Por outro lado, o sucesso no cultivo do cajueiro, nos diferentes ecossistemas em que tem sido introduzido, depende de sistemas de produção que incluam fundamentalmente genótipos adaptados às condições de clima e solo locais, razão pela qual cabe ao melhoramento genético importante papel na viabilização econômica da cultura, independente do ambiente onde for explorado, pela geração de clones que possibilitem produtividades que remunerem adequadamente o setor produtivo, e frutos com qualidade para atender os requerimentos do setor industrial que, por sua vez, tem de atender às exigências do mercado consumidor. Entretanto, pela situação atual do setor produtivo, caracterizado pela baixa produtividade dos pomares, cerca de 220 kg/ha de castanhas no ano de 1996, e pela desuniformidade do principal produto gerado, no caso a castanha de caju, o aumento da lucratividade passa pela maximização do aproveitamento do pedúnculo, notadamente no mercado de frutas frescas pelos preços vem alcançando nos principais mercados do país.

A geração de clones que propiciem pedúnculos com qualidade para a conquista de novos mercados se constitui, então, num grande desafio para o melhoramento genético do cajueiro em razão dos méritos de produtividade e melhoria de qualidade dos produtos, como é de conhecimento geral, poderem ser obtidos por meio de alterações no ambiente ou nas plantas cultivadas. Porém, as alterações no ambiente envolvem diversas variáveis, como neutralização dos efeitos de elementos tóxicos, correção da reação e fertilização do solo, combate sistemático as pragas, doenças e plantas invasoras, correção do teor de unidade do solo por meio de irrigação e, muitas vezes, drenagem, manejo do pomar, colheita, armazenamento e transporte, envolvendo sempre o emprego racional de insumos e disponibilidade de técnicas mais modernas de cultivo, acarretando em custos elevados para o produtor.

O melhoramento genético das plantas, por outro lado, envolve um conjunto de procedimentos, com fundamentação científica, cujo objetivo é a alteração de características dos cultivares, de modo que os novos materiais obtidos possibilitem aumento na produtividade e qualidade do produto final. Para tanto o trabalho pode ser dirigido para caracteres como tolerância ao estresse hídrico, adaptação a elevados teores de elementos tóxicos do solo, resistência a doenças e tolerância a pragas, redução do porte das plantas, precocidade, mudanças no comprimento do ciclo de frutificação, alterações na constituição física e química dos frutos e pseudofrutos, como no cajueiro, de modo que o resultado final seja a maior lucratividade do investidor e maior satisfação do consumidor.

O cajueiro

O cajueiro, *Anacardium occidentale* L., planta da família Anacardiaceae, é uma planta perene, de ramificação baixa e porte médio, com altura média de copa entre cinco e oito metros e diâmetro médio (envergadura) entre 12m e 14m, podendo, excepcionalmente, superar a 15 m de altura e a 20 m de envergadura. As folhas são simples, inteiras, alternas, de aspecto subcoriáceo, glabras e curto-pecioladas, medindo de 10cm a 20cm de comprimento por 6cm a 12cm de largura. O fruto é um aquênio reniforme que se prende à panícula por um pedúnculo hipertrofiado que é confundido, pela maioria da população, com o fruto verdadeiro. No Brasil observa-se grande variabilidade para o peso do fruto, que chega a ultrapassar a 30g, embora a média da produção seja em torno de 8g. Também o peso do pedúnculo é muito variável, variando de 15 a pouco mais de 500g. Sua distribuição natural abrange quase todo o território nacional, mas é na região Nordeste que a espécie melhor se adaptou, principalmente às regiões costeiras, fazendo parte da vegetação de praias e das dunas, além das formações de restinga (Lima, 1986).

A inflorescência é uma panícula terminal onde encontram-se flores masculinas (estaminadas) e hermafroditas (perfeitas), sendo o cajueiro, em decorrência, uma planta andromonóica. O número de panículas por planta e o número e distribuição de flores por panícula é bastante variável (Rao & Asna, 1957; Pilai & Pilai, 1975, Damondaram *et al*, 1979). O período de florescimento varia com o genótipo e o ambiente. Na região do Nordeste Setentrional do Brasil, no litoral e transições com outros agroecossistemas, em latitude de 6° Sul e altitudes que não ultrapassam a 100m, é longo, variando de cinco a sete meses no tipo comum (julho/agosto a dezembro/janeiro) e de seis a oito meses (junho/julho a janeiro/fevereiro) no tipo anão precoce (Barros *et al*, 1984; Barros, 1988; Freitas, 1994), podendo, em alguns genótipos e ambientes específicos, florescer o ano inteiro.

Os procedimentos adotados no planejamento e execução do melhoramento genético do cajueiro, como para qualquer outra espécie, dependem, fundamentalmente, do conhecimento da biologia floral, importando a morfologia floral, o tipo de reprodução e os aspectos relativos à polinização e a fertilização da espécie. São importantes também as conseqüências das alterações induzidas artificialmente no modo natural de reprodução, nos cruzamentos dirigidos e nas autofecundações. Some-se a isto o fato de ser o fruto a parte mais importante da planta, do ponto de vista econômico, o que justifica a importância dada as flores, florescimento e frutificação.

Não obstante o principal centro de diversidade do gênero *Anacardium* ser a região amazônica (florestas úmidas, matas de galeria e cerrado), com um centro secundário de diversidade nos cerrados (Planalto Central), a maior diversidade de *Anacardium occidentale* L., única espécie cultivada e a de maior dispersão do gênero (Johnson, 1973; Mitchell e Mori, 1987), é no nordeste brasileiro (Barros, 1991), onde pode ser encontrada em diversos ecossistemas (Duque, 1960), principalmente nas zonas costeiras, fazendo parte da vegetação de praias e dunas e nas formações de restinga (Lima, 1986).

A grande variabilidade observada no Brasil foi agrupada em dois tipos de cajueiros bem definidos em relação ao porte, denominados de cajueiros tipos comum e tipo anão precoce. O cajueiro tipo comum, o mais difundido, tanto naturalmente como por cultivo, caracteriza-se pelo porte mais alto, com altura

variando de 8m a 15m e envergadura de copa que chega a 20m. A copa apresenta grande variação de formato e distribuição de ramos, sendo possível encontrar desde a forma ereta e compacta até a forma espaiada (Barros, 1988). A capacidade produtiva individual do cajueiro comum é muito variável, com dados de plantas que produzem apenas uns poucos frutos até aquelas com produções em torno de 100 kg de castanha por safra, não obstante existam informações, não oficialmente registradas, de plantas em áreas de produtor com produção de 400 kg de castanhas por safra.

O cajueiro tipo anão precoce, também conhecido por cajueiro de seis meses, caracteriza-se pelo porte baixo, com altura de planta em torno de 3 a 4m, copa compacta e homogênea, e envergadura de copa média em torno de 7 a 9m. Inicia o florescimento entre 6 e 18 meses. O peso do fruto nas populações naturais varia de 3-10g e do pedúnculo de 20-160g, o que significa dizer que são características com menor variabilidade em relação ao tipo comum. A capacidade produtiva individual também é menor, até o momento com a máxima produção registrada de 43kg de castanhas (Barros, 1988). Entretanto, plantas melhoradas e clonadas apresentam porte mais baixo (altura de planta em torno de 2.5m, envergadura de copa entre 6 e 8m, dependendo do genótipo, e início de florescimento sempre no primeiro ano de plantio no campo (entre 4 e 6 meses após o plantio da muda).

Além de *A. occidentale* L foram descritas 20 outras espécies de *Anacardium* pela taxonomia clássica. As 21 espécies foram agrupadas, por meio do uso de taxonomia numérica, em apenas nove espécies que, juntamente com *A. fruticosum*, totalizam 10 espécies, de acordo com Mitchell e Mori (1987). Há necessidade, contudo, de novos estudos e entendimentos em relação à classificação de espécies do gênero *Anacardium*.

Melhoramento genético do cajueiro

Fases do melhoramento

Com a descoberta do cajueiro como opção econômica, iniciaram-se as atividades de pesquisa, obedecendo a diferentes estratégias, de acordo com a época e da orientação seguida pelas instituições de pesquisa no país. É possível organizar cronologicamente as atividades de melhoramento genético no cajueiro, no Brasil, em cinco fases distintas (Paiva *et al.*, 1997). A primeira remonta à época da descoberta, pelos nativos, de plantas com pedúnculos apropriados à sua alimentação, tanto no consumo in natura como na elaboração de bebidas, seguindo-se o uso da própria castanha para consumo da amêndoa. Por esta razão, quando os exploradores aportaram na costa brasileira já constataram os frutos de cajueiro sendo utilizados na culinária local. Os registros demonstram a existência desse processo já no século XVII.

A segunda fase data das décadas de 40 e 50 deste século e foi marcada pela importância do LCC como produto principal e pela transformação do pedúnculo, produto secundário, em produtos diversos. Iniciou-se, neste período, a adoção de sistemas mais organizado de exploração no setor produtivo bem como as primeiras introduções de plantas na Campo Experimental de Pacajus (CE), oriundas de populações naturais existentes na região litorânea do Nordeste (Almeida *et al.*, 1973). Historicamente, pode-se considerar este período como o de início das atividades de pesquisa com o cajueiro no Brasil, ainda que de forma

tímida e limitada no raio de ação disciplinar. A formação de uma coleção de base foi, no entanto, muito importante nos anos seguintes, com contribuições marcantes até os dias atuais.

A terceira fase, compreendendo as décadas de 60 e 70, foi a fase dos grandes plantios comerciais em decorrência de um programa de expansão da cajucultura, a partir de incentivos governamentais de fomento à cultura. Nesses plantios utilizou-se apenas o cajueiro comum, no plantio direto de sementes ou na formação de mudas de pé franco em espaçamentos definidos. Neste período as atividades de pesquisas centraram-se na identificação e no controle da produção de castanha de plantas individuais, selecionadas a partir de informações, em propriedades particulares da região de Pacajus, Ceará, onde localiza-se a Estação Experimental de Pacajus, EEP, então do DNPA - Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária do Ministério da Agricultura, atualmente pertencente a Embrapa. Após a identificação das plantas que se destacavam em produção, seguiu-se a formação de novos plantios com sementes colhidas destas plantas.

Na quarta fase, foram obtidos e avaliados clones (conjunto de indivíduos originados de um genótipo comum, por isto mesmo com as mesmas características genéticas) do tipo comum e anão precoce, o que culminou com a recomendação dos clones CCP 06, CCP 76, CCP 09 e CCP 1001, todos do tipo anão precoce, para o plantio comercial (Barros *et al.*, 1984, Almeida *et al.*, 1993; Barros & Crisóstomo, 1995). Como resultado, a produtividade de castanha saltou de 379,4kg/ha (média do período 1958-1995) para cerca de 1.200kg/ha, nos pomares que utilizam clones melhorados em cultivo de sequeiro. A partir dessa época vem sendo priorizado, nas ações de pesquisa realizadas na Estação Experimental de Pacajus, a seleção de plantas dentro do tipo anão precoce, pelas suas características de porte baixo e precocidade que possibilitam a adoção das modernas técnicas de exploração da fruticultura. Constatou-se, no entanto, que a base genética deste material era estreita, resultado do baixo número de plantas introduzidas, originadas de um único local. Esta é uma situação indesejável não só pelas dificuldades para obtenção de novos ganhos de seleção mas também pelos riscos de vulnerabilidade genética. Para ampliar a base genética dos caracteres de interesse agroindustrial, a estratégia tem sido a introdução de novos genótipos, selecionados em plantios feitos por sementes, e a seleção de plantas em populações segregantes, seguida da formação de novas populações, com a recombinação genética pelo método do policruzamento. E, hibridação artificial entre plantas superiores do tipo anão precoce e entre cruzamentos dos tipos anão e comum (Barros & Crisóstomo, 1995).

Como resultado do programa de melhoramento em andamento na EEP, novos clones de cajueiro do tipo anão precoce encontram-se em via de recomendação para o plantio comercial na região. A parceria com a iniciativa privada tem ampliado o número de clones em processo de avaliação, reduzindo o tempo necessário a sua recomendação final.

A quinta fase, em andamento, prioriza as pesquisas para atender às demandas atuais da cajucultura, com enfoque na fruticultura irrigada e no aproveitamento, também, do pedúnculo para o consumo in natura. Neste enfoque, a seleção tem de estar orientada para plantas com características de porte baixo para facilitar a colheita manual; pedúnculo com características de coloração, sabor, textura, maior período de conservação, consistência e teor de tanino adequados às preferências do consumidor; castanha de tamanho e peso adequados ($\geq 10g$); facilidade de destaque do pedúnculo; rendimento $\geq 28\%$;

facilidade na despeliculagem; coloração dentro dos padrões internacionais; e amêndoas resistentes à formação de “bandas”. Na fase de avaliação dos clones recomenda-se testá-los tanto em condições de irrigação como de sequeiro em diferentes ecossistemas.

Estratégias de melhoramento

De um modo geral, os procedimentos mais comumente adotados no melhoramento de plantas de reprodução assexuada são a introdução de germoplasma, seleção clonal e hibridação. Além destes, alguns métodos não convencionais têm sido utilizados com sucesso, como a indução de mutações, indução de poliploidia e cultura de tecidos.

No caso do cajueiro, que é uma planta que tanto pode ser reproduzida através de sementes como por métodos assexuados, podem ser adotados os seguintes processos de melhoramento, além da introdução de plantas: a) melhoramento de populações - através da avaliação de progênies, obtidas de plantas selecionadas para os caracteres de interesse; b) melhoramento clonal - os clones são obtidos de plantas selecionadas pela soma dos atributos favoráveis; c) melhoramento populacional seguido de seleção clonal - neste caso, os clones são obtidos nas famílias formadas a partir das plantas selecionadas em plantios e/ou populações nas áreas de dispersão da espécie.

As estratégias, esquemas e métodos a serem seguidos, bem como os progressos esperados e os problemas envolvidos serão discutidos a seguir.

Introdução de plantas

A introdução de plantas no melhoramento do cajueiro tem sido a principal fonte de obtenção de materiais mais adequados à exploração comercial, enquanto a seleção de clones é uma etapa do melhoramento das plantas de propagação vegetativa utilizada tanto após a introdução de germoplasma como na hibridação. O sucesso com esta metodologia depende da presença de indivíduos superiores para a formação dos clones que entrarão no processo de competição. Assim, o êxito do processo de seleção de clones depende da variabilidade genética existente na população base, razão pela qual a seleção feita numa população formada por um único clone, prática comum entre os produtores, não surte efeito uma vez que toda variação existente é de origem ambiental.

Obtenção de clones

A seleção de clones é uma etapa do melhoramento das plantas de propagação vegetativa utilizada tanto após a introdução de germoplasma como quando a hibridação for o processo adotado. O sucesso com esta metodologia depende da presença de indivíduos superiores para a formação dos clones que entrarão no processo de competição. Assim, o êxito do processo de seleção de clones depende da variabilidade genética existente na população base.

A intensidade de seleção deve ser menor no início do programa, exceção feita para os caracteres de alta herdabilidade. A intensificação da seleção deve ser feita apenas quando o número de indivíduos for suficiente para reduzir o efeito da variância ambiental. Maior segurança nos resultados somente quando a seleção é feita com base em dados de vários locais e de diferentes anos.

Para o cajueiro comum não existem, até o momento, clones recomendados para o cultivo comercial. No Brasil, todos os plantios efetuados com este tipo de cajueiro foram feitos por via sexuada (semente). A demanda por clones existe em função do baixo rendimento dos plantios (menos de 250 kg/ha de castanha, no Nordeste), da heterogeneidade das plantas nos pomares e da heterogeneidade da castanha e pedúnculo produzidos nesses campos propagados por via sexuada.

Somente na década de 70 foram iniciadas pesquisas com clones de cajueiro do tipo comum. Os resultados da avaliação de 20 clones sobre dois porta-enxertos (comum e anão precoce), para a produção, altura das plantas, diâmetro do caule e envergadura da copa, mostraram que todos os clones tiveram produção inferior à das plantas mães. Eles produziram, em média, menos de 10% das máximas produções registradas para o genótipo mãe. Com esses resultados nenhum dos clones reuniu qualidade suficiente para ser distribuído aos produtores (Barros *et al*, 1984a).

Com a implantação do Centro Nacional de Pesquisa de Caju (CNPc) da EMBRAPA, em 1988, reiniciou-se as atividades de seleção com o cajueiro comum. Em decorrência encontra-se em processo de avaliação diversas plantas selecionadas em diferentes agroecossistemas do Nordeste. A expectativa é que sejam obtidos clones de cajueiro comum com potencial produtivo superior a 1.700 kg/ha de castanha em regime de sequeiro.

O interesse do melhoramento pelo cajueiro comum restringe-se ao fato de que ainda existe muita variabilidade genética para os caracteres relacionados a produção de castanha, disponível nos plantios comerciais implantados por semente. Portanto, em razão disto o cajueiro comum apresenta potencial para produtividades superiores a 3.000 kg/ha (na densidade de 100 plantas/ha) uma vez que, não raro, encontram-se plantas com mais de 30 kg de castanha/ano.

O trabalho inicial de melhoramento do cajueiro anão precoce no Brasil constou de uma seleção fenotípica individual, seguido pelo controle anual da produção nas plantas selecionadas. Este trabalho teve início em 1965 na Estação Experimental de Pacajus. Esta 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 1001, em 1987, que são ainda os principais clones comerciais disponíveis (Barros *et al*, 1984b; Almeida *et al*, 1992).

A origem dos dois primeiros clones é a seguinte:

Clone CCP (Clone de Cajueiro de Pacajus) 06 - Selecionado em 1979 a partir da matriz CP (Cajueiro de Pacajus) 06, avaliada durante 15 anos na Estação Experimental de Pacajus-CE. A maior produção registrada para a matriz foi de 25 kg de castanhas, em solo arenoso de baixa fertilidade, sem correção ou fertilização nem controle de pragas.

Clone CCP 76 - Selecionado em 1979 a partir da matriz CP 76, avaliada durante 15 anos em Pacajus-CE. A maior produção registrada pela CP 76 foi de 22 kg nas mesmas condições da CP 06. O porta-enxerto tanto pode ser da espécie *A. microcarpum* DUCKE, como, preferencialmente, o próprio cajueiro anão precoce.

Policruzamento

A expressão policruzamento ("polycross") foi proposta por Tysdal, Kiesselbach e Westever, em 1942, para designar a progênie obtida de sementes de uma linha que foi submetida ao cruzamento com outras linhas selecionadas e

cultivadas num mesmo campo (Alara, 1971). Em essência, o método consiste em possibilitar o intercruzamento natural entre todos os genótipos selecionados, os quais são arranjados em um campo isolado para que não ocorra contaminações com pólen de plantas que não do campo de policruzamento.

O método foi concebido para plantas alógamas que podem ser reproduzidas vegetativamente, objetivando arranjar os genótipos clonados, de forma que todos tenham a possibilidade de polinizar e serem polinizados ao acaso pelos demais. Com o possível intercruzamento de todos os genótipos, aumentam-se as chances de se obter novas combinações gênicas e, conseqüentemente, as possibilidades de seleção de genótipos favoráveis. As sementes colhidas são chamadas policruzadas e as progênies resultantes do plantio das mesmas são também chamadas do policruzados (Hittle, 1954).

O método do policruzamento começou a ser empregado no melhoramento do cajueiro na Estação Experimental de Pacajus-CE, no ano de 1978, com o objetivo de obter combinações favoráveis para porte baixo, precocidade, produção e peso da castanha em genótipos do tipo anão precoce (Barros & Almeida, 1984). Inicialmente foram selecionados oito genótipos para os intercruzamentos, resultando num campo de 64 plantas com a utilização de oito exemplares de cada. Logo no segundo ano de plantio, um dos genótipos foi eliminado por apresentar caracteres inadequados, resultando num experimento com 49 plantas (sete genótipos com sete exemplares) já que uma planta de cada genótipo teve que ser eliminada em observância ao proposto pelo método.

O método modificado em execução na Estação Experimental de Pacajus-CE, obedece as seguintes etapas:

1. Seleção de genótipos com base em um ou mais atributos de interesse. Inicialmente foram selecionados oito plantas com base nas características de porte baixo da planta, precocidade na produção e peso de castanha;

2. Formação do campo de policruzamento. O campo, isolado numa mata de reserva, foi formado com 64 plantas propagadas vegetativamente, de modo que os genótipos selecionados foram reunidos para se intercruzarem livremente. As plantas foram arranjadas de forma que cada genótipo teve pelo menos uma oportunidade de polinizar ou ser polinizado pelos demais. Logo no segundo ano um dos genótipos foi descartado por não apresentar características de porte da planta e início do florescimento adequados aos objetivos do programa. Como restaram sete genótipos, eliminou-se uma planta de cada, resultando num campo com 49 plantas.

3. Obtenção de sementes policruzadas e formação do campo para avaliação das progênies policruzadas. No terceiro ano agrícola, com plantas de dois anos e seis meses de idade, foi possível a obtenção de sementes policruzadas em número suficiente para a formação e avaliação das progênies. O número de progênies de acordo com a metodologia original é similar ao de genótipos, com cada uma sendo formada por uma mistura de combinações genéticas originadas dos demais genótipos. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições.

4. Seleção fenotípica individual no campo de progênies policruzadas e avaliação dos clones obtidos. A ocorrência de plantas com características de porte baixo, precocidade na produção e peso da castanha, resultaram na obtenção de 26 clones os quais encontram-se em avaliação na Estação Experimental de Pacajus, em competição com os quatro clones comerciais disponíveis, CCP 06, CCP, 09, CCP 76 e CCP 1001.

Melhoramento de populações

O sucesso no melhoramento de populações depende fundamentalmente da disponibilidade de variabilidade genética na população original. Outros fatores, todavia, devem ser cuidadosamente 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). Vencovsky (1987) acrescenta ainda o tipo de ação gênica envolvida, além de enfatizar a precisão experimental e, sobretudo, a continuidade como os principais fatores de sucesso na busca por aumentos nas frequências gênicas das populações.

Os métodos de seleção empregados no melhoramento de populações do cajueiro foram: a) seleção fenotípica individual ou seleção massal num só sexo; b) seleção com teste de progênie.

A seleção fenotípica individual é o processo mais simples e consiste na escolha dos melhores indivíduos com base nos caracteres de produção, peso do fruto, peso da amêndoa, porte da planta e precocidade. Normalmente, a produção é considerada como o caráter de maior importância em relação aos demais. Outros caracteres de interesse e que devem ser considerados por programas específicos de melhoramento do cajueiro são a tolerância ao estresse hídrico, tolerância ao alumínio tóxico e resistência à antracnose. Por outro lado, a seleção com base em teste de progênie é sempre mais eficiente do que aquela realizada em apenas no fenótipo das plantas individuais, como na seleção massal ou fenotípica, pela avaliação não só dos indivíduos a serem selecionados como também dos seus descendentes.

Hibridação

O melhoramento feito com base no cruzamento entre clones de cajueiro resulta em progênies segregantes pelo fato de cada indivíduo envolvido ser, em essência, um híbrido. Em decorrência, os indivíduos obtidos formam um conjunto semelhante a uma geração F_2 , onde a segregação é mais intensa e deve ser iniciada a seleção para fixação dos melhores indivíduos. Outro aspecto a ser cuidadosamente observado é a intensidade de seleção praticada nesta geração, para que não ocorram eliminações drásticas, fruto da tentação natural do melhorista de reduzir substancialmente o número de indivíduos já nas primeiras gerações.

Outro aspecto de importância a ser considerado no programa de cruzamento do cajueiro, é a seleção de plantas com que apresente características favoráveis nas gerações segregantes. Isto em razão da possibilidade de fixação imediata dessas combinações genéticas, diferentemente do que ocorre em plantas que se propagam por sementes. Enquanto nestas, o melhorista tem a vantagem de poder avaliar um número elevado de cruzamentos, inclusive já se dispõe de metodologias para predição da capacidade geral e capacidade específica de combinação, o mesmo não ocorre com o cajueiro, em que além de limitação na quantidade de indivíduos avaliados, há o problema do tempo para que um ciclo de seleção seja completado, havendo necessidade de técnicas auxiliares, para que avanços ocorram em menor espaço de tempo.

A eficiência de 1999 hibridações artificiais de plantas matrizes de cajueiro anão precoce, entre estas plantas e de cajueiro comum, realizadas na Estação Experimental de Pacajus foi de 16,55% de frutificação, com variação de 8,9% a 28,9% (Tabela 1). A média dos cruzamentos entre os genótipos de cajueiro anão (17,4%) foi ligeiramente superior àquela observada para os cruzamentos entre anão versus comum (15%), que pode ter sido ocasional.

Tabela 1 - Eficiência da hibridação artificial no cajueiro na Estação Experimental de Pacajus, CE.

| CRUZAMENTOS | FLORES POLINIZADAS | FRUTOS COLHIDOS | FRUTIFICAÇÃO (%) |
|--|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| ANÃO x NAÃO | | | |
| CCP 09 x CCP 06 | 114 | 33 | 28,9 |
| CCP 09 x CCP 76 | 170 | 23 | 13,5 |
| CCP 09 x CCP 1101 | 112 | 19 | 17,0 |
| CCP 09 x C ₁ P ₃ | 97 | 21 | 21,6 |
| CCP 09 x 399 | 192 | 28 | 14,6 |
| CCP 1001 x CCP 06 | 167 | 31 | 18,6 |
| CCP 1001 x 399 | 149 | 20 | 13,4 |
| Subtotal | 1220 | 212 | 17,4 |
| ANÃO x COMUM | | | |
| CCP 09 x Matriz 07 | 228 | 25 | 11,0 |
| CCP 09 x Matriz 12 | 172 | 29 | 16,9 |
| CCP 09 x Matriz 77 | 126 | 18 | 14,3 |
| CCP 09 x Matriz 96 | 112 | 10 | 8,9 |
| CCO 09 x B. Ton. | 141 | 35 | 24,8 |
| Subtotal | 779 | 117 | 15,0 |
| T o t a l | 1999 | 329 | 16,5 |

Fonte: Banco de dados da EMBRAPA/CNPAT.

Técnicas auxiliares no melhoramento

Técnica da polinização controlada

Para a realização dos cruzamentos entre clones de cajueiro em atendimento às necessidades do programa de melhoramento, atualmente em andamento na Estação Experimental de Pacajus, é necessária execução de polinização controlada.

Na execução das polinizações a técnica utilizada consiste no seguinte: a) emasculação das flores masculinas e órgãos masculinos das flores hermafroditas, nas inflorescência que servirão como parental feminino; b) coleta das flores masculinas nas inflorescência do parental masculino, nas primeiras horas da manhã, acondicionando-as em placa de Petri com algodão umedecido; c) no horário de 10:00 - 12:00h, quando ocorre a antese das flores hermafroditas e o período é favorável à deiscência das anteras, a polinização manual é efetuada, balançando-se a flor coletada sobre o estigma da flor receptora, de forma que os grãos se soltem e fiquem aderidos a sua superfície; d) após uma semana é efetuada a verificação do pegamento.

Resultados recentes analisados por Paiva *et al*, (1997) sobre o aproveitamento da polinização controlada entre os clones de cajueiro CCP 76 e CCP 1001 encontram-se na Tabela 2 O percentual de aproveitamento na polinização manteve-se relativamente alto, acima de 60%, para o grupo de plantas autofecundadas e para o híbrido CCP 76 x CCP 1001. Por outro lado, o cruzamento recíproco, obteve índice inferior a 40%, evidenciando haver influência de herança citoplasmática na eficiência da polinização, quando o clone CCP 1001 funciona como parental feminino.

Tabela 2 - Aproveitamento na polinização controlada do cajueiro.

| GENÓTIPOS | FLORES POLINIZADAS | POLINIZAÇÃO (%) | PEGAMENTO (%) | GERMINAÇÃO DE SEMENTE (%) |
|--------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Polinizações | | | | |
| Autofecundação | | | | |
| CCP 76 | 808 | 63,1 | 4,7 | 84,0 |
| CCP 1001 | 167 | 61,1 | 4,2 | 63,0 |
| Cruzamento | | | | |
| CCP 76 x CCP 1001 | 796 | 64,6 | 8,0 | 86,0 |
| CCP 1001 x CCP 76 | 644 | 39,1 | 14,6 | 81,0 |
| Polinização Livre | | | | |
| CCP 76 | - | - | - | 94,0 |
| CCP 1001 | - | - | - | 86,0 |

Parâmetros genéticos

Em estudo para determinar estimativas de parâmetros genéticos-estatísticos objetivando informações sobre a variabilidade genética entre 30 clones de cajueiro anão precoce, Felipe (1996) encontrou os seguintes resultados: alto índice de variabilidade genética para o caráter produção de castanha, medida pela variância genética ($s^2_g = 469897,38$) e pelo coeficiente de variação genética (CVg = 29,5%); alto coeficiente de correlação fenotípica entre envergadura da copa norte-sul e leste-oeste ($r_f = 0,828$) e entre altura de planta e produção ($r_f = 0,601$); e valores médios para as estimativas dos coeficientes de herdabilidades no sentido amplo para altura de planta (40,34%) e para flores masculinas por panículas (41,46%).

Para o melhoramento genético de qualquer espécie são necessárias informações básicas, como modo de reprodução, taxa de fertilização cruzada ou de autofertilização, agentes polinizadores, facilidade de reprodução assexuada, fenologia e número de cromossomos. No caso do cajueiro, alguns estudos vêm sendo efetuados no Brasil, destacando-se um estudo do florescimento, frutificação e queda dos frutos nos cajueiros comum e anão precoce. Para isto, dez plantas de cajueiro comum e dez de anão precoce foram avaliadas, durante dois anos, na EEP, em Pacajus, Ceará. De cada planta foram avaliadas doze panículas, sendo três por cada ponto cardeal. Em cada panícula, determinou-se a duração, em dias, da emissão de flores, o número de flores masculinas e hermafroditas, o número de frutos jovens (recém-formados), o número de frutos que atingiram a fase de colheita e a percentagem de frutos perdidos, isto é, frutos caídos ao chão ou que não completaram a maturação. Os resultados obtidos constam na Tabela 3 e estão sumarizados abaixo:

a) a duração da emissão de flores por panículas nos cajueiros comum e anão precoce foi de 97,9 e 102,3 dias, respectivamente;

b) o cajueiro anão precoce produziu 201,9 flores por panícula, das quais apenas 3,9% foram hermafroditas. A média de flores do cajueiro comum foi de 173,8, sendo 7,9% hermafroditas;

c) nos dois tipos foi reduzida a frequência de flores hermafroditas (abaixo de 8%) o que necessita ser melhorado;

d) dos frutos formados no cajueiro comum apenas 9,9% atingiram a fase de colheita; o restante (90,1%) foi perdido durante o desenvolvimento. No tipo anão, a perda foi de 89,7%;

e) esses resultados mostraram que além do baixo índice de flores hermafroditas a perda de frutos é muito elevada.

Tabela 3 - Duração da emissão de flores, número de flores e de frutos jovens, colhidos e perdidos por panícula numa população de dez plantas de cajueiro comum e dez de anão precoce, avaliada em Pacajus, CE.

| CARACTERÍSTICA | TIPOS DE CAJUEIRO ¹ | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|
| | COMUM | (%) | ANÃO | (%) |
| Emissão de flores / panículas (dias) | 97,9 | - | 102,3 | - |
| Total de flores | 173,8 | 100,0 | 201,9 | 100,0 |
| · Masculinas | 160,0 | 92,1 | 194,1 | 96,1 |
| · Hermafroditas | 13,8 | 7,9 | 7,8 | 3,9 |
| Frutos jovens | 4,4 | 100,0 | 3,6 | 100,0 |
| · Perdidos | 4,0 | 90,1 | 3,1 | 98,7 |
| · Formados (colhidos) | 0,4 | 9,9 | 0,5 | 10,3 |

¹ Média de dois anos (1974-75)

Fonte: Crisóstomo *et al.* (1992)

Finalmente, em análise dos efeitos da depressão por endogamia sobre as características vegetativas e de produção aos 12, 18 e 29 meses de idade das plantas, em progênies de clones de cajueiro anão precoce, originadas de autofecundações, polinizações livres e controladas Paiva *et al.* (1997) verificou que a) o percentual de germinação da semente foi alto em todos os grupos (81% - 94%), com exceção das sementes originadas de autofecundação do clone CCP 1001 que foi de 63%; b) Os efeitos deletérios da endogamia foram mais pronunciados na produção e número de castanhas; c) Os efeitos no caráter produção de castanha/planta foi de 37,6% no clone CCP 76, enquanto no clone CCP 1001 a redução foi de 48%. Outro caráter afetado pela endogamia foi o número de castanha, com 25,3% e 43,3%, respectivamente, para o clone CCP 76 e CCP 1001. Os efeitos endogâmicos no cajueiro se expressam reduzindo o percentual de germinação das sementes e reduzindo, principalmente, a produção média de castanha autofecundadas.

Perspectivas do programa de melhoramento

A demanda da agroindústria da castanha foi responsável pelo avanço do cultivo do cajueiro em outros ecossistemas, notadamente nos cerrados, transições e matas de restinga da região litorânea com o semi-árido, no Piauí, Rio Grande do Norte e Ceará, Estados que respondem pela quase totalidade das castanhas produzidas no País. Esta exploração, no entanto, sempre esteve à margem do emprego de tecnologias, no que diz respeito a variedades melhoradas, inexistentes até o início dos anos 80. Apesar da importância socio-econômica e da expansão da área cultivada, que passou de 48.694 ha em 1960 para cerca de 630.000 ha atuais, a produtividade foi reduzida de 635kg/ha no início da década de 70 para 220kg de castanha/ha.

A obtenção e avaliação de clones do tipo comum e anão precoce, culminou com a recomendação para o plantio comercial dos clones CCP 06, CCP 76, CCP 09 e CCP 1001. Com o plantio desses clones tem-se possibilidade de elevar a produtividade de castanha à cerca de 1.200kg/ha.

A partir dessa época, as pesquisas na área de melhoramento genético priorizaram a seleção com o cajueiro anão precoce (*A. occidentale* L. var. *nanum*), cuja base genética das populações é considerada estreita em função da introdução de poucas plantas originadas de um único local. A ampliação da base genética de caracteres de interesse agro-industrial vem sendo buscada no CNPAT pela 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 entre cruzamentos dos tipos anão e comum.

Novos clones de cajueiro do tipo anão precoce, com a denominação de EMBRAPA 50 e EMBRAPA 51, foram lançados, no ano de 1997, para o plantio comercial na região, sendo o primeiro um híbrido entre um genótipo do tipo anão precoce com um genótipo do tipo comum, caracterizado por um pedúnculo de cor amarela e, respectivamente, fruto com 10 g e amêndoa com 2,9 de peso médio. O segundo clone tem pedúnculo vermelho, fruto com 10,3 g e amêndoa com 2,7 g de peso médio. A produção acumulada destes clones, nos cinco anos de avaliação, superou a dos clones comerciais mais cultivados, no caso o CCP 09 e CCP 76, em 178 % e 203 %, respectivamente, em cultivo de sequeiro.

Por outro lado, parceria com a iniciativa privada tem ampliado o número de clones em processo de avaliação, tanto em cultivo de sequeiro como irrigado, reduzindo o tempo necessário a sua recomendação final.

Em síntese, o melhoramento genético atual tem como meta alcançar os seguintes objetivos: obter plantas com tolerância ou resistência as principais pragas e doenças, adaptabilidade a diferentes ambientes, porte adequado a colheita, com produtividade de castanha >1.000kg/ha, castanhas com peso médio superior a 10g, resistência a formação de “bandas”, com facilidades na despeliculagem da amêndoa e coloração dentro dos padrões internacionais.

A fruticultura moderna além de tratar da aplicação de técnicas e práticas que reduzam o custo de produção dos pomares comerciais, proporciona também um maior aproveitamento das frutas para o consumo in natura ou na indústria de transformação. Assim, as pesquisas na área de melhoramento genético prioriza atender às demandas atuais da cajucultura, com enfoque da fruticultura irrigada e aproveitamento, também, do pedúnculo para o consumo “in natura”. Nesse enfoque, a seleção tem de estar orientada para plantas com características de porte baixo para facilitar a colheita manual; pedúnculo com características de coloração, sabor, textura, maior período de conservação, consistência e teor de tanino adequados às preferências do consumidor; castanha de tamanho e peso adequados (= 10g); e facilidade de descastanhamento.

Resultados recentes mostram os seguintes clones como promissores no aproveitamento de pedúnculo: END 157 (22.898 kg/ha), END 183 (34.774 kg/ha), END 189 (13.232 kg/ha) e MU (3816.055 kg/ha) (Paiva *et al*, 1977b). Com relação a produção de castanha obtiveram-se valores de até 3.150,26 kg/ha para o clone END 9. Conclui-se que com o mesmo material genético, a produção do cajueiro anão precoce sob irrigação, nos três primeiros anos, é significativamente maior do que em regime de sequeiro.

Referências bibliográficas

- ALLARD, R. W. Princípio do Melhoramento Genético das Plantas. São Paulo, Editora Edgar Blucher Ltda. 1971. 381p.
- ALMEIDA, J.I.L. ARAÚJO, F.E., BARROS, L.M. Características do clone EPACE CL 49 de cajueiro. EPACE, **Relatório Anual de Pesquisa 1980/1992**. 160-5. 1992.
- ALMEIDA, J.I.L.; ARAÚJO, F.E.; LOPES, J.G.V. **Evolução do cajueiro anão precoce na Estação Experimental de Pacajus, Ceará**. Fortaleza, EPACE, 1993. 17p. (EPACE, Documentos, 6).
- ASCENSO, J.C. & DUNCAN, A. Cashew processing and marketing. Proceedings of the International Cashew and Coconut Conference, Dar Es Salaam. 1997.
- BARROS, L.M. **Melhoramento**. In: LIMA, V.P.M.S. A cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil. Fortaleza, Banco do Nordeste do Brasil, ETENE. 1988. p.321-356 (Estudos Econômicos e Sociais, 35).
- BARROS, L.M. Caracterização morfológica e isoenzimática do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) tipos comum e anão-precoce, por meio de técnicas multivariadas. Piracicaba, ESALQ, 1991. 256p. (Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz).
- BARROS, L.M.; ARAÚJO, F.E.; ALMEIDA, J.I.L.; TEIXEIRA, L.M.S. **A cultura do Cajueiro Anão**. Fortaleza, EPACE. 1984. 67p. (EPACE, Documentos, 3).
- BARROS, L. de M.; ARAÚJO, F.E. de.; ALMEIDA, J.I.L.; TEIXEIRA, L.M.S. **A cultura do cajueiro anão**. Fortaleza : EPACE, 1984. (**EPACE. Documentos, 3**).
- BARROS, L.M. e CRISÓSTOMO, J.R. **Melhoramento Genético do Cajueiro**. In: ARAÚJO, J.P.P. e SILVA, V.V. **Cajucultura: Modernas Técnicas de Produção**. EMBRAPA/CNPAT, Fortaleza, 1995. p.73-96.
- FELIPE, E.M. Variabilidade Genética em Clones de Cajueiro Anão Precoce. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará. 1996, 56p. (Msc., Dissertação)
- 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.
- LIMA, V.P.M.S. **Fruteiras: uma opção para o reflorestamento do Nordeste**. Fortaleza: BNB/ETENE, 1986. 95p.
- MITCHELL, J.D.; MORI, S.A. The cashew and its relatives (*Anacardium: Anacardiaceae*). **Memories on the New York botanical garden**, v.42, p.1-76, 1987.
- PAIVA, J.R.; BARROS, L.M.; CRISÓSTOMO, J.R.; ARAÚJO, J.P.P.; ROSSETTI, A.G.; CAVALCANTE, J.J.V.; FELIPE, E.M. Depressão por endogamia em progênies de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) var. nanum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.4, p.425-431. 1998.