

## Capítulo 3 – Melhoramento genético do cupuaçuzeiro no estado do Pará

Rafael Moysés Alves

### Introdução

O cupuaçuzeiro [*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex. Spreng.) Schum.] é uma fruteira perene, originada da região amazônica, mais especificamente no sudeste do Pará e noroeste do Maranhão (Cuatrecasas, 1964).

Como outras espécies de origem amazônica, essa fruteira enfrenta condicionantes biológicos quando cultivada nessa região. Entre estes, destaca-se o fungo *Moniliophthora perniciosa* (Stahel), causador da doença conhecida como vassoura de bruxa, que ataca também o cacauzeiro (*Theobroma cacao*), e que fez com que o Brasil perdesse posição no ranking da produção mundial de cacau (Mascarenhas et al., 2000).

De acordo com Allard (1971), no centro de origem de uma espécie, os mecanismos de coevolução planta-patógeno contribuem para a vasta diversidade de patógenos e a grande variabilidade genética observada nas populações naturais. Com a ampliação das áreas de cultivo do cupuaçuzeiro, essa enfermidade tornou-se cada vez mais importante, de modo que, nas regiões mais tradicionais, as perdas começam a inviabilizar a cultura. A enfermidade causa diferentes níveis de danos, com variação planta a planta, em função de fatores genéticos e ambientais (Alves et al., 1997b; Carvalho et al., 1999; Chaves et al., 2022).

Até a década de 1970, o cupuaçuzeiro era uma espécie silvestre cultivada em pomares caseiros, assim como as diversas espécies frutíferas da região amazônica. O colapso da cultura da pimenteira-do-reino (*Piper nigrum*) no

município de Tomé-Açu, PA, causado pelo ataque epidêmico da fusariose, promoveu o surgimento dos primeiros plantios comerciais (Alves, 2002). Os agricultores, na maioria de origem japonesa, buscaram diversificar os sistemas de produção agrícola utilizando diferentes fruteiras, entre elas o cupuaçuzeiro.

Entretanto, não havia material genético selecionado para o cultivo comercial. As mudas eram preparadas a partir de sementes oriundas de populações nativas, pomares caseiros e pequenos plantios. A origem diversificada das sementes promoveu uma grande variabilidade nos plantios, em que plantas com excelente capacidade de produção de frutos se alternavam com plantas, praticamente improdutivas. A consequência dessa prática redundou na situação que se observa na maioria dos plantios: elevada variabilidade quanto a produção de frutos, formato do fruto, arquitetura da copa, formato da folha, entre outros, à semelhança do que ocorre nas condições silvestres (Alves et al., 1998b).

Nos primeiros anos, os cultivos tiveram um bom desempenho produtivo, visto que eram plantados em substituição aos pimentais decadentes, cujo solo possuía boa fertilidade, decorrente das pesadas adubações realizadas nas pimenteiras. No entanto, a elevada variação genética no plantio acabou por ocasionar a redução da produtividade média desses pomares a médio e longo prazo (Alves et al., 1998b; Souza et al., 1998). Além disso, fez com que o ataque da vassoura de bruxa, um dia endêmico, evoluísse para uma epidemia (Alves, 2002).

Na tentativa de modificar esse cenário, programas de melhoramento genético dessa espécie têm sido conduzidos na Amazônia Oriental (Alves, 1999), na Amazônia Ocidental (Souza et al., 2002) e, mais recentemente, em todos os estados da região Norte. O objetivo básico desses programas é desenvolver materiais genéticos superiores para a produção de frutos e resistência a agentes bióticos e fatores abióticos adversos, com ênfase para a vassoura de bruxa, a custos que garantam uma rentabilidade aos agricultores (Alves, 2002).

Diante do exposto, o presente capítulo apresentará os principais avanços do programa de melhoramento genético do cupuaçuzeiro da Embrapa, bem como sua visão estratégica aos desafios que surgirão nas próximas décadas.

## Biologia floral

O sistema de reprodução de uma espécie determina como as informações genéticas serão transferidas de uma geração para outra (Wright, 1921), auxiliando a conservação e o melhoramento genético das espécies. O

conhecimento sobre como os genes serão combinados para originar a próxima geração permite delinear estratégias para a seleção de genótipos superiores e a retenção de parte da variabilidade genética para utilização futura.

As plantas do cupuaçuzeiro florescem no período de julho a dezembro, que é o mais seco do ano, e frutificam de agosto a abril (Prance; Silva, 1975), com o pico de frutificação acontecendo no primeiro trimestre do ano, mais chuvoso. A flor de *T. grandiflorum*, apesar de hermafrodita, apresenta barreiras anatômicas extremamente eficientes em dificultar o acesso direto dos grãos de pólen das anteras para o estigma. Silva (1996) observou que 100% da autopolinização espontânea foi impedida simplesmente pelo fenômeno da hercogamia. Em *T. cacao*, a presença de barreiras físicas na flor favorece a alogamia, mesmo em indivíduos autocompatíveis (Souza; Dias, 2001).

Silva (1996) verificou também que *T. grandiflorum* não apresentava agamospermia, sendo necessária a polinização para que haja a formação de frutos. Em trabalhos realizados por Silva (1996) e Alves et al. (1997b), foi verificado que todas as tentativas de autofecundação forçada do cupuaçuzeiro não tiveram sucesso.

Todos esses resultados indicaram que *T. grandiflorum* apresentaria mecanismo de autoincompatibilidade e forte tendência à alogamia como forma predominante de reprodução (Venturieri, 1993; Venturieri; Ribeiro Filho, 1995; Silva, 1996; Alves et al., 1997a). Entretanto, Addison e Tavares (1951) encontraram uma matriz de cupuaçuzeiro que era tanto auto como alocompatível. Verificaram que essa matriz era a que mais facilmente se hibridizava com plantas das outras espécies do gênero, sugerindo que a base bioquímica do processo de inativação da incompatibilidade era a mesma, tanto intraespecífica quanto interespecífica.

A presença de autoincompatibilidade parece ser comum em muitas espécies tropicais (Bullock, 1985), sendo uma forma eficiente para evitar endogamia. No gênero *Theobroma*, sistemas de autoincompatibilidade também parecem ser comuns e foram bastante estudados em *T. cacao* (Knight; Rogers, 1955; Cope, 1962). Aneja et al. (1994), trabalhando com o clone de *T. cacao* IMC 30, autoincompatível, verificou que o mecanismo de autoincompatibilidade atuava em dois estágios: prevenindo inicialmente a germinação do pólen e a fusão gamética. À semelhança de *T. cacao*, *T. grandiflorum* apresenta autoincompatibilidade com reação no ovário, pré-zigótica, ocorrendo abscisão da flor antes da formação do embrião.

A estimativa da taxa de cruzamento multilocos também sugere *T. grandiflorum* como uma espécie perfeitamente alógama (Alves et al., 2003a).

## Foco do melhoramento

Provavelmente, os primeiros “melhoristas” do cupuaçuzeiro foram os índios do interior da Amazônia que, no seu modo de vida nômade, levavam as sementes das espécies que mais lhes apeteciam de uma aldeia para outra. No seu caminhar pela floresta, foram deixando populações de cupuaçuzeiro semiespontâneas que serviram para aumentar a variabilidade da espécie (Clement, 1999). Paralelamente, transferiram as sementes dos genótipos que mais lhes impressionavam, como fruto grande, sabor mais agradável, com coloração mais intensa, etc., sem intencionar, necessariamente, o melhoramento dessas ou de outras características.

O primeiro passo para iniciar um programa de melhoramento genético é definir claramente os problemas que afetam a espécie a ser estudada, para que se possa estabelecer uma estratégia que venha ao encontro das soluções. Como toda espécie em processo de domesticação, o cupuaçuzeiro apresenta várias características que precisam ser melhoradas para torná-lo biológica e economicamente viável, estando apto a entrar no sistema de produção. Encontrar um genótipo pronto na natureza requer um esforço de coleta muito amplo, dispendioso e pouco factível. Além disso, fazer pirâmidação gênica em espécies perenes com longos ciclos de melhoramento não é tarefa viável pelos procedimentos clássicos (Chaves et al., 2021). A melhor estratégia é buscar na variabilidade disponível na natureza genótipos que já se aproximem do ideal, deixando para o melhoramento acrescentar aquelas características que estão faltando para atender aos diferentes objetivos.

Desde os primeiros trabalhos de melhoramento do cupuaçuzeiro, observou-se que a baixa produtividade da espécie associada à vassoura de bruxa são os fatores que podem dificultar a sua domesticação no intuito de torná-la uma cultura sustentável. O esforço inicial de se buscar na natureza matrizes assintomáticas para essa doença, submetê-las às condições favoráveis para ocorrência de epidemias, avaliá-las quanto à resistência e produção de frutos foi a solução inicial encontrada (Lima et al., 1986; Lima; Costa, 1991; Lima; Costa, 1997).

Atualmente outros problemas apareceram, como: suscetibilidade à broca-do-fruto; intolerância à seca; necessidade de polpa com teores de sólidos solúveis mais elevados e com menores níveis de acidez; assim como aumento na percentagem de frutos férteis, entre outros. A Figura 3.1 apresenta uma linha do tempo com os principais acontecimentos dos programas de melhoramento de cupuaçuzeiro na Amazônia, os quais serão detalhados nas seções seguintes.



**Figura 3.1.** Linha do tempo dos principais acontecimentos dos programas de melhoramento de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) na Amazônia.

## Formação das coleções

A grande variabilidade genética que existe dentro das populações naturais e a forma de distribuição das plantas dentro do complexo multiespecífico da floresta, provavelmente, são os fatores que garantem a sustentabilidade biológica das populações.

Para a formação das coleções, a busca por germoplasma com boa produção de fruto, resistente à vassoura de bruxa e a outros patógenos, deve ser a mais ampla possível, no intuito de reunir genes e genótipos com a máxima variabilidade para as características desejáveis (Alves; Figueira, 2002).

Populações naturais, áreas de plantios comerciais e pomares caseiros foram prospectados para constituírem as coleções existentes no Pará e conservadas na Embrapa Amazônia Oriental, com sede em Belém, PA.

Coletas foram realizadas em toda a região amazônica, ao longo da calha do Rio Amazonas e seus afluentes (Lima et al., 1986; Lima; Costa, 1991, 1997), em populações naturais remanescentes do sudeste do Pará e noroeste do Maranhão (Alves, 2002), plantios comerciais (Alves et al., 1998a) e pomares caseiros. As primeiras coletas foram direcionadas para plantas assintomáticas e que apresentavam boa produção de frutos. A propagação vegetativa foi a opção para capturar integralmente o genótipo. Em coletas posteriores, foi empregada a propagação sexuada para aumentar a variabilidade genética dos acessos, visando outros caracteres de interesse.

Como o cupuaçuzeiro apresenta sementes recalcitrantes, as coleções foram implantadas no campo logo após a coleta. Para promover uma rápida instalação da doença, ramos com vassoura de bruxa foram trazidos de plantios externos e colocados nas plantas. Outra providência foi colocar plantas susceptíveis em diferentes pontos do terreno, para que servissem como indicadores da presença da vassoura de bruxa e incrementassem a fonte de inóculo (Lima; Costa, 1997). Já no primeiro ano, houve manifestação da doença em alguns acessos, evoluindo para quase 90% após 10 anos de implantação do pomar (Alves et al., 1997b, 2009).

Alves et al. (2007) reportam a diversidade genética existente entre e dentro dessas populações. A manutenção de plantas a campo permite a avaliação dos genótipos quanto à resistência às doenças, as características fenológicas e produtivas dos materiais e, ainda, conhecer a compatibilidade entre os acessos, fundamental para recomendações de grupos de clones (Alves, 2005a).

Para uma fruteira perene com ciclo de melhoramento de pelo menos 10 anos, o conjunto dessas informações permite discriminar os acessos, identificar os mais promissores e selecioná-los. Sua recomendação imediata aos produtores para plantio em pequena escala dependerá do fornecimento de sementes em escala suficiente para o atendimento dessa demanda.

Em função da ausência de sementes selecionadas de cupuaçuzeiro, as primeiras cultivares (Coari, Codajás, Manacapuru e Belém) lançadas pela Embrapa Amazônia Oriental, em 2002, saíram diretamente das coleções de trabalho para as áreas dos produtores. Ensaios posteriores, avaliando o comportamento desses materiais em diferentes ambientes, permitiram uma recomendação mais abrangente das quatro cultivares.

Tais recomendações foram possíveis pela avaliação e caracterização de materiais diretamente dos Bancos Ativos de Germoplasma (BAG), de onde foi possível identificar genótipos com potencial para serem imediatamente recomendados aos produtores. A fenotipagem no BAG também visa à avaliação da diversidade, bem como a caracterização propriamente dita dos materiais. Um BAG com genótipos conhecidos é a base fundamental do programa de melhoramento.

## **Métodos de melhoramento e estratégias**

O programa de melhoramento genético do cupuaçuzeiro desenvolvido pela Embrapa Amazônia Oriental visa desenvolver dois tipos de materiais genéticos: clones e populações melhoradas.

A facilidade de propagação dessa fruteira, tanto sexuada quanto assexuada, aliada à exploração da heterose, amplia os métodos de melhoramento e abriu diferentes opções que podem associar a resistência à vassoura de bruxa à alta produção de frutos.

Dessa forma, adotou-se uma estratégia em que o primeiro passo se baseia em identificar e selecionar nas coleções os progenitores que darão início ao programa de melhoramento, por meio da seleção massal ou seleção massal estratificada (Embrapa Amazônia Oriental, 1999).

Os parentais selecionados são intercruzados, utilizando-se esquemas dialélicos completos e incompletos. As hibridizações são realizadas através de polinizações manuais controladas. As progênies de irmãos completos são avaliadas em um ou mais ambientes. Empregando-se seleção entre e dentro de progênies, as melhores matrizes são identificadas, selecionadas e clonadas. Os clones seguem para avaliação clonal em pequena escala e, após nova triagem, são avaliados em experimento de larga escala (Embrapa, 1999). Como cada ciclo de melhoramento leva em torno de 15 anos, convém que outras estratégias sejam implementadas paralelamente.

Assim, os clones selecionados em pequena escala deverão ser reunidos em um lote isolado de outros plantios, constituindo um pomar de sementes, para maximizar a polinização natural, uma vez que cada planta será arranjada no campo de forma que fique afastada de outra do mesmo clone, dispensando o emprego de cruzamentos controlados (Alves, 2012a). O produto dessa linha de pesquisa será uma população melhorada de primeiro ciclo, que deverá ser avaliada em diferentes ambientes para futura seleção e recomendação aos produtores. Também se constituirá em fonte de materiais que darão origem a um novo ciclo de seleção.

A opção pela busca de cultivares na forma de clones confere elevado ganho genético por ciclo de melhoramento, dando respostas mais imediatas às demandas de material de plantação. Entretanto, oferece riscos de quebra da resistência, pois o produto dessa linha de pesquisa são clones elites com base genética restrita. São materiais mais recomendados para produtores capazes de usar maiores tecnologias, que terão condições de agregar ao controle genético, caso necessário, práticas agrônômicas como controle fitossanitário, envolvendo aplicações de fungicidas e poda profilática das vassouras (ramos) e frutos atacados. Para tentar minimizar o problema, a seleção dos clones deverá ser efetuada em condições de campo, de forma que as manifestações de resistência horizontal sejam também consideradas (Alves; Ferreira, 2012).

Porém, para a grande demanda oriunda dos pequenos agricultores, o tipo de material genético a ser disponibilizado deve ser uma população melhorada ou composta por diferentes híbridos, fundamental para manutenção segura de uma ampla base genética (Alves et al., 2010; Alves, 2012a).

Portanto, a estratégia a ser adotada privilegiará o melhoramento populacional (Alves, 1999). Os genitores que darão origem à população, ou os híbridos, serão constituídos por clones comprovadamente resistentes a vassoura de bruxa, portadores de diferentes fontes de resistência e clones altamente produtivos, também oriundos de diferentes procedências.

A população melhorada obtida terá condições de interagir com a doença, à semelhança do que ocorre nas populações naturais, numa ação tampão muito parecida ao procedimento multilinhas utilizado em plantas anuais. Também deverá apresentar uma produtividade média superior e mais estável que a observada nos plantios atuais.

Nos ciclos seguintes, será adotada a seleção recorrente, que visará aumentar na população a frequência dos genes responsáveis pelas características agrônomicas mais importantes (Embrapa, 1999).

Portanto, em relação ao tipo de material de plantio anterior (clone), a expectativa é de ganhos genéticos menores, porém com maior estabilidade e longevidade da cultura no campo.

## Cultivares lançadas

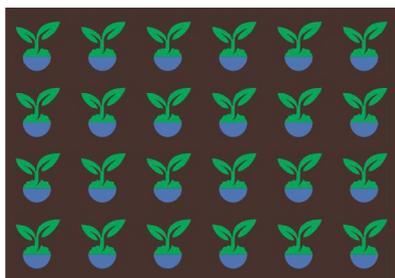
A Embrapa Amazônia Oriental iniciou, em 1984, um programa de melhoramento genético com a formação de uma coleção constituída por genótipos coletados em condições silvestres, pomares caseiros e plantios comerciais (Lima et al., 1986; Lima; Costa, 1991, 1997; Pimentel; Alves, 1995; Alves et al., 2003b).

Após criterioso trabalho de avaliação e seleção, o programa lançou, em 2002, quatro cultivares de cupuaçuzeiro tolerantes à vassoura de bruxa denominadas Coari, Codajás, Manacapuru e Belém (Cruz et al., 2000; Alves; Cruz, 2003). Essas cultivares são clones que se destacaram nos ensaios de campo por apresentarem, além de tolerância à vassoura de bruxa, produtividade média de 13 frutos por planta por safra e polpa com teores médios de 14 °Brix. A adoção dessas tecnologias promove a redução de até 50% nos custos de produção para os produtores, pois evita a necessidade de poda de ramos, flores e frutos afetados pela doença. Esses atributos

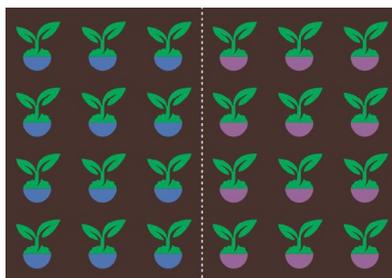
contribuíram para reestabelecer a confiança dos produtores na cultura, tanto na ampliação da área plantada quanto na recuperação dos pomares doentes, por meio da renovação das copas via enxertia, à semelhança do que foi praticado pelos cacauicultores no estado da Bahia (Alves, 2012b).

Plantios clonais de espécies frutíferas com sistema de reprodução cruzada, como o cupuaçuzeiro, exigem cuidados tanto na implantação do pomar como em sua condução.

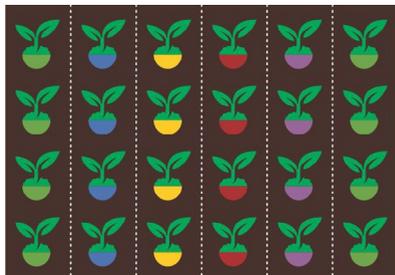
Estudos desenvolvidos por Venturieri (1993, 1994), Alves (2005a) e Silva (1996) demonstraram que o cupuaçuzeiro não aceita autofecundação. Para que haja produção de frutos, o inseto polinizador tem que transportar o pólen de uma planta para o órgão feminino de outra planta geneticamente diferente. Quando o plantio é realizado com um único clone (plantio monoclonal) todas as plantas são geneticamente iguais, não havendo possibilidade de produção de frutos, pois, mesmo que o polinizador transporte o pólen de uma planta para outra, estará provocando autofecundação (Figura 3.2). Haverá necessidade, portanto, de utilizar dois ou mais clones (plantio policlonal) para que a produção seja a esperada (Alves, 2005b). Porém, deve ser evitado o sistema de plantio policlonal em blocos monoclonais, pois somente haverá produção de frutos nas plantas localizadas nas bordas de contato dos blocos (Figura 3.3). Plantas dos diferentes clones deverão ser arranjadas alternadamente no campo, para maximizar a polinização (Figuras 3.4 e 3.5).



**Figura 3.2.** Plantio de um único clone (monoclonal): arranjo de campo totalmente ineficiente, pois como todas as plantas são de um único material clonal (BRS 337), qualquer polinização que ocorra dentro ou entre linhas não resultará em produção de frutos.



**Figura 3.3.** Plantio de dois ou mais clones em blocos (policlonal com blocos monoclonais): arranjo de campo ineficiente, pois cada bloco apresenta um único material clonal (BRS 337 = azul; BRS 349 = roxo).



**Figura 3.4.** Plantio policlonal com linhas monoclonais: arranjo de campo parcialmente eficiente, em que a produção de frutos será decorrente de cruzamentos entre as plantas de linhas diferentes, reduzindo a produção total da área.



**Figura 3.5.** Plantio inteiramente policlonal: arranjo de campo eficiente, pois como há alternância de plantas dos cinco clones (BRS 337, BRS 338, BRS 340, BRS 346 e BRS 349) na linha e entrelinhas de plantio, a produção de frutos decorrerá de polinização em qualquer direção.

Na montagem do pomar, a participação dos clones em campo não precisa ser, necessariamente, igual. Alves (2005b) recomendou para as cultivares lançadas em 2002 as seguintes proporções: 25% de plantas do Coari, 25% do Manacapuru, 37,5% do Codajás e 12,5% do Belém (Figura 3.6). Isto porque a qualidade do fruto da cultivar Belém era inferior aos demais clones. Porém, era importante na composição como fonte de pólen, por ser totalmente compatível com as demais cultivares.

Fotos: Rafael Moysés Alves



**Figura 3.6.** Cultivares de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) lançadas pela Embrapa Amazônia Oriental, em 2002: BRS Coari (A), BRS Codajás (B), BRS Manacapuru (C) e BRS Belém (D).

Paralelamente, o programa de melhoramento do cupuaçuzeiro buscou um material mais produtivo, propagado por sementes e que apresentasse fontes distintas de resistência à vassoura de bruxa (Alves et al., 2003b; Alves; Resende, 2008). A necessidade de diversificação das fontes de resistência é decorrente do risco que correria o produtor em utilizar materiais uniformes. O aparecimento de novos isolados do fungo em plantios na região amazônica é bastante provável, visto que, por ser essa região o centro de origem do cupuaçuzeiro, acredita-se que todos os patógenos coevolúram com o cupuaçuzeiro ao longo do tempo. Esse princípio se concretizou com os clones lançados há 20 anos. Apesar de inicialmente serem tolerantes, já começaram a apresentar sintomas da doença.

Assim, materiais genéticos com diferentes fontes de resistência constituiriam um efeito multilinha, que proporcionaria maior capacidade para suportar o ataque da doença (Alves et al., 1998b).

A estrutura genética dessa nova cultivar seria de uma população melhorada, propagada por sementes, composta por diferentes materiais que apresentassem fontes distintas de resistência à vassoura-de-bruxa, com aptidão para produção de polpa e amêndoas (Alves; Ferreira, 2012).

A BRS Carimbó é uma cultivar de cupuaçuzeiro cujo processo de seleção começou com as cultivares Coari, Codajás, Manacapuru e Belém (Alves; Cruz, 2003). Essas cultivares foram cruzadas entre si, bem como cruzadas com outros materiais resistentes ou mais produtivos. As progênies (filhos) foram avaliadas durante 15 anos. No final do processo, 13 plantas foram selecionadas e clonadas. Esses 13 materiais e mais outros 3 clones (Coari, Manacapuru e 1074) foram plantados de forma organizada em quadras isoladas. As sementes oriundas do cruzamento desses 16 materiais originaram a cultivar BRS Carimbó. As análises dessas sucessivas avaliações (especialmente do comportamento dos 16 parentais durante 15 anos) permitiram estabelecer as estimativas de resistência e produtividade da nova cultivar (Alves; Ferreira, 2012).

Por ser formada por 16 materiais (Figura 3.7), possivelmente com diferentes fontes de resistência, a BRS Carimbó possui resistência à vassoura de bruxa diversificada, com genes de resistência oriundos dos 16 materiais. Essa composição confere mais segurança ao produtor de cupuaçu, pois minimizará o risco de uma epidemia da doença no pomar. Entretanto, cruzamentos entre clones resistentes e entre clones resistentes e susceptíveis deverão gerar segregação, isto é, algumas plantas deverão apresentar susceptibilidade a essa doença. Progênies obtidas a partir do cruzamento entre alguns desses parentais indicaram o aparecimento de cerca de 10% das plantas com

ataque da doença nos ensaios conduzidos a campo, onde a fonte de inóculo era promovida por plantas susceptíveis altamente atacadas pela vassoura. Entretanto, o número de vassouras foi baixo, facilmente controlado com poda fitossanitária. Comportamento semelhante é o esperado para a cultivar BRS Carimbó (Alves, 2012a).

Foto: Ronaldo Rosa



**Figura 3.7.** Parentais da cultivar de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) BRS Carimbó.

Estima-se que, quando as plantas atingirem a estabilidade no oitavo ano de cultivo, produzirão em média 18 frutos por safra. Isto significará um diferencial de 50% em relação à produção relatada por Calzavara et al. (1984), de 12 frutos por planta por safra, e ainda superior às quatro cultivares lançadas em 2002, que apresentam produção média de 14 frutos por planta por safra (Alves; Cruz, 2003).

Como o fruto tem peso médio de 1.622 g, estima-se a produtividade de 11.600 kg de frutos por hectare, computando-se 400 plantas por hectare. Quando a produtividade da cultivar Carimbó é comparada com a baixíssima média de produtividade do estado do Pará, de 3.370 kg de frutos por hectare (Pará, 2018), o acréscimo fica em cerca de 250%. Em relação às cultivares do mercado, esse acréscimo seria de 140% (Alves, 2012a).

O tamanho, o formato, o peso e a coloração dos frutos são variáveis em função do número de parentais. Geralmente, apresenta frutos médio-grandes, com peso superior a 1,5 kg, que terá boa aceitação tanto na agroindústria como no mercado de fruta in natura (Alves, 2012a).

A BRS Carimbó possui dupla aptidão: serve tanto para produção de polpa quanto para produção de amêndoas. Para a produção de 1 kg de polpa, são necessários, em média, 1,7 frutos. Com um rendimento de 38% de polpa por fruto, o potencial de produtividade é de 4,4 t de polpa por hectare. O mesmo rendimento de polpa (38%), se aplicado à produção média paraense, resultaria numa produtividade de apenas 1,3 t de polpa por hectare. Comparado com a produtividade das cultivares já no mercado de 2.380 kg de polpa por hectare, verifica-se também ampla vantagem da cultivar BRS Carimbó (Alves; Ferreira, 2012).

A produtividade de amêndoas esperada é de 1 t/ha de amêndoas secas. Em média, 6,9 frutos produzem 1 kg de amêndoas secas (Alves; Ferreira, 2012). Esse subproduto tem assumido destaque na cadeia de produção do cupuaçuzeiro, pois o óleo extraído das amêndoas está sendo empregado na indústria de cosméticos.

Quanto ao número de sementes, em cada quadra de produção de sementes da cultivar BRS Carimbó (1 ha), quando atingir a estabilização, deverão ser produzidas em média 216 mil sementes. Isto computando 400 plantas por hectare, 18 frutos por planta e 30 sementes por fruto. A capacidade instalada das três quadras da Embrapa Amazônia Oriental será, portanto, de aproximadamente 648 mil sementes. Como cada semente pesa em média 7 g, essa produção corresponde a 4.536 kg. Para cada hectare, são necessários em torno de 3 kg de sementes (já computadas 10% de perda com seleção de mudas e morte no campo), significando que poderão ser plantados 1,5 mil hectares a cada ano.

A Tabela 3.1 reporta os dados de produção e produtividade da cultivar BRS Carimbó, bem como as características físico-químicas da sua polpa. Nela é possível notar que a qualidade tecnológica da polpa da cultivar BRS Carimbó atende às exigências da agroindústria de transformação.

Em 2022, a Embrapa Amazônia Oriental lançou o kit Cupuaçu 5.0, constituído pelas cultivares: BRS Careca, BRS Fartura, BRS Duquesa, BRS Curinga e BRS Golias, todas de propagação clonal, que apresentam os melhores índices de produção e resistência até o momento (Figura 3.8). Essas cultivares são recomendadas especialmente para utilização na renovação de pomares envelhecidos e/ou inviabilizados pela vassoura de bruxa, através da técnica de substituição de copa (Alves et al., 2020).

**Tabela 3.1.** Estatísticas descritivas das variáveis de produção, produtividade e características físico-químicas da polpa da cultivar BRS Carimbó de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*). Belém, agosto, 2010.

Variável	Média
N° frutos por planta	18,28
Produtividade de frutos (t/ha)	11,68
Produtividade de polpa (t/ha)	4,43
Índice de polpa	1,73
Produtividade de amêndoas frescas (t/ha)	1,53
Produtividade de amêndoas secas (t/ha)	1,08
Índice de amêndoas	6,88
pH	3,60
Sólidos solúveis totais (°Brix)	12,20
Acidez titulável (%)	1,80
Ratio (sólidos solúveis totais/acidez)	7,40
Sólidos totais (°Brix)	15,00

Fonte: Alves e Ferreira (2012).

Foto: Rafael Morysés Alves



**Figura 3.8.** Cultivares de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) do kit Cupuaçu 5.0.

Alves e Chaves (2020) relatam as características diferenciadoras dessa cultivares. Apresentam, na fase adulta, aos 8 anos após plantio, média de 23 frutos por planta, o que corresponde a uma produtividade média de 6,9 mil frutos por hectare por safra, considerando um pomar com 300 árvores por hectare.

A produção de frutos pode ultrapassar 48 kg por planta, resultando em cerca de 13 t de frutos por hectare por safra. Tem como característica principal a dupla aptidão: boa produção média de polpa e boa produção de amêndoas. A média de produção de polpa e de amêndoa fresca por planta das cultivares é de 17 kg e 6 kg, respectivamente, resultando em cerca de 5,3 t/ha de polpa e 1,9 t/ha de amêndoa fresca. Quanto ao período de produção, três cultivares têm a maior produção nos meses de fevereiro, março e abril, enquanto duas são tardias, com maior produção nos meses de maio, junho e julho. Apresentam boa resistência à vassoura de bruxa, com menos de 10% das plantas atacadas, durante os 25 anos que foram testadas.

As características químicas da polpa são semelhantes às da BRS Carimbó, porém as novas cultivares são mais ricas em sólidos totais. Essas características atendem ao padrão de identidade e qualidade (PIQ) para polpa de cupuaçu estabelecido pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (Brasil, 2000).

## Cupuaçu sem semente

Uma mutação que ocorreu provavelmente em uma gema de uma matriz de cupuaçuzeiro localizado no município de Cametá, PA, localidade de Pacajás, situada a 500 m da margem esquerda do Rio Tocantins, deu origem a uma planta que, em alguns galhos, apresentou frutos sem sementes, enquanto no outro lado da planta os frutos eram normais. Essa planta foi encontrada em 1959, por técnicos do Instituto Agrônomo do Norte (atual Embrapa Amazônia Oriental), os quais verificaram que os frutos apresentavam, em média, 2.700 g de peso. Coletaram material vegetativo dos ramos, cujos frutos não tinham sementes, para efetuar a clonagem da matriz em Belém. A expectativa inicial era a melhor possível, visto que o rendimento de polpa desse material chegava a 67%, praticamente o dobro do cupuaçu com sementes (Santos; Condurú, 1972).

Avaliações de campo indicaram que a baixa produção do clone dificilmente o tornaria uma nova cultivar. Havia necessidade que as plantas fossem colocadas alternadas com materiais que produziam sementes, visto que necessitavam de pólen normal para induzir o desenvolvimento de frutos. Foi constatado também que o clone era susceptível a vassoura de bruxa. A baixa

acidez da polpa e a presença na polpa de remanescentes dos tegumentos dos óvulos, de difícil separação da polpa, contribuíram para que o material não fosse aproveitado em plantios comerciais (Muller; Carvalho, 1997).

Atualmente o cupuaçu sem semente tem sido plantado mais como uma curiosidade em pomares caseiros. Porém, a característica de baixa acidez passou a ser desejável na conquista de mercados externos, que não toleram polpas ácidas, sendo possível que volte a despertar interesse do mercado. Entretanto, haverá necessidade desenvolver estudos para corrigir os problemas fitotécnicos supracitados.

## **Substituição de copa por materiais melhorados**

Atualmente a substituição de copa do cupuaçuzeiro visa o controle da vassoura de bruxa (Alves, 2014). Entretanto, esta é uma técnica que poderá ser empregada para diferentes finalidades. O surgimento de uma nova cultivar com um diferencial de produção interessante, por exemplo, poderá motivar o produtor a renovar seu pomar.

A simples renovação da copa, através de poda drástica, já promove uma melhoria da sanidade do pomar. Dependendo do estado nutricional das plantas, os ramos saem vigorosos e sadios. Porém, esse efeito é efêmero. Em razão da susceptibilidade do material, em pouco tempo reinicia a infestação (Alves, 2012b).

A substituição de copa com materiais clonais resistentes a essa enfermidade traz duplo benefício. Diminuem os custos com podas fitossanitárias, ao mesmo tempo em que promove um substancial aumento da produção. Isto porque a doença afeta a capacidade da planta de produzir frutos e os frutos produzidos que chegam a completar a maturação encontram-se, na maioria dos casos, com a doença em seu interior. Perdas de frutos entre 40 e 90% são comuns em pomares altamente infestados (Alves et al., 1998a).

Além desse efeito, a doença promove uma gradual debilidade da planta, que poderá conduzi-la à morte, seja de forma direta, pela redução completa da área foliar, como também por facilitar a entrada de fitopatógenos oportunistas (Souza et al., 2009).

Nesse estágio, produtores que queiram continuar com a cultura só terão duas alternativas: substituir as copas das plantas por clones resistentes, ou

replantar o pomar com materiais resistentes à doença, utilizando mudas seminais ou clonais, indicadas pela pesquisa.

A idade das plantas que serão trabalhadas, a taxa de infestação da doença, e os tratos culturais que estão sendo ministrados, especialmente os que interferem no estado nutricional das plantas, terão importância na velocidade de recomposição do pomar. Plantas novas e bem nutridas terão mais facilidade e agilidade de recuperação que árvores antigas e totalmente abandonadas (Alves, 2012b).

A vantagem da substituição de copa em relação à renovação do pomar com mudas seminais ou clonais está relacionada à rapidez com que o pomar volta a ser economicamente viável. Quando a opção é por mudas, essa viabilidade somente é conseguida após o oitavo ano de plantio. Ao passo que, na substituição de copas, essa etapa acontece já no segundo/terceiro ano após a planta ter a sua copa restabelecida.

A desvantagem decorre da falta de tradição dos produtores de cupuaçuzeiro no emprego da técnica, associada à carência de pessoal habilitado nas diferentes etapas necessárias para completar todo o processo de substituição da copa. Com isso, a taxa de plantas recuperadas poderá ser baixa nessa fase inicial de utilização da tecnologia. No entanto, deverá ser normalizada à medida que for sendo praticada e massificada.

Acredita-se que os custos das duas tecnologias (muda tradicional e enxertia de copa) se equivalham, assim como os riscos com perdas de mudas. Isto porque, a implantação de um novo pomar poderá acarretar perdas nos primeiros anos, especialmente se a área não for irrigada. Na recuperação de copas também poderá haver perda de plantas decorrente da não emissão de chupões ou não pegamento dos enxertos.

Fernandes et al. (2011), estudando o comportamento de quatro cultivares após a substituição de copas das plantas de um pomar em Tomé-Açu, verificaram que a produção evoluiu de 6 frutos por planta na primeira safra, para 21 frutos por planta na quarta avaliação realizada em 2010/2011. Nessa safra, a produção média foi de 31 kg de frutos por planta, que seriam equivalentes a uma produtividade de 12 t de frutos por hectare. As quatro cultivares testadas ficaram livres da vassoura de bruxa. Concluíram que a substituição de copas por clones resistentes era uma alternativa promissora para a retomada da capacidade de produção de frutos, nos pomares improdutivos do estado do Pará. Os detalhes da técnica de renovação de copa do cupuaçuzeiro são reportados por Alves (2012b).

## Desafios e perspectivas futuras

Para que a cultura do cupuaçuzeiro seja considerada uma atividade confiável e com riscos mais controláveis, avanços tecnológicos em toda a cadeia produtiva precisam ser alcançados. O desenvolvimento de cultivares mais produtivas e adaptadas aos diferentes ambientes é fundamental, mas não suficiente para a mudança dessa realidade.

O melhoramento genético do cupuaçuzeiro, apesar dos incrementos obtidos na última década, necessita evoluir para responder às demandas do setor produtivo. Alguns desafios já se encontram estabelecidos, enquanto outros deverão ser induzidos na direção de nichos de mercados potenciais (Figueira; Alves, 2008).

Dentre o primeiro grupo, perdura a necessidade de aumento de produtividade. Isto diz respeito à capacidade *per se* de os genótipos produzirem mais frutos, como também a mitigação dos efeitos danosos do ataque de pragas e das mudanças climáticas, especialmente o estresse hídrico.

Selecionar genótipos com boa capacidade de produção de frutos não é a tarefa mais difícil. Nas coleções existentes em toda Amazônia, é possível identificar e selecionar materiais com capacidade de produção superior a 20 t por hectare. O mais difícil é transformar esse material numa cultivar, frente aos desafios que a cultura enfrenta.

Destes, o desafio mais abrangente continua a ser a vassoura-de-bruxa. A capacidade desse fungo de formar novos isolados implica na necessidade contínua de buscar materiais com fontes de resistência diversas. O conhecimento da interação cupuaçu x *M. pernicioso*, com a identificação e isolamento dos genes de resistência, em fase final de pesquisa, assim como a propagação do cupuaçuzeiro *in vitro*, possibilitando o desenvolvimento da transgenia, serão as ferramentas que auxiliarão no desenvolvimento dos novos materiais.

Outra grande ameaça para a cultura do cupuaçuzeiro é a broca-dos-frutos, *Conotrachelus humeropicus* (Coleoptera: Curculionidae), que afeta seriamente a produção. Antes restrita à Amazônia Ocidental, já foi identificado um foco da praga no estado do Pará. Nenhuma ação para a obtenção de materiais com resistência a esse inseto foi iniciada até o momento. A seleção deverá começar dentro das cultivares já disponíveis, pois já apresentam satisfatoriamente as demais características de produção. Caso não seja obtido sucesso, haverá

necessidade de ampliar a margem de busca, para os acessos dos bancos ativos de germoplasma. Após identificar os genótipos menos preferidos pela praga, haverá necessidade de incorporar genes de produção.

Outra linha de pesquisa que necessita ser iniciada imediatamente é a busca por materiais tolerantes à seca. Com as mudanças climáticas observadas na Amazônia, nos últimos 10 anos, e o deslocamento das áreas de plantio para zonas marginais, há necessidade de desenvolver materiais com produção estável, mesmo submetidos a eventuais regimes de estresse hídrico. A BRS Carimbó, por sua capacidade produtiva e por ter estrutura genética de população melhorada de primeiro ciclo, com variabilidade ampla, poderá ser o material básico para iniciar essa linha de pesquisa. Populações estabelecidas em áreas com as características supracitadas seriam avaliadas quanto ao desenvolvimento vegetativo, capacidade de produção e resistência às pragas. As matrizes mais bem adaptadas seriam clonadas e colocadas em um pomar isolado de sementes clonais. Paralelamente seriam realizados cruzamentos dialélicos entre as matrizes, ainda no local original. As sementes obtidas constituiriam progênies de irmãos completos, que seriam avaliadas nas mesmas condições. Os resultados das avaliações dessas progênies definiriam as matrizes que deveriam ser utilizadas como parentais da nova população. No pomar de sementes clonais, os clones das matrizes que foram descartadas seriam eliminados. Para não perder essas plantas, elas teriam as copas substituídas pelos clones das matrizes selecionadas. Assim, já na próxima safra, seria produzida semente da nova população com boa tolerância à seca, mantendo a boa produtividade de frutos da BRS Carimbó.

Outro nicho de mercado que deverá ser atendido é o de genótipos com polpa de baixa acidez e elevado teor de sólidos solúveis. A característica média da polpa dos genótipos que produzem sementes reflete um paladar pouco atraente para consumidores fora da região amazônica. Para atingir esse público, há necessidade de dirigir o foco do melhoramento para esse padrão de polpa. No germoplasma da espécie, existe variabilidade para atender essa demanda.

Além da polpa, as amêndoas do cupuaçuzeiro oferecem oportunidade ainda pouco explorada. Por ter na sua constituição cerca de 60% de lipídios, vem sendo aproveitada na indústria cosmética. Porém, sua verdadeira vocação é para a produção de um chocolate semelhante ao cacau, que foi denominado cupulate. Todo o processamento do cupulate encontra-se dominado, faltando apenas uma metodologia eficiente e higiênica para a retirada do envoltório da semente. Essa carência dificulta a industrialização do produto.

Caso esse gargalo seja resolvido, o produtor de cupuaçu teria dois componentes para disponibilizar ao mercado, polpa e semente, o que certamente geraria uma melhor remuneração.

Além desses aspectos relacionados ao melhoramento genético e sistema de produção, os produtos do cupuaçuzeiro carecem de uma estratégia de marketing. Como a maioria dos frutos nativos da Amazônia, exceto o açaí, o cupuaçu ainda é praticamente desconhecido nos grandes centros consumidores do País e do mundo. Um danoso ciclo vicioso de desconfiança se estabelece com as fruteiras nativas potenciais. Os empresários não investem no setor porque não têm garantia de oferta da matéria-prima. E os produtores não ampliam as áreas de cultivo porque a demanda, sem a presença de agroindústrias, fica extremamente fraca. Com o advento das últimas cultivares geradas pela Embrapa e a consequente retomada do cultivo do cupuaçuzeiro, haverá possibilidade de se disponibilizar matéria-prima em quantidade e regularidade.

## Conclusões

O melhoramento genético do cupuaçuzeiro no estado do Pará foi o segmento de pesquisa que mais avançou nos últimos anos. Isso graças aos trabalhos precursores de formação de coleções com ampla variabilidade e estudos de biologia da espécie.

Em 2002, foram lançadas as primeiras cultivares de cupuaçuzeiro (BRS Coari, BRS Codajás, BRS Manacapuru e BRS Belém) que se encontram integradas aos sistemas produtivos dos municípios paraenses.

Dez anos depois foi lançada uma nova cultivar, a BRS Carimbó, com potencial de produção bem superior às cultivares anteriores.

Atualmente, centenas de genótipos encontram-se em teste em diferentes regiões produtoras e deverão proporcionar, no futuro, ganhos genéticos ainda mais expressivos. Porém, disponibilizar materiais mais produtivos é necessário, mas não suficiente para o sucesso da cadeia.

Outros segmentos de pesquisa, como nutrição e adubação, irrigação e controle fitossanitário, não acompanharam o mesmo desempenho, influenciando negativamente a expressão do potencial produtivo e econômico das cultivares lançadas.

Além do mais, pouco foi feito para dar visibilidade externa aos produtos do cupuaçu, que permanecem confinados ao mercado local. Esse mercado não

absorverá um aumento significativo da produção que certamente virá com o manejo correto dos pomares antigos e renovação com os materiais mais produtivos lançados. Isso poderá acarretar queda de preço e desestímulo ao produtor.

Por sua vez, com a oferta de matéria-prima abundante e estabilizada, será possível atrair empresários da agroindústria, trazendo uma nova dinâmica à atividade.

Assim, somente com ações estratégicas integradas firmes e persistentes em toda a cadeia da cultura, envolvendo produção, industrialização e mercado, será possível tornar a atividade uma opção economicamente viável para todos os atores envolvidos.

## Referências

ADDISON, G. O.; TAVARES, R. M. Observações sobre as espécies do gênero *Theobroma* que ocorrem na Amazônia. **Boletim Técnico IAN**, n. 25, p. 1-20, out. 1951.

ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético de plantas**. Rio de Janeiro: Usaid, 1971. 331 p.

ALVES, R. M. **BRS Carimbó**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2012a. 6 p. 1 folder.

ALVES, R. M. **Caracterização genética de populações de cupuaçuzeiro *Theobroma grandiflorum* (Willd.ex.Spreng.) Schum., por marcadores microssatélites e descritores botânico-agronômicos**. 2002. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ALVES, R. M. **Compatibilidade entre genótipos de cupuaçuzeiro *Theobroma grandiflorum* (Willd.ex.Spreng.) Schum.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005a. 23 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 53).



ALVES, R. M. Cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Willd. ex. Spreng) Schum). In: EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Programa de melhoramento genético e de adaptação de espécies vegetais para a Amazônia Oriental**. Belém, PA, 1999. cap.1, p. 37-48. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 16).

ALVES, R. M. **Recomendações técnicas para plantio de clones de cupuaçuzeiro**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005b. 4 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 151).



ALVES, R. M. **Substituição de copa do cupuaçuzeiro**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 28 p.

ALVES, R. M. **Substituição de copa do cupuaçuzeiro: método alternativo para controle da vassoura-de-bruxa**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2012b. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico 236).



ALVES, R. M.; ARAUJO, D. G.; LOUREIRO, M. E. S. T.; FERNANDES, G. L. da C. Caracterização foliar do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*): definição de descritores e caracterização de acessos. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS, 1., 1997, Campinas. **Resumos**. Campinas: IAC; Brasília, DF: Embrapa-Cenargen, 1997a. p. 66-67.

ALVES, R. M.; SEBBENN, A. M.; ARTERO, A. S.; CLEMENT, C.; FIGUEIRA, A. High levels of genetic divergence and inbreeding in populations of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*). **Tree Genetics & Genomes**, v. 3, n. 4, p. 289-298, 2007.

ALVES, R. M.; ARTERO, A. S.; SEBBENN, A. M.; FIGUEIRA, A. Mating system in a natural population of *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum., by microsatellite markers. **Genetics and Molecular Biology**, v. 26, n. 3, p. 373-379, 2003a.

ALVES, R. M.; CORRÊA, J. R. V.; GOMES, M. R. O. Avaliação preliminar de matrizes de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) em áreas de produtores de Tomé-Açu, Pará. In: ENCONTRO DE GENÉTICA DO NORDESTE, 13., 1998, Feira de Santana. **Resumos...** Feira de Santana: Sociedade Brasileira de Genética, Seção Nordeste, 1998b. p. 359.

ALVES, R. M.; CORRÊA, J. R. V.; RODRIGO, M. Melhoramento genético do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) no Estado do Pará. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PIMENTA-DO-REINO E CUPUAÇU, 1996, Belém, PA. **Anais [...]**. Belém, PA: Embrapa-CPATU: Jica, 1997b. p. 127-146. (Embrapa-CPATU. Documentos, 89).

ALVES, R. M.; CHAVES, S. F. S. BRS Careca, BRS Fartura, BRS Duquesa, BRS Curinga, and BRS Golias: new cupuassu tree cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 4, e342920413, 2020.

ALVES, R. M.; CHAVES, S. F. S.; OLIVEIRA, R. P.; PEDROZA NETO, J. L.; SEBBENN, A. M. Canopy replacement used in the evaluation of cupuassu tree genotypes in state of Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, n. 4, E-597, 2020.



Acesse

ALVES, R. M.; CRUZ, E. D. **Cultivares de cupuaçuzeiro tolerantes à vassoura-de-bruxa**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 4 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Recomendações técnicas).

ALVES, R. M.; FARIAS NETO, J. T.; CRUZ, E. D.; OLIVEIRA, M. S. P. Estratégias do melhoramento genético desenvolvido pela Embrapa Amazônia Oriental, para obtenção das primeiras cultivares de cupuaçuzeiro e açaizeiro. In: SEMINÁRIO TÉCNICO BRASIL-JAPÃO PROJETO "DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO PARA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA ORIENTAL", 2003, Belém, PA. **Anais [...]**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2003b. p. 51-53. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 180).



Acesse

ALVES, R. M.; FERREIRA, F. N. **BRS Carimbó**: a nova cultivar de cupuaçuzeiro da Embrapa Amazônia Oriental. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2012. 8 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 232).

ALVES, R. M.; FIGUEIRA, A. Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) genetic resources and breeding in the Brazilian Amazon. **Ingenic Newsletter**, v. 7, p. 25-32, 2002.

ALVES, R. M.; RESENDE, M. D. V. de. Avaliação genética de indivíduos e progênies de cupuaçuzeiro no Estado do Pará e estimativas de parâmetros genéticos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 3, p. 577-586, 2008.

- ALVES, R. M.; RESENDE, M. D. V. de; BANDEIRA, B. dos S.; PINHEIRO, T. M.; FARIAS, D. C. R. Avaliação e seleção de progênies de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*), em Belém, Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 1, p. 204-212, 2010.
- ALVES, R. M.; RESENDE, M. D. V. de; BANDEIRA, B. dos S.; PINHEIRO, T. M.; FARIAS, D. C. R. Evolução da vassoura-de-bruxa e avaliação da resistência em progênies de cupuaçuzeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 4, p. 1022-1032, 2009.
- ALVES, R. M.; STEIN, R. L. B.; ARAÚJO, D. G. de; PIMENTEL, L. Avaliação de clones de cupuaçuzeiro quanto à resistência a vassoura-de-bruxa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 20, n. 3, p. 297-306, 1998a.
- ANEJA, M.; GIANFAGNA, T. N. G. E.; BADILLA, I. Carbon-dioxide treatment partially overcomes self-incompatibility in a cacao genotype. **HortScience**, v. 29, n. 1, p. 15-17, 1994.
- BRASIL. Instrução Normativa nº. 1, de 7 de janeiro de 2000. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**: seção 1, n. 6, p. 54-58, 10 jan. 2000.
- BULLOCK, S. H. Breeding systems in the flora of tropical deciduous forest in Mexico. **Biotropica**, v. 17, n. 4, p. 287-301, 1985.
- CALZAVARA, B. B. G.; MULLER, C. H.; KAHWAGE, O. N. C. **Fruticultura tropical**: o cupuaçuzeiro: cultivo, beneficiamento e utilização do fruto. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1984. 101 p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 32).
- CARVALHO, J. E. U.; MÜLLER, C. H.; BENCHIMOL, R. L.; KATO, A. K.; ALVES, R. M. **COPOASU [Theobroma grandiflorum (Willd. ex Spreng.) Schum.]**: cultivo y utilización: manual tecnico. Caracas: FAO, Tratado de Cooperacion Amazonica, 1999. 152 p.
- CHAVES, S. F. S.; ALVES, R. M.; DIAS, L. A. S. Contribution of breeding to agriculture in the Brazilian Amazon. I. Açai palm and oil palm. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 21, e38622158, 2021. Special.
- CHAVES, S. F. S.; DIAS, L. A. S.; ALVES, R. S.; ALVES, R. M.; EVANGELISTA, J. S. P. C.; DIAS, K. O. G. Leveraging multi-harvest data for increasing genetic gains per unit of time for fruit yield and resistance to witches' broom in *Theobroma grandiflorum*. **Euphytica**, v. 218, n. 12, Article number 171, 2022.
- CLEMENT, C. R. 1942 and the loss of Amazonian crop genetic resources. I. The relation between domestication and human population decline. **Economic Botany**, v. 53, n. 2, p. 188-202, 1999.
- COPE, F. W. The mechanism of pollen incompatibility in *Theobroma cacao* L. **Heredity**, v. 17, p. 157-182, 1962.
- CRUZ, E. D.; ALVES, R. M.; BENCHIMOL, R. L. **Avaliação de clones de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* (Willd ex Spreng) Schum) quanto a tolerância à vassoura-de-bruxa (*Crinipellis pernicioso* (Stahel) Singer)**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 4 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 28).
- CUATRECASAS, J. A. Cocoa and its allies: a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. **Contributions from the United States National Herbarium**, v. 35, n. 6, p. 32-46, 1964.





Acesse

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Programa de melhoramento genético e de adaptação de espécies vegetais para a Amazônia Oriental**. Belém, 1999. 137 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 16).

FERNANDES, J. R. Q.; ALVES, R. M.; OLIVEIRA, C. C. Recuperação de pomares de cupuaçuzeiro com clones resistentes à vassoura-de-bruxa. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 15., 2011, Belém, PA. **A ciência de fazer ciência**: anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 1 CD-ROM.

FIGUEIRA, A.; ALVES, R. M. "*Theobroma grandiflorum* - cupuassu". In: JANICK, J.; PAULL, R. E. (ed.). **The encyclopedia of fruit and nuts**. Oxfordshire: Cabi, [2008]. p. 892-897.

KNIGHT, R.; ROGERS, H. H. Incompatibility in *Theobroma cacao*. **Heredity**, v. 9, p. 69-77, 1955.

LIMA, R. R.; ALENCAR, S. A.; FRADE JÚNIOR, J. M.; BRANDÃO, G. R. Coleta e avaliação de plantas amazônicas de cultura ou de exploração pré-colombiana: recursos genéticos da região do Solimões. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1., 1984, Belém, PA. **Anais** [...]. Brasília, DF: EMBRAPA-Departamento de Difusão de Tecnologia; Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1986. v. 4, p. 39-49. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 36).



Acesse

LIMA, R. R.; COSTA, J. P. C. da. **Coleta de plantas de cultura pré-colombiana na Amazônia brasileira**: I. Metodologia e expedições realizadas para coleta de germoplasma. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1997. 148 p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 99).



Acesse

LIMA, R. R.; COSTA, J. P. C. da. **Registro de introduções de plantas de cultura pré-colombiana coletadas na Amazônia Brasileira**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1991. 191 p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 58).

MASCARENHAS, G. C. C.; MIDDLEJ, R. R.; TREVISAN, S. D. P. O cluster do cacau no sul da Bahia, Brasil. In: THEORETICAL AND APPLIED GENETICS RESEARCH CONFERENCE, 13., 2000, Kuala Lumpur. **Proceedings**... Kuala Lumpur, 2000. (Paper, 72).

MULLER, C. H.; CARVALHO, J. E. U. Sistemas de propagação e técnicas de cultivo do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*). In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PIMENTA DO REINO E CUPUAÇU, 1., 1996, Belém, PA. **Resumos** [...]. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental: JICA, 1997. p. 57-75. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 88).

PARÁ. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agropecuária e da Pesca. **Agricultura**. Disponível em: <https://www.sedap.pa.gov.br/boletim-cvis>. Acesso em: 15 jan. 2025.

PIMENTEL, L. P.; ALVES, R. M. Avaliação de progênies de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) nas condições de Tomé-açu. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 5., 1995, Belém, PA. **Resumos** [...]. Belém, PA: Fcap, 1995. p. 153.

PRANCE, G. T.; SILVA, M. F. **Árvores de Manaus**. Manaus: Inpa, 1975. 312 p.

SANTOS, I. M. dos; CONDURÚ, J. M. P. **Comparação do rendimento entre frutos de duas variedades de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum)**. Belém, PA: Ipean, 1972. 8 p. (IPEAN. Comunicado, 31).

- SILVA, R. M. **Estudo do sistema reprodutivo e divergência genética em cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Willd. ex Spreng.) Schum.** 1996. 151 f. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SOUZA, A. das G. C.; SILVA, S. E. L.; SOUZA, N. R. Avaliação de progênies de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng, Schum) em Manaus. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 20, n. 3, p. 307-312, 1998.
- SOUZA, A. G. C.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, S. E. L.; SOUZA, N. R. The cupuaçuzeiro genetic improvement program at Embrapa Amazônia Ocidental. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 2, n. 3, p. 471-478, 2002.
- SOUZA, A. G. C. de; ALVES, R. M.; SOUSA, N. R.; SOUZA, M. G. Domesticação e melhoramento de cupuaçuzeiro. In: BORÉM, A.; LOPES, M. T. G.; CLEMENT, C. R. (ed.). **Domesticação e melhoramento: espécies amazônicas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 319-331.
- SOUZA, C. A. S.; DIAS, L. A. S. Melhoramento ambiental e sócio-economia. In: DIAS, L. A. S. (ed.). **Melhoramento genético do cacauzeiro**. Viçosa: Funape: UFG, 2001. p. 48.
- VENTURIERI, G. A. **Cupuaçu**: a espécie, sua cultura, usos e processamento. Belém, PA: Clube do Cupu, 1993. 108 p.
- VENTURIERI, G. A. **Floral biology of cupuassu (*Theobroma grandiflorum* (Willdenow ex Sprengel) Schumann)**. 1994. 206 p. Thesis (PhD) – University of Reading, Reading.
- VENTURIERI, G. A.; RIBEIRO FILHO, A. A. Polinização manual do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*). **Acta Amazonica**, v. 25, n. 3/4, p. 181-191, 1995.
- WRIGHT, S. Systems of mating. **Genetics**, v. 6, n. 2, p. 111-178, 1921.