

# Domesticação e Melhoramento Genético do Guaranazeiro

*André Luiz Atroch<sup>1</sup>*  
*Firmino José do Nascimento Filho<sup>2</sup>*  
*Paula Cristina da Silva Ângelo<sup>3</sup>*  
*Danival Vieira de Freitas<sup>4</sup>*  
Nelcimar Reis de Sousa<sup>5</sup>  
*Charles R. Clement<sup>6</sup>*

## Introdução

O guaranazeiro é uma espécie nativa de importância econômica e social na Amazônia. O nome guaraná é de origem tupi e significa “bebida dos senhores” (Monteiro, 1965). O Brasil é o único produtor mundial de guaraná e atende ao mercado nacional e internacional. Ao longo das últimas décadas, a área de cultivo do guaranazeiro expandiu-se além da fronteira da Amazônia. É plantado comercialmente no Amazonas, Acre, Pará, Rondônia, Roraima, Bahia e Mato Grosso, e experimentalmente no Amapá (Nascimento Filho et al., 2001a).

O programa de melhoramento genético do guaranazeiro conduzido pela Embrapa Amazônia Ocidental iniciou-se em 1976 e, após 30 anos de pesquisas,

---

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutorando e Pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental. E-mail: andre.atroch@cpaa.embrapa.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, D.S. e Pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental. E-mail: firmino.filho@cpaa.embrapa.br

<sup>3</sup> Bióloga, D.S. e Pesquisadora da Embrapa Amazônia Ocidental. E-mail: paula.angelo@cpaa.embrapa.br

<sup>4</sup> Engenheiro Florestal, Doutorando e Pesquisador do Centro Universitário Nilton Lins. E-mail: danivalfreitas@hotmail.com

<sup>5</sup> Engenheira Agrônoma, D.S. e Pesquisadora da Embrapa Amazônia Ocidental. E-mail: nelcimar.reis@cpaa.embrapa.br

<sup>6</sup> Biólogo, D.S. e Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. E-mail: cclement@inpa.gov.br

avançou sobremaneira, com o lançamento de 12 cultivares clonais em 1999 e 2000. Atualmente, existem quatro variedades clonais a serem lançadas para plantio que possuem potencial produtivo até 10 vezes superior à média no Estado do Amazonas.

Este capítulo tem o objetivo de resumir o conhecimento atual sobre a biologia, a domesticação e o melhoramento genético do guaranazeiro, pois novidades biológicas – a descoberta de poliploidia – exigem integração para acelerar os avanços do programa.

## Importância Social

O guaranazeiro é uma cultura genuinamente amazônica, pois é nativa da Amazônia e tem sido utilizada por algumas sociedades indígenas há séculos, se não milênios, devido às suas propriedades estimulantes e medicinais. Esses fatores despertaram nos colonizadores da região o interesse por sua exploração racional, em forma de plantios comerciais (Monteiro, 1965).

No Amazonas, o guaranazeiro é plantado tanto por pequenos como por grandes produtores. Grandes grupos empresariais possuem áreas de plantio variando de 80 a 500 ha (Atroch, 2001, 2002). Por outro lado, em Maués (AM), existem aproximadamente 1.600 produtores familiares de guaraná, com área média de plantio de 3 ha, que são responsáveis por 35% da área plantada e 35% da produção estadual. Os Sateré Maué, responsáveis pela domesticação de guaraná na região de Maués, estão expandindo sua produção orgânica em busca de certificação para o mercado europeu. O produtor de guaraná no Amazonas, de um modo geral, é proprietário da terra, possuindo relativa facilidade de acesso ao crédito rural, o que proporciona o melhor planejamento da produção e a garantia de preços mínimos.

## Importância Econômica

O Brasil possui 15.356 ha de área plantada com guaraná e área colhida de 13.039 ha, com uma produção de 2.989 t de semente seca e uma produtividade de 229 kg/ha em 2006. A Bahia é o maior produtor de guaraná no Brasil (46,9% da produção nacional), seguido por: Amazonas (38,6%), Mato Grosso (9,7%), Acre (2%), Rondônia (1,6%) e Pará (1,2%). O valor da produção nacional foi de R\$13,6 milhões em 2006 (IBGE, 2008).

Atualmente, a maior parte da produção de guaraná do país é consumida no mercado interno, porém a quantidade exportada, principalmente em forma de

extrato concentrado seco e em forma de pó, está aumentando anualmente. Estima-se que, da oferta nacional de sementes de guaraná, cerca de 70% seja absorvida pelos fabricantes de refrigerantes, enquanto os 30% restantes são comercializados em forma de xarope, bastão, pó e extrato para o consumo interno e para exportação (Atroch, 2001, 2002).

As oscilações dos preços pagos ao produtor, aliadas às dificuldades na colheita e no armazenamento do produto, são os principais entraves ao processo de comercialização do guaraná (Atroch, 2001, 2002). Porém, de um modo geral, não existem problemas na comercialização dos produtos do guaraná, especialmente os refrigerantes.

A produção de guaraná no Amazonas é de 1.156 toneladas, com um valor de R\$7,6 milhões. Maués é o principal município produtor, com uma produção de 625 toneladas de sementes de guaraná e renda de R\$4,7 milhões anuais (IBGE, 2008), devido ao maior preço pago pelo produto nesse município. O guaraná de Maués é muito valorizado no mercado nacional e principalmente no mercado europeu, pois é considerado mais “forte” do que o guaraná produzido em outras regiões, mesmo dentro do Amazonas. Em parte esse diferencial é devido à atuação dos Sateré Maués, que, além de poder usar a marca Amazônia, podem beneficiar-se dos mercados de produtos indígenas e socialmente justos. Além disso, eles estão buscando certificação orgânica.

O município de Maués foi o maior produtor de guaraná do Brasil ao longo da maior parte do século XX. Entretanto, problemas fitossanitários e o envelhecimento dos guaranazais fizeram com que a produção diminuísse, ano após ano, até perder o posto para a Bahia, no final da década de 80. Hoje, a produção de guaraná no Amazonas mostra sinais de recuperação como resultado da disponibilidade de materiais genéticos melhorados pela Embrapa, que estão sendo distribuídos aos produtores de guaraná das principais regiões produtoras do Amazonas, principalmente Maués. A procura de outros diferenciais também está estimulando o mercado, e uma grande empresa nacional pretende lançar novo refrigerante de guaraná no mercado mundial.

## Classificação Botânica

O guaranazeiro (*Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) é uma dicotiledônea, pertencente à família Sapindaceae, que possui cerca de 130 gêneros reconhecidos (Trópicos, 2008), número que tem sofrido revisões recentes. Embora exista divergência quanto à circunscrição desta família botânica, são reconhecidas pelo menos três subfamílias, ficando o guaranazeiro incluído na subfamília Sapindoideae (Trópicos, 2008). Dentro dessa subfamília, Harrington

et al. (2005) recomendam a manutenção do gênero *Paullinia* na tribo Paullinieae, originalmente definida por Radlkofer, em 1933. A tribo inclui também os gêneros *Serjania* e *Cardiospermum*, que compõem um clado monofilético definido por análise de duas sequências de DNA (Figura 17.1). Esses três gêneros são compostos de plantas escandentes que apresentam gavinhas e estípulas. No entanto, os autores também sugerem que a tribo Paullinieae poderia ser absorvida pela tribo Thouinieae.

O gênero *Paullinia* está distribuído pela América tropical e subtropical, com uma única espécie, *P. pinnata*, na África tropical. Radlkofer (1931) reconheceu 147 espécies no gênero *Paullinia*, distribuídas em 13 seções. A espécie *Paullinia cupana* foi classificada na seção *Pleurotoechus*, que possuía 28 espécies, com distribuição desde o México até o Estado do Rio de Janeiro, no Brasil, ocorrendo na Amazônia brasileira nove espécies. Atualmente, são aceitas 195 espécies no gênero *Paullinia* (Tropicos, 2008) e pelo menos quatro das divisões de Radlkofer, incluindo *Pleurotoechus*, ainda constam no material disponível no *site* do International Plant Names Index (IPNI, 2008).

Em 1810, Humboldt e Bonpland foram os primeiros naturalistas europeus a observar o guaraná, quando viajavam pelo sul da Venezuela. Este material foi descrito e classificado por Kunth como *Paullinia cupana* e tem procedência conhecida apenas da área ao sul das cachoeiras Atures e Maipures, no rio Orenoco, e na região do alto rio Negro e seus afluentes, região das fronteiras entre Brasil, Venezuela e Colômbia (Figura 17.2). Vinte anos mais tarde, Martius, viajando pelo rio Amazonas, coletou um material botânico que classificou como *Paullinia sorbilis*. Esse guaranazeiro já era cultivado e subespontâneo na região de Maués e raramente em Parintins, além de ser cultivado nas proximidades da cidade de Manaus (Ducke, 1938) (Figura 17.2). Face à semelhança entre as duas plantas, *sorbilis* e *cupana* foram consideradas sinônimas, em 1897, época da publicação da “Flora Brasiliensis de Martius”, e *cupana* foi mantida por anterioridade (Ducke, 1937; Florabrasiliensis, 2008).

Ducke (1938) percebeu que existiam diferenças morfológicas suficientes para distinguir as plantas das populações encontradas por Humboldt e Bonpland e por Martius e complementou a descrição feita por Martius do guaranazeiro de Maués, tratando-o como uma variedade, denominada *Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke (IPNI, 2008). Para distinguir o guaraná observado por Humboldt e Bonpland e descrito por Kunth, Ducke criou a forma *typica* (o tipo da espécie). Pelas regras atuais da nomenclatura taxonômica, esse tipo de distinção é desnecessário, sendo a denominação *Paullinia cupana* a mais apropriada. A denominação *P. cupana* var. *cupana* ainda é encontrada na literatura em substituição de *P. cupana* forma *typica*, mas deveria ser desconsiderada.

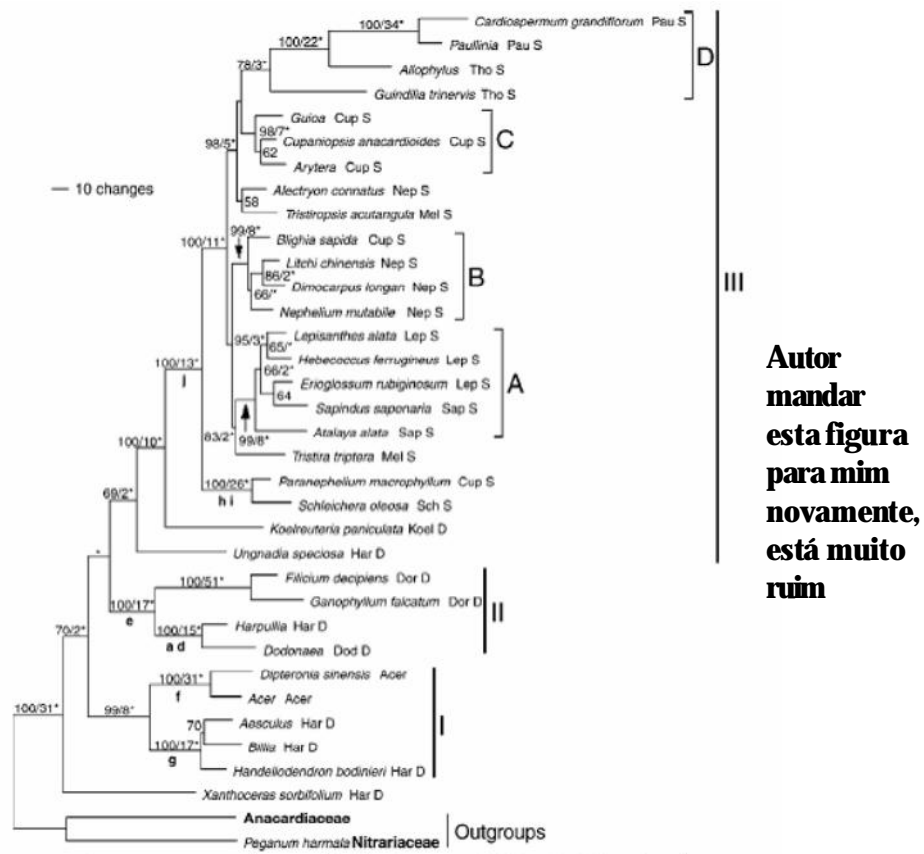


Figura 17.1. Agrupamento de máxima parcimônia, alcançado após 1.580 rearranjos, utilizando-se dados das sequências da subunidade maior da RUBISCO (codificada no núcleo) e da maturase K (citoplasmática) combinados. A organização dos clados foi testada por processos de *bootstrap* e substituição aleatória de clados; os resultados foram comparados utilizando-se análise de probabilidade. Os valores sobre os ramos representam resultados percentuais do *bootstrap*/valores de alteração do clado em 30 possibilidades e os asteriscos indicam probabilidades maiores que 95% de que os arranjos comparados não tenham ocorrido ao acaso. Clado D: Tribo Paullinieae (Pau)-Thouinieae(Tho). S: subfamília Sapindoideae.

Fonte: Harrington et al. (2005). Usada com permissão do autor e da revista Systematic Botany.

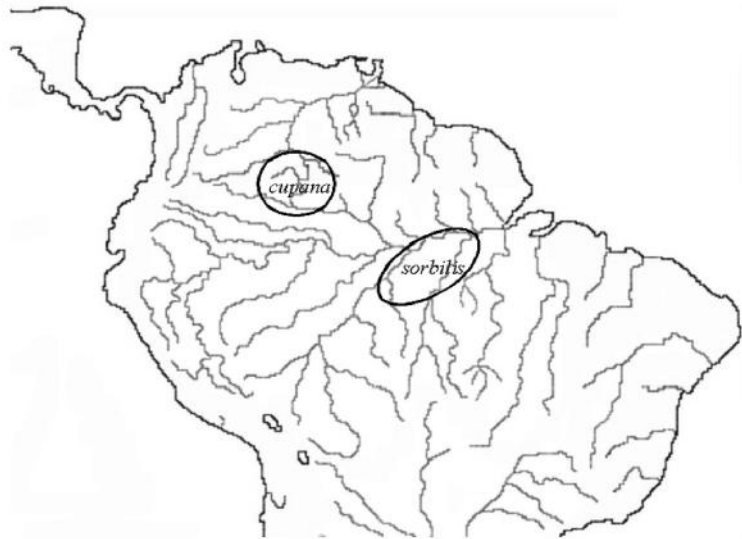


Figura 17.2. Distribuição aproximada de *Paullinia cupana* Kunth na época da conquista europeia. A variedade *sorbilis* é o guaraná de comércio atual, enquanto a *P. cupana* é uma relíquia etnobotânica nunca mais encontrada no Brasil.

## Descrição Botânica

Segundo Ducke (1938), a *P. cupana* observada por Humboldt e Bonpland apresenta folíolos fortemente serrado-lobados nas plantas jovens e é desprovida de gavinhas em qualquer idade. As flores e os frutos são maiores que os da variedade *sorbilis*, e os frutos são acentuadamente obovado-piriformes, de cor vermelha bastante escura e com pouco brilho. As plantas da var. *sorbilis* possuem folíolos menos profundamente lobados quando jovens e são providas de gavinhas quando adultas. As flores da var. *sorbilis* são ligeiramente menores, os frutos também têm metade ou um terço do volume e cor vermelho-vivo e bastante brilhantes.

A inflorescência é um cacho, com tamanho variável, chegando a ultrapassar 25 cm, e ocorre, geralmente, na axila das folhas ou na base de uma gavinha. As flores são dispostas no eixo principal da inflorescência, organizadas em fascículos de três a sete, e são funcionalmente unissexuais. As femininas apresentam estames rudimentares, com anteras indeiscentes e são tricarpelares, com estigmas trífidios. As flores masculinas possuem ovários atrofiados, com

óvulos, estilete e estigmas pouco desenvolvidos. Há oito estames, com filetes de três tamanhos distintos e dotados de pêlos longos, sendo as anteras glabras. Os grãos de pólen têm formato triangular. O cálice é composto de cinco sépalas, das quais duas são menores e externas, enquanto as outras três são mais estreitas e semelhantes às pétalas (Souza et al., 1996).

O fruto é uma cápsula deiscente e, quando maduro, tem coloração que vai desde amarelo-alaranjada, passando por vermelho-amarelada até vermelho-vivo e brilhante (Figura 17.3). Quando abre, deixa aparecer a semente castanho-escura envolta parcialmente por um arilo branco (Souza et al., 1996). A maioria das sementes tem forma arredondada, mas essa característica pode variar conforme sejam oriundas de cápsulas obovadas ou oblatas, com uma, duas, três ou mais sementes (Corrêa, 1989). Frutos com um, dois ou três óvulos fecundados são comuns.

Na Bahia, também foi observada proporção de flores masculinas em relação às flores femininas de 5,4:1 (Pereira e Sacramento, 1987). Por planta, podem existir 400 inflorescências e cerca de 38.000 flores (Aguilera apud Escobar, 1985).

## Floração e Polinização

Embora as flores masculinas e femininas estejam presentes na mesma inflorescência, os picos de floração masculina e feminina são dessincronizados (Gondim, 1978). Essa condição também foi observada por Pereira e Sacramento (1987), na Bahia. Aparentemente, quanto mais longo o período de atividade da inflorescência, maior a probabilidade de ocorrência de mais de um período de floração feminina. Por causa disso, são encontradas em uma mesma inflorescência flores e frutos em diferentes estádios de maturação, o que pode obrigar à realização de diversas colheitas.

Estas características, que foram bem estudadas em populações resultantes de polinização aberta, precisam ser analisadas com profundidade para os cultivares clonais, porque os resultados poderão ser utilizados para definir boas combinações de clones, a fim de gerar progênies e compor plantios comerciais multiclonais. Ângelo et al. (2005) encontraram diferenças sobre o padrão de florescimento de três clones de guaranazeiro e constataram ser rara a ocorrência de antese simultânea de flores masculinas e femininas na mesma inflorescência, corroborando os trabalhos citados.

Gondim (1978) coletou trinta e duas espécies de insetos de cinco ordens diferentes no guaranazeiro. Os Hymenopteras representaram 71% dos indivíduos,

com 27 espécies de abelha visitando as flores. O autor sugere que a síndrome geral de polinização do guaranazeiro está adaptada aos Hymenoptera e que as espécies *Melipona seminigra*, *Xylocopa muscaria* e *Apis mellifera* estão entre os mais importantes polinizadores, sendo os outros apenas ocasionais.

A polinização artificial foi desenvolvida para dar suporte aos programas de cruzamentos controlados. A técnica compreende três etapas (Carranza et al., 1981): *isolamento das inflorescências* – efetuado próximo à antese floral, com saco de papel semitransparente, com os cuidados necessários para evitar contaminação com pólen estranho e danos causados por insetos;

*polinização* – executada com o deslizamento repetido das anteras com pólen selecionado sobre os estigmas receptivos, mantendo-se o isolamento; e

*identificação* – realizada com etiquetas contendo o nome dos parentais e a data de polinização.



Figura 17.3. Frutos de guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) no “ponto de colheita”.

O conhecimento do sistema reprodutivo da espécie é fundamental para a escolha dos métodos de melhoramento mais apropriados. A espécie apresenta mecanismos morfológicos favoráveis à alogamia.



## Origem e Domesticação

O primeiro relato sobre o guaraná data de 1669 e foi feito por Betendorf, superior Jesuíta da Companhia de Jesus no Maranhão. Ele encontrou a planta sendo utilizada entre os índios Andirás (corretamente conhecidos como os Sateré Maué), quando da viagem realizada pelo rio Amazonas. Betendorf não mencionou o guaraná junto a outras etnias locais.

Quando os primeiros naturalistas europeus exploraram a Amazônia, no século 19, eles observaram que os Sateré Maué foram os cultivadores originais do guaraná e naquela época o produto estava chamando a atenção de colonos em toda a região (Monteiro, 1965). Os Sateré Maué são uma etnia do tronco linguístico Tupi, o mais importante grupo de línguas indígenas do Brasil. Na mitologia dos Sateré Maué, o guaraná é um elemento essencial, talvez primordial, de sua sociedade, porque é diretamente associado com a própria origem dos Sateré Maué.

Como recontada pelos Sateré Maué ao etnologista brasileiro Nunes Pereira em 1939 (Pereira, 1954), a gênese de guaraná envolve rivalidades entre uma índia de nome Onhiamuaçabê e seus dois irmãos. Os irmãos não quiseram que sua irmã se casasse porque ela conhecia todas as plantas e sabia quais eram boas para curar diferentes doenças. A irmã também era a dona de um lugar encantado chamado Noçoquem, onde ela tinha plantado uma castanheira. Um dia, uma cobra pequena ficou encantada com a índia e espalhou um perfume ao longo de uma trilha usada por Onhiamuaçabê, que gostou muito do cheiro. Então, a cobra seguiu a trilha, espalhando perfume e, mais adiante, tocou ligeiramente na perna da índia quando ela passou. Onhiamuaçabê ficou imobilizada e a cobra tirou vantagem dela, deixando-a grávida. Os irmãos ficaram furiosos. Onhiamuaçabê deu à luz um menino bonito, e quando ele cresceu, a índia o levou para o lugar encantado para comer castanhas. Uma cutia observou que alguém havia feito um fogo ao pé da castanheira para assar castanhas e informou aos irmãos o que havia visto. Os irmãos colocaram vigias no lugar encantado, e quando o menino veio, no próximo dia, para comer mais castanhas, eles o decapitaram. A mãe ouviu os gritos de angústia do filho, mas até que ela chegasse ao lugar encantado, ele estava morto. A índia ficou desesperada, arrancando o cabelo, chorando e gritando ao lado do cadáver do filho, mas depois disse: “Está bem, meu filho. Foram os teus tios que mandaram te matar. Eles pensavam que tu ficarias um coitadinho, mas não ficarás.” Em seguida, ela arrancou fora também o olho esquerdo do menino e o plantou. Mas a planta que nasceu não prestava; era o guaranarana ou falso-guaraná. Ela arrancou fora o olho direito e o plantou; deste olho nasceu o guaraná-sesé ou guaraná-verdadeiro. A mãe então falou em voz alta, como se a criança ainda estivesse viva: “Tu, meu filho, tu serás a maior

força de Natureza; tu farás bem a todos os homens; tu serás grande; tu livrarás os homens de umas moléstias e os curarás de outras.” Após essas palavras, a índia juntou todos os pedaços do cadáver do filho e os enterrou, depois de lavá-los com as folhas mastigadas de uma planta mágica. Ao longo dos próximos dias, Onhiamuaçabê abriu a sepultura diversas vezes para liberar no mundo diversos animais importantes na região, até que surgiu o filho querido, ressuscitado, que se tornou o primeiro Sateré Maué.

O significado desse mito tornou-se muito mais claro recentemente. A variedade *sorbilis* cultivada pelos Sateré Maué, é poliploide, com 210 cromossomos, enquanto outras espécies do mesmo gênero apresentam 24 (Freitas et al., 2007). Em essência, esse mito relata o evento de domesticação do guaraná, que aconteceu quando uma mulher Tupi primordial reconheceu que um tipo especial de guaraná havia aparecido para ela, um tipo distinto do mais comum e menos útil guaranarana, e que este tipo deveria ser plantado para o benefício de gerações futuras. Observe que os Sateré Maué também se tornaram um grupo étnico distinto naquele momento, diferente de outros grupos Tupi na Amazônia Central.

Esse mito recentemente interpretado levanta perguntas óbvias: o mito é próprio dos Sateré Maué ou outros grupos étnicos locais o compartilham? Os Sateré Maué vivem numa região antes chamada Mundurucânia, uma área geográfica do tamanho da Suíça, delimitada pelo rio Amazonas ao norte, pelo rio Tapajós ao leste, pelo rio Madeira ao oeste e pelo rio Juruena ao sul (Monteiro, 1965). Numerosos outros grupos indígenas viviam em Mundurucânia, incluindo o importante e uma vez mais numeroso Munduruku, ao sul dos Sateré Maué, mas nenhum deles tem um mito semelhante ao dos Sateré Maué, embora outros grupos usem o guaraná. Os outros grupos indígenas são pouco mencionados pelos primeiros naturalistas europeus quando o assunto é guaraná. Na época dos naturalistas, os Sateré Maué ocupavam os rios Maués e Andirá, no atual município de Maués, e ainda vivem nessa mesma região. Com base nessa resposta, pode-se afirmar que o guaraná é originário dessa região geográfica relativamente restrita (Figura 17.2).

Os Sateré Maué provavelmente chegaram à região dos rios Maués e Andirá entre 1.000 e 2.000 anos atrás, o que oferece uma idade máxima razoável para o evento de domesticação mencionado no mito. Considerando que outros grupos de língua Tupi em Mundurucânia não deem ao guaraná tanta importância quanto os Sateré Maué, parece provável que o evento de domesticação tenha acontecido depois da chegada dos Sateré Maué, talvez muito depois, porque já havia na região jardins com castanheiras. Evidência nova que poderia apoiar um evento de domesticação mais tardia é a falta de estrutura genética molecular observada com marcadores RAPD (*Random Amplified Polymorphic DNA*) na variedade *sorbilis* (Sousa, 2003).

Com base nesta análise do mito, é possível analisar também algumas ideias sobre a origem do guaraná do século passado. Lleras (1992) sugeriu que a disjunção geográfica entre *P. cupana* de Venezuela e a var. *sorbilis* poderia ser de origem antrópica, ou seja, o guaraná teria sido levado pelos índios da Amazônia Central para o alto rio Negro e alto rio Orinoco. Lleras ainda sugeriu que foram os índios Baré, do tronco linguístico Arawak, os responsáveis pela dispersão. Embora os Baré ainda estivessem presentes desde o baixo até o alto rio Negro na época da conquista, não existem relatos da presença de guaraná no baixo rio Negro até o século XX. Se os Baré tivessem levado o guaraná rio acima, deveriam existir populações de guaraná ao longo do rio em lugar da distribuição disjunta observada hoje. É possível que essas populações tenham existido, mas morreram. No entanto, é relatada a existência de *P. cupana* de forma espontânea no alto rio Negro (Nascimento Filho et al., 2001a), sugerindo sua capacidade de adaptação a ambientes não-antrópicos. Plantas poliploides possuem alta capacidade para segregar em termos morfológicos e ecológicos, o que poderia explicar sua ocorrência espontânea, mesmo que não tenha sido observada na região de Maués, nem ao longo do rio Negro. No entanto, estes argumentos carecem de evidências que apoiem a disjunção geográfica, que permanece um mistério.

Na primeira revisão sobre os guaranás, Ducke (1937) sugeriu que a cultura do guaraná originou-se no alto rio Negro e alto rio Orinoco e foi trazida para a região de Maués. É evidente que esta proposta é o contrário da de Lleras, porém ambas as propostas são relevantes.

## O Guaranazeiro É um Poliploide

O conhecimento da estrutura e organização de genomas é cada vez mais importante para a compreensão da evolução e manipulação de genes de interesse agrônomico. Os estudos citogenéticos são admitidos pela grande maioria dos autores familiarizados com a ciência, como um dos mais importantes instrumentos para a compreensão das relações de parentesco e dos mecanismos genéticos envolvidos na evolução, tanto dentro de pequenos táxons (espécies, gêneros) quanto em níveis superiores (famílias, divisões) (Guerra, 1986; Soltis e Soltis, 2004).

A variedade *sorbilis* tem  $2n = 210$  cromossomos e conteúdo médio de DNA por núcleo diploide de 22,8 pg (Freitas et al., 2007). Esses resultados confirmam contagens preliminares (Nascimento Filho et al., 2007). No gênero *Paullinia*, sete espécies tiveram seus cariótipos caracterizados e todas apresentaram  $2n = 24$  (Solís Neffa e Ferrucci, 2001). Na tribo Paullinieae, são encontrados números básicos  $x = 7, 10, 11, 12$  e  $14$  (Ferrucci e Solís Neffa, 1997). Esses dados permitiram considerar que o cariótipo do guaranazeiro, em razão do

número e do tipo de cromossomos, é de origem complexa, que incluiu eventos de poliploidização e rearranjo numérico (Freitas et al., 2007). Na família, Ferrucci e Solís Neffa (1997) citam pelo menos mais dois gêneros que ocorrem na América do Sul e apresentam poliploidia, por vezes seguida de redução aneuploide: *Allophylus* (*A. pauciflorus* tem  $2n=28$  e *A. guaraniticus* tem  $2n=56$ ) e *Urvillea* (*U. chacoënsis* tem  $2n=22$ , *U. uniloba* tem  $2n=44$  e *U. ulmacea* tem  $2n=22$  e  $2n=86$ ). *Allophylus* ocupa um clado próximo ao de *Paullinia*, *Serjania* e *Cardiospermum* na análise de Harrington et al. (2005) (Figura 17.1). Uma vez que não há outros poliploides conhecidos no gênero *Paullinia* e o evento contado no mito de origem não menciona mais do que uma guaranarana e, ainda, dada a complexidade do cariótipo, é plausível imaginar que o guaranazeiro é um autoalopoliploide, derivado da combinação de pelo menos duas espécies.

A análise do cariótipo de outras espécies de *Paullinia*, especialmente as que poderiam ter contribuído para a origem da variedade *sorbilis*, bem como da *P. cupana* observada por Humboldt e Bonpland, vai ser uma importante contribuição para a compreensão da origem evolutiva do guaranazeiro cultivado. Também vai ser importante para permitir os outros tipos de análise genético-molecular que podem apoiar o programa de melhoramento.

Essas diferenças comuns em plantas poliploides podem explicar as diferenças claras entre *P. cupana* e outras espécies, como o guaranarana ainda não identificado encontrado perto de aldeias dos Sateré Maué (Figura 17.4).



Figura 17.4. Guaranarana (não identificado) encontrado na Terra Indígena Andirá-Marau, perto de aldeias dos Sateré Maué, Maués, Amazonas, Brasil, 2008.

Crédito: Gina Frausin.

**aqui  
chama a  
figura  
17.1  
novamente**

Em relação à abordagem biométrica do guaranazeiro, é importante o conhecimento do tipo de ploidia. Se o guaranazeiro é um aloploiploide, a abordagem biométrica deve ser similar à utilizada para aos diploides. Se o guaranazeiro é um autopoliploide, os modelos genéticos empregados devem ser outros. Neste caso, não é possível estimar a variância genética aditiva e a herdabilidade individual no sentido restrito, tendo-se por base apenas a avaliação de progênies de meios-irmãos ou de genitores e filhos (Resende, 2002). Isso ocorre porque essas relações de parentesco, no caso de autotetraploides, contemplam também frações da variância de dominância e não apenas da variância aditiva.

chama a

novamente

## Recursos Genéticos

A Embrapa Amazônia Ocidental é a instituição responsável pela conservação dos recursos genéticos do guaranazeiro no Brasil e possui um banco de germoplasma clonal com 270 acessos de guaranazeiro. A coleção encontra-se no campo experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, localizado na rodovia AM-010, Manaus – Itacoatiara, no km 29, latitude 02° 52' Sul e longitude 59° 59' Oeste, no município de Manaus (Nascimento Filho et al., 2001a).

Todo germoplasma em cultivo comercial no Brasil é originário de Maués, no Amazonas, e o germoplasma que deu origem aos programas de melhoramento genético foi coletado em poucas populações de cultivo comercial, em locais próximos às cidades de Maués e de Manaus. Considerando que o guaraná de Manaus também é originário de Maués, é evidente que a base genética é muito estreita (Nascimento Filho et al., 2001a; Sousa, 2003).

O germoplasma mais antigo, coletado em 1950, no Campo Experimental de Maués, refere-se a um plantio tradicional que ficou dentro dos limites do campo experimental. As coletas mais recentes ocorreram em 1986 e 1987 (Tabela 17.1).

Vale ressaltar que *P. cupana* de Venezuela não existe na coleção de germoplasma da Embrapa. Esse material foi coletado por Ducke, em 1937, num local denominado Marabitanas, no alto rio Negro, a 18 km ao sul de Cucuí, e plantado no Instituto Agrônomo do Norte. Na década de 1950, foi coletado novamente e plantado no IAN – Instituto Agrônomo Do Norte e no INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (William Rodrigues, comunicação pessoal a Clement, 2008). Nos anos de turbulência entre o IAN, o IPEAN – Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Norte e a criação da Embrapa, em 1973, esse material desapareceu em Belém. O material plantado no INPA também desapareceu. Em 1981, pesquisadores da Embrapa Amazônia Oriental voltaram ao local e constataram que todo o material tinha sido erradicado. Sem material em mãos, também não se sabe ainda se *P. cupana* de Venezuela é poliploide, como a var. *sorbilis*.

Tabela 17.1. Número de plantas dos recursos genéticos do guaranazeiro obtidos em diferentes esforços de coleta ao longo de 50 anos, atualmente disponíveis para o programa de melhoramento da Embrapa Amazônia Ocidental

Ano de coleta	Local de coleta	Local de plantio	Número de plantas	Referência	Observações
1950	Maués	Campo Experimental da Embrapa, em Maués	6.116	Escobar, 1986	Plantas provenientes dos arredores de Maués, rio Apoquitaua e de um plantio tradicional que ficou dentro dos limites do campo experimental da Embrapa
1972-78	Cacau Pirera (Iranduba)	Campo Experimental da Embrapa, em Manaus	819	Escobar, 1986	Plantas de origem desconhecida
1968-1970	Maués	Campo Experimental da Embrapa, em Maués	2.554	Escobar, 1986	Plantas provenientes dos arredores de Maués
1977	Maués	Campo Experimental da Embrapa, em Maués	2.112	Escobar, 1986	Plantas provenientes do rio Apoquitaua e que deram origem à maioria dos clones do programa de melhoramento
1976-79	Maués	Campo Experimental da Embrapa, em Maués	1.943	Escobar, 1986	Plantas provenientes do Campo Experimental da Embrapa, em Maués
1978	Maués	Embrapa CPATU, em Belém	201	Kato, 1980	Progenies plantadas na Embrapa Amazônia Oriental, em Belém, PA
1986-87	Maués	Campo Experimental da Embrapa, em Maués	241	Garcia et al., 1991c	Programa de coleta visando introduzir 1.000 genótipos em cinco anos
1986-87	Manaus	Campo Experimental da Embrapa, em Manaus	23	Garcia et al., 1991c	Programa de coleta visando introduzir 1.000 genótipos em cinco anos
1986-87	Cacau Pirera (Iranduba)	Campo Experimental da Embrapa, em Manaus	21	Garcia et al., 1991c	Programa de coleta visando introduzir 1.000 genótipos, em cinco anos
1995-98*	Manaus e Maués	Campo Experimental da Embrapa, em Manaus	270	Nascimento Filho et al., 2001a	Implantação do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Amazônia Ocidental

\* Banco Ativo de Germoplasma atual da Embrapa Amazônia Ocidental; as outras coletas serviram de base para a formação do BAG atual.

## Variabilidade Genética

O guaranazeiro apresenta ampla variabilidade fenotípica para todos os caracteres analisados até hoje, entretanto sua variabilidade genética é pequena. Esse paradoxo é devido à sua domesticação recente como poliploide. No entanto, existe variabilidade genética suficiente nas populações para vários caracteres que permite a seleção de indivíduos superiores com maior número de características desejáveis para uso direto pelos produtores ou nos programas de melhoramento genético (Nascimento Filho et al., 2001a). Essa afirmação é baseada em 30 anos de estudos, período no qual o guaraná foi caracterizado e avaliado tanto quanto à variabilidade morfométrica como quanto à variabilidade genética molecular. Também nesse período foram lançados cultivares oriundos do programa de melhoramento.

A variabilidade de diversos caracteres vem sendo estudada em germoplasma cultivado, tanto em áreas de produtores tradicionais como em áreas experimentais. A variabilidade de características qualitativas e quantitativas foi avaliada por Corrêa (1989), em progênies de polinização aberta e também como clones, resultando numa proposta de lista mínima de descritores para a caracterização morfológica de guaranazeiro. Essa lista reúne observações morfoanatômicas da folha (largura, comprimento, forma e tamanho do folíolo-3; densidades estomáticas e de pilosidade), carpológicas (comprimento da ráquis, inserção do cacho no ramo, peso do cacho, número de frutos por cacho, forma do fruto, cor do fruto, superfície do pericarpo do fruto, peso da matéria fresca do fruto, proporções de cada componente do fruto, peso da matéria fresca e seca da casca, peso da matéria fresca e seca da semente) e químicas (teor de cafeína na semente seca). O índice de resistência a doenças também é muito variável (Pereira et al., 2007 a, b).

Com a descoberta da poliploidia (Freitas et al., 2007), parte dessa variabilidade pode ser atribuída à epistase entre os numerosos genes codificadores de diferentes características morfológicas (Stebbins, 1985). Poliploides sofrem alterações fenotípicas, fisiológicas e químicas (Levin, 1983), o que pode explicar variabilidade morfométrica observada no guaranazeiro.

As mudanças genéticas são baseadas na alteração do arranjo das sequências de DNA, tendo por resultado mudanças permanentes na molécula ou perda gênica. Possíveis alterações na sequência ou nos cromossomos incluem *crossing-over* desiguais, recombinação de homoeologos, aneuploides, conversão gênica, inserções, deleções e mutações pontuais. As mudanças epigenéticas, como a metilação do DNA, modificação de histonas, RNA de interferência e dosagem de compensação, podem alterar o padrão de expressão gênica, sem mudança na sequência de DNA (Wolffe e Matzke, 1999), e assim produzir dramáticos efeitos fenotípicos dentro da espécie.

Atualmente, as avaliações prioritárias da coleção de germoplasma de guaraná e dos experimentos de competição de clones têm-se resumido à resistência a doenças e caracteres relacionados com as duas fases de desenvolvimento da planta. A fase vegetativa compreende caracteres associados ao vigor inicial da planta, nos primeiros doze meses após o plantio, e a fase produtiva abrange características relacionadas com floração, frutificação e produção (Nascimento Filho et al., 2001 a). Os descritores são:

i) *Fase vegetativa*: percentagem de sobrevivência, comprimento do ramo principal, número de folhas, número de ramos, área foliar, comprimento do pecíolo e largura e comprimento do folíolo-3.

ii) *Fase produtiva*: produção por planta (fruto+ráquis), peso de sementes secas, incidência de doenças e teor de cafeína.

Valois et al. (1979) observaram que o modo de reprodução da planta e a relação de flores femininas e masculinas em uma inflorescência podem ser responsáveis pela baixa correlação entre o tamanho de inflorescência, número de botões, número de frutos e número de sementes por fruto. Eles verificaram também que estes fatores apresentam variabilidade genética, e.g., tamanho de inflorescência (CV=30,6%), número de botões (CV=24,9%) e número de sementes (CV=27,9%), e poderão ter bom incremento com a seleção. A produção de sementes secas é a principal característica de interesse econômico do guaraná (Figura 17.5).

Nascimento Filho et al. (1994) estudaram 26 caracteres relacionados à parte aérea e ao sistema radicular em plantas de guaraná, encontrando alta variabilidade para todos os caracteres entre os clones estudados. Eles obtiveram coeficientes de determinação genotípica acima de 70% para a maioria das variáveis estudadas, demonstrando que a aplicação de métodos simples de melhoramento poderá resultar em bons ganhos de seleção.

Com o objetivo de identificar clones de gnanazeiro produtivos e divergentes que possam ser utilizados em um programa de cruzamentos, visando à obtenção de híbridos com alto valor heterótico, bem como materiais para propagação vegetativa, Nascimento Filho et al. (2001) avaliaram 148 clones de gnanazeiro em relação ao comprimento do ramo principal, número de ramos e de folhas e a produção de sementes secas em quilogramas por planta. A análise da variabilidade fenotípica foi significativa para todos os caracteres avaliados. Para a análise da divergência genética entre grupos de clones, utilizaram-se a distância euclidiana média e os métodos de otimização de Tocher e do vizinho mais próximo. As estimativas das distâncias genéticas permitiram a formação de sete grupos distintos, com a maioria dos clones (85%) em um grupo, o que mostra que a divergência genética entre os clones atualmente em uso no programa



de melhoramento genético do guaranazeiro da Embrapa Amazônia Ocidental não é grande (Nascimento Filho et al., 2001). O conjunto desses resultados mostra claramente a influência da domesticação recente via poliploidia na variabilidade fenotípica e genética do guaranazeiro.



Figura 17.5. Variabilidade entre progênies de meios-irmãos de guaranazeiro.

O uso de marcadores moleculares tem sido uma ferramenta importante para auxiliar os pesquisadores nos programas de melhoramento genético de plantas. Segundo Ferreira e Grattapaglia (1996), as aplicações de marcadores moleculares no melhoramento de plantas podem ser divididas em aplicações de curto, médio e longo prazo. Em curto prazo, é possível a identificação e a discriminação de genótipos; em médio e longo prazo, os marcadores permitem quantificar a variabilidade genética existente no DNA e correlacioná-la com a expressão fenotípica. Essa informação molecular, integrada às metodologias de seleção e recombinação de genótipos, permite obter avanços genéticos nos programas de melhoramento genético clássicos de forma mais rápida.

Utilizando marcadores moleculares RAPD e caracteres relacionados à produção de frutos, Sousa (2003) avaliou parâmetros genéticos e a divergência genética em clones de guaranazeiro constituintes do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Amazônia Ocidental e de 27 clones-elite da rede estadual de avaliação e seleção de clones de guaranazeiro. A variação existente no germoplasma foi eficientemente identificada por avaliações moleculares e

fenotípicas, porém sem associação com os locais de coleta, corroborando os resultados obtidos por Nascimento Filho et al. (2001), que trabalharam com caracteres fenotípicos, mais uma vez confirmando a origem recente de guaraná por meio do evento de poliploidização. A elevada correlação ( $r=0,85^{**}$ ) entre as similaridades de RAPD e as distâncias generalizadas de Mahalanobis, considerando somente as médias e os extremos das estimativas, permitiu a predição de que os clones CIR217, CMA227, CMU300 e CMU611 são mais apropriados para gerar combinações superiores em um programa de cruzamentos. A alta herdabilidade do caráter número total de frutos normais por cacho ( $h^2 = 0,67$ ) e sua correlação fenotípica positiva com peso médio de cacho ( $r = 0,47^{**}$ ) apontam a importância desses dois caracteres como componentes de produção.

A busca por regiões do genoma do guaranazeiro que contivessem microssatélites, ou SSRs (*simple sequence repeats*), e que fossem úteis para o desenvolvimento de marcadores foi iniciada em 2004, em projeto coordenado pela Embrapa Amazônia Ocidental, com a colaboração da Universidade Federal do Amazonas e do INPA, financiado pela FAPEAM – Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado do Amazonas. Foram realizados o enriquecimento de bibliotecas genômicas Sau3AI e MseI com sondas  $(CA)_{12}$ ,  $(CT)_{12}$  e  $(TC)_{14}$  e a busca por blocos de repetições no banco de ESTs de frutos e sementes de guaranazeiro, mantido pela REALGENE (vide tópico específico a seguir), utilizando-se os aplicativos STADEN/TROLL (Martins et al., 2006), bem como realizando o exame individual das sequências e dos eletroferogramas (Angelo, 2007).

A frequência relativa de blocos perfeitos com número maior ou igual a oito foi 0,77% (66/8597) no banco de ESTs e 0,29% (2/688) nas bibliotecas genômicas e não diferiram estatisticamente (Angelo, 2007). Nas análises de diversidade em eucalipto, kiwi, coqueiro, oliveira e maçaranduba, foram utilizados microssatélites com números mínimos de 15, 8, 13 e 9 repetições de dinucleotídeos, respectivamente, e número máximo sempre superior a 20 repetições, em arranjos perfeitos e, também, arranjos compostos. Portanto, é possível considerar que blocos perfeitos com mais de oito repetições são raros no guaranazeiro. Isto pode ser consequência do tamanho do genoma do guaranazeiro.

Foram testados 10 pares de *primers* para repetições de di, trinucleotídeos e compostas. Cinco desses pares de *primers* (*loci* GRN02, 03, 10, 13 e 16) geraram padrões monomórficos, com até três tipos de alelos por indivíduo, mesmo nas genotipagens realizadas para acessos morfológicamente divergentes (Nascimento Filho et al., 2001). Isso corrobora a pouca variabilidade observada com RAPDs (Sousa, 2003) e pode também ser consequência do intervalo curto de tempo que, supõe-se, tenha passado desde a poliploidização, não suficiente para permitir a divergência entre alelos.

Nos outros cinco *loci* (GRN01, 04, 05, 07 e 08) foi observado polimorfismo e número de tipos de alelos variando de um a cinco por indivíduo (Figura 17.6). Porque ainda não se tem informações suficientes sobre as espécies que contribuíram para originar a var. *sorbilis*, para tentar realizar a análise dos dados, como caracteres codominantes, será necessário, pelo menos, o suporte de metodologia que permita quantificar o número de cópias de cada alelo. Será preciso, também, verificar se há pareamento e recombinação entre homeólogos e validar os *loci* de microssatélites por genotipagem de progênies de cruzamentos controlados.

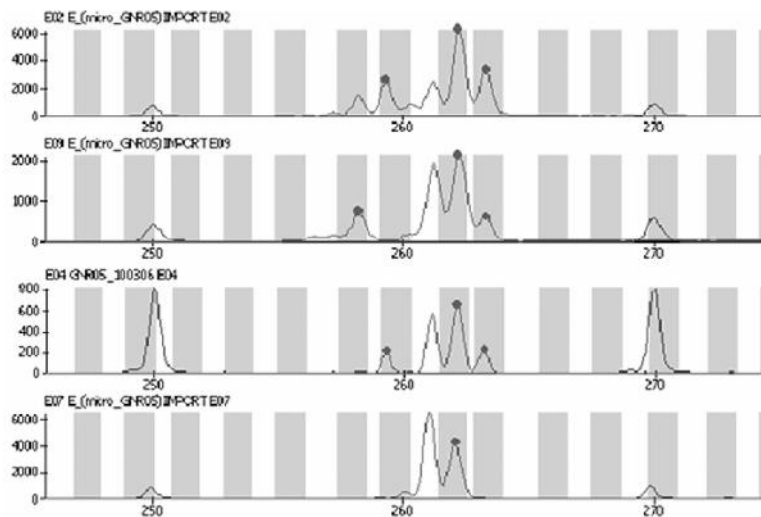


Figura 17.6. Genótipos de plantas de guaranazeiro para o *locus* GRN05. De cima para baixo: planta de guaranazeiro não introduzida no Banco de Germoplasma e acessos CIR203, CMA372 e CMA367. Os picos com tamanho entre 258 e 264 pares de bases são alelos e os picos em 250 e em 270 pares de bases são fragmentos do padrão de tamanho utilizado (EtROX). A escala de intensidade da fluorescência dos picos está nos eixos das ordenadas.

## Breve Histórico do Melhoramento Genético do Guaranazeiro

Seleções fenotípicas de matrizes superiores tiveram início em 1976, no Campo Experimental de Maués, e foram identificadas inicialmente 36 matrizes de

uma população oriunda de plantios de produtores de 3.074 pés de guaraná com idade variando de 9 a 20 anos.

Em 1984, uma rede nacional de avaliação de progênies de polinização aberta e clones foi implantada nas unidades da Embrapa, na região norte e na CEPLAC/CEPEC, na Bahia. Esses experimentos foram conduzidos até 1994, mas o objetivo de recomendar materiais não foi alcançado, pois a maioria dos experimentos foi abandonada por falta de recursos financeiros para sua condução.

Em 1996, a Embrapa Amazônia Ocidental implantou uma rede estadual de avaliação de 32 clones promissores, a fim de avaliar seu comportamento em diversas condições ambientais do Amazonas. Atualmente, existem quatro variedades clonais a serem lançadas para plantio que possuem potencial produtivo até 10 vezes superior à média no Estado do Amazonas.

Entre 1999 e 2000, a Embrapa Amazônia Ocidental lançou os 12 primeiros clones de guaranazeiro para plantio no Estado do Amazonas.

## Objetivos do Melhoramento Genético do Guaranazeiro

O objetivo geral do melhoramento de plantas é a identificação e a seleção de genótipos superiores, quando em produção comercial. Trabalha-se, então, visando obter o que se denomina ideótipo de planta (Bueno et al., 2001).

O programa de melhoramento coordenado pela Embrapa Amazônia Ocidental tem como objetivos: selecionar clones de guaraná com produtividade acima de 1,0 kg de sementes por planta, ampla adaptabilidade, boa estabilidade, tolerância às principais doenças (antracnose e superbrotamento; Figura 17.7), com melhor qualidade de frutos (alto teor de cafeína), resistência à queda na maturação e maturação mais uniforme (Nascimento Filho e Atroch, 2002).

A produtividade de sementes é o critério mais importante na seleção. O período mínimo de avaliação de produtividade é de cinco anos (Nascimento Filho, 2003; Atroch, 2004). Outras variáveis auxiliam na decisão de selecionar os melhores genótipos, como comprimento do ramo principal, número de ramos e número de folhas, as quais indicam a capacidade das plantas em se estabelecer e sobreviver no campo após o plantio (Nascimento Filho e Atroch, 2002). A adaptabilidade e a estabilidade de produção são medidas pela produtividade média dos genótipos em diversas condições ambientais, sistemas de cultivo, locais, além da variação ano a ano (Nascimento Filho e Atroch, 2002).

A avaliação da planta quanto à antracnose é realizada geralmente duas vezes ao ano, na estação seca (setembro-outubro) e na estação chuvosa (março-

maio), utilizando-se escala de notas variando de 0 a 3 (0 – sem incidência de doença). Genótipos com nota média 2 e 3 são descartados no processo seletivo. Para a doença superbrotamento, a porcentagem de ramos infectados é medida e o grau de severidade da doença é avaliado, utilizando-se escala de notas variando de 0 a 3 (Nascimento Filho e Atroch, 2002).

Um problema verificado nos cultivos de guaranazeiro é a alta desuniformidade de colheita. Uma planta chega a ser colhida dez a 20 vezes no período de safra (outubro a dezembro). Porém, a utilização de hormônios para uniformizá-la é antieconômica, além de ser um fator de rejeição do produto no mercado atual, que exige melhor qualidade no que diz respeito aos resíduos químicos nas culturas. Para contornar esse problema, o número de colheitas é considerado como variável de seleção desde o ano 2000. Assim, um genótipo que tenha maior número de colheitas pode ser selecionado para pequenos produtores, os quais necessitam de maior escalonamento de mão de obra. Para grandes produtores, que tenham condições de armazenamento e limitação da mão de obra, genótipos que apresentem menor número de colheitas por safra podem ser selecionados (Nascimento Filho e Atroch, 2002).

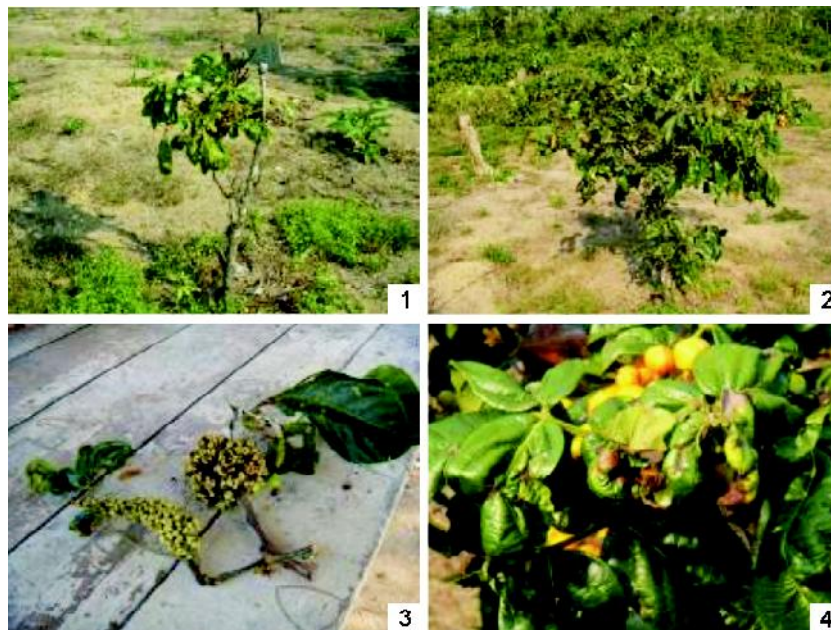


Figura 17.7. Principais doenças do guaranazeiro – superbrotamento (1 e 3) e antracnose (2 e 4).

## Métodos de Melhoramento Genético

No melhoramento do guaranazeiro, os métodos utilizados pela Embrapa Amazônia Ocidental até o momento variaram de acordo com o objetivo do programa e com os recursos humanos, materiais e de infraestrutura disponíveis para a condução dos trabalhos. A seguir, encontram-se descritos os principais métodos de melhoramento utilizados no guaranazeiro.

### Seleção massal

A preservação inconsciente das plantas mais atraentes ou produtivas pelos primeiros povos resultou na elevação da frequência de alelos favoráveis (Clement et al., capítulo 1). As primeiras variedades melhoradas foram desenvolvidas por esse método na maioria dos cultivos propagados por semente.

Em 1981, iniciaram-se os trabalhos de seleção de plantas da Estação Experimental Gregório Bondar, em Barrolândia, município de Belmonte, BA. Os critérios para a seleção de plantas foram: conformação de copa, vigor e floração abundante, sendo posteriormente efetuado o controle individual da produção. Em 1982, foram realizadas novas seleções em plantios comerciais pioneiros. O sucesso desse método na Bahia deve-se principalmente à ausência de pragas (tripés) e doenças (antracnose), fatores limitantes ao cultivo no Amazonas. Assim, as produções da Bahia (1 a 2 kg/planta) são de 5 a 10 vezes maiores que as do Amazonas (200 g/planta). No Amazonas, este método não obteve sucesso, e produções de 1 a 2 kg/planta são obtidas somente com clones melhorados.

### Seleção de plantas com teste de progênies

Segundo Allard (1971), o teste de progênies consiste na avaliação do genótipo dos progenitores com base no fenótipo de seus descendentes. A seleção com teste de progênies é mais eficiente do que a seleção massal, porque possibilita uma avaliação mais precisa das plantas selecionadas, pois as progênies são avaliadas em ensaios com delineamento experimental rigoroso, que resulta em maior precisão das médias (Bueno et al., 2001).

Esse método foi utilizado no programa de melhoramento genético da Embrapa Amazônia Ocidental de 1976 até final dos anos 80, tendo sido abandonado devido à alta incidência de antracnose nas progênies testadas, o que não permitiu concluir sobre as melhores progênies.

## Seleção clonal

Com o domínio da técnica de enraizamento de estacas de guaraná, no final da década de 70, a Embrapa Amazônia Ocidental iniciou o desenvolvimento de clones, selecionando matrizes nos ensaios dos testes de progênies e também em áreas de produtores tradicionais. Ensaios de competição de clones foram estabelecidos para seleção e recomendação. Esse método é utilizado até o momento no programa de melhoramento genético do guaranazeiro.

Na Bahia, foram introduzidos 24 clones de guaranazeiro do programa de melhoramento genético da Embrapa Amazônia Ocidental, no ano de 2001, para iniciar o programa de seleção clonal na Bahia. Esses clones estão em fase de avaliação quanto à produção e incidência de doenças.

Atualmente, são conduzidos 12 ensaios de avaliação de 27 clones, sendo quatro em Manaus (AM), dois em Irlanduba (AM), quatro em Maués (AM) e dois em Ituberá (BA).

## Seleção recorrente intraespecífica

O uso constante da seleção pode ter como consequência a limitação da diversidade genética e a redução da possibilidade de ganhos adicionais futuros nos programas de seleção, uma vez que o melhorista passa a manejar um *pool* gênico de tamanho limitado. Essa é uma preocupação importante no programa de melhoramento do guaraná, porque a base genética é naturalmente estreita. Uma alternativa para atenuar este problema é o uso da seleção recorrente, que constitui uma técnica de melhoramento que aumenta a frequência de alelos favoráveis numa população, por meio de repetidos ciclos de seleção, sem reduzir drasticamente a variabilidade da população, a qual é mantida por meio da recombinação em uma população selecionada com tamanho efetivo adequado (Borém, 1997).

A seleção recorrente tem sido amplamente utilizada em espécies alógamas perenes, como eucalipto, pinheiro, seringueira, sendo de grande importância para o êxito na seleção. No programa de melhoramento da Embrapa Amazônia Ocidental, este método está sendo iniciado com a avaliação morfoagronômica e molecular de 36 progênies de meios-irmãos, para gerar uma população melhorada de primeiro ciclo, dar suporte ao programa de seleção clonal e iniciar um programa de melhoramento com cruzamentos controlados. Esse projeto selecionará progênies e genótipos de guaranazeiro com base em caracteres morfoagronômicos via índice de seleção com valores genéticos preditos, visando maximizar o ganho genético e a diversidade genética em uma população utilizada para fins de melhoramento genético. Análises genético-moleculares serão usadas

para acompanhar a variabilidade das matrizes e suas progênes, bem como para ajudar a identificar matrizes divergentes que poderiam contribuir para a ampliação da variabilidade via cruzamentos específicos.

No programa de melhoramento do guaranazeiro, a estratégia é similar à proposta por Grattapaglia (2001), diferindo no que diz respeito à seleção fenotípica e ao índice de seleção, que neste caso serão realizados com valores genéticos estimados pelo procedimento BLUP – Best Linear Unbiased Predictor. Um índice de seleção agregará todas as informações morfoagronômicas, utilizando-se os valores genéticos preditos, e a seleção será realizada em relação ao potencial agrônomo dos genótipos. Um índice de diversidade genética será calculado a partir dos dados moleculares e serão selecionados os genótipos com maior diversidade genética. Os melhores genótipos das melhores progênes, com maior potencial agrônomo e maior diversidade genética, serão selecionados, clonados, e plantados em um lote de recombinação para gerar uma população melhorada de primeiro ciclo. Os genótipos com maior valor genotípico serão clonados e constituirão ensaios de avaliação de clones. Os genótipos superiores e com maior variância genética aditiva terão suas matrizes utilizadas como fonte de sementes para testes de variedades de polinização aberta. A população de primeiro ciclo originará novas progênes para a continuação do processo, até que não haja mais ganhos genéticos com seleção.

### Transcriptoma do fruto com sementes

O projeto “Genoma funcional e genética genômica do guaranazeiro” foi iniciado em 2004. Parte da proposta, que se inclui em ação induzida do CNPq/MCT para o desenvolvimento de Projetos Genomas Regionais, já foi executada pela recém-organizada REALGENE – Rede da Amazônia Legal de Pesquisas Genômicas (Realgene, 2008).

O sequenciamento de transcritos de três fases de desenvolvimento dos frutos (verdes imaturos, estágio intermediário e maduros) de guaraná do cultivar BRS-Amazonas, com as sementes, gerou um banco de ESTs com 2.628 *contigs* e 5.969 *singletons*, com comprimento médio de 773 pares de bases (Ângelo et al., 2008). Algumas das ESTs são especialmente interessantes e podem explicar, pelo menos em parte, as propriedades medicinais atribuídas ao extrato do pó das sementes torradas e que estão sendo aos poucos comprovadas por experimentação científica. Entre estas estão as enzimas que participam das vias de síntese e catálise de flavonoides e carotenoides (146/15.387) e as sintases de cafeína (94/15.387).

Foi identificado também um grupo de sequências relacionadas (177/15.387) com genes de vias de interação planta-patógeno, incluindo proteínas PR



(*pathogenesis related*), ainda sem classificação, inibidores de proteases de cisteína e sequências relacionadas a endoquitinases.

Parte dessas sequências poderá contribuir para a compreensão da variabilidade registrada entre os clones, por exemplo, pela análise da divergência estrutural ou das diferenças de expressão entre os genes que as codificam, quando correlacionadas com a diversidade de fenótipos dos clones de guaranazeiro.

## Perspectivas Futuras

A seleção assistida por marcadores é uma das prioridades do programa de melhoramento genético do guaranazeiro, assim como a seleção de variedades de polinização aberta que possam ser cultivadas no Amazonas e que incluam ampla adaptabilidade, boa estabilidade e resistência à antracnose e ao superbrotamento. O patamar atual dos materiais genéticos recomendados é de 1 kg de sementes secas/planta/ano e deve ser aumentado para 2 kg/planta/ano, para que seja alcançada a produtividade atual dos guaranazais baianos. Ou seja, variedades clonais e de polinização aberta devem ser selecionadas a partir desse patamar de produtividade. Um programa de cruzamentos já foi iniciado e novas combinações genéticas serão geradas para que a base genética da cultura seja ampliada, de modo a garantir novos ganhos de seleção no futuro.

A determinação do tipo de ploidia, de quais espécies estão envolvidas no evento da ploidia e que fazem parte do gene *pool*/primário são fatores importantes para o futuro do programa de melhoramento genético do guaranazeiro.

## Agradecimentos

Ao Dr. Aluizio Borém (UFV) e à Dra. Maria Tereza Gomes Lopes (UFAM), pelo convite para participar deste livro. Aos Dr. Marcos Deon Vilela de Resende (Embrapa Florestas) e ao Dr. Ricardo Lopes (Embrapa Amazônia Ocidental), pela revisão deste capítulo.

## Referências Bibliográficas

Angelo, P.C.S.; Atroch, A.L.; Nascimento Filho, F.J.; Sousa, N.R.; Mendonça, W. S.; Fonseca, A.P.A. 2007. Padrões de florescimento de clones de

- guaranazeiro. In: Pereira, J.C.R.; Arruda, M.R. (Eds.). Pesquisa com guaranazeiro na Embrapa Amazônia Ocidental: status atual e perspectivas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. p.244-250.
- Angelo, P.C.S; Nunes-Silva, C.G; Brígido, M.M.; Azevedo, J.S.N; Assunção, E.N.; Sousa, A.R.B.; Patrício, F.J.B.; Rego, M.M.; Peixoto, J.C.C.; Oliveira-Jr, W.P.; Freitas, D.V.; Almeida, E.R.P.; Viana, A.M.H.A.; Souza, A.F.P.N.; Andrade, E.V.; Acosta, P.O.A.; Batista, J.S.; Walter, M.E.M.T.; Leomil, L.; Anjos, D.A.S.; Coimbra, R.C.M.; Barbosa, M.H.N.; Honda, E.; Pereira, S.S.; Silva, A.; Pereira, J.O.; Silva, M.L.; Marins, M.; Holanda, F.J.; Abreu, R.M.M.; Pando, S.C.; Gonçalves, J.F.C.; Carvalho, M.L.; Leal-Mesquita, E.R.R.B.P.; Silveira, M.A.; Batista, W.C.; Atroch, A.L.; França, S.C.; Porto, J.I.R.; Schneider, M.P.C.; Astolfi-Filho, S. 2008. Brazilian Amazon Consortium for Genomic Research (REALGENE). Guarana (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*), an anciently consumed stimulant from the Amazon rain forest: the seeded-fruit transcriptome. *Plant Cell Reports* 27: 117-124.
- Atroch, A.L. 2002. Aspectos gerais da cultura do guaraná. *Foods and Food Ingredients Journal of Japan* (204): 53-59.
- Atroch, A.L. 2001. Situação da cultura do guaraná no Estado do Amazonas. In: Atroch, A.L. (Ed). Reunião Técnica da Cultura do Guaraná, 1., Manaus, AM, 6 a 9 de novembro, 2000. Anais. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 16).
- Atroch, A.L.; Resende, M.D.V.; Nascimento Filho, F.J. do. 2004. Seleção clonal em guaranazeiro via metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP). *Revista de Ciências Agrárias* (41): 193-201.
- Borém, A. 1997. Melhoramento de plantas. Viçosa: UFV. 547p.
- Bueno, L.C. de; Mendes, A.N.G.; Carvalho, S.P. de. 2001. Melhoramento genético de plantas: princípios e procedimentos. Lavras: UFLA. 282 p.
- Ducke, A. 1937. Diversidade dos guaranás. *Rodriguésia* 3(9): 155-156.
- Ducke, A. 1938. Plantes nouvelles. *Archivos do Instituto de Biologia Vegetal* 4(1):46-47.
- Escobar, J.R.; Costa, P.R.C.; Corrêa, M.P.F. 1985. Estimativa de variação do número de flores femininas efetivas do guaranazeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 20(12):1365-1371.
- Ferreira, M. E.; Grattapaglia, D. 1996. Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética. 2 ed. Brasília: EMBRAPA-CENARGEN. 220 p. (EMBRAPA-CENARGEN. Documentos, 20).
- Ferrucci, M.S.; Solís Neffa, V.G. 1997. Citotaxonomia de Sapindaceae sudamericanas. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 33: 77-83.
- Freitas, D.V.; Carvalho, C.R.; Nascimento-Filho, F.J.; Astolfi-Filho, S. 2007. Karyotype with 210 chromosomes in guaraná (*Paullinia cupana* 'Sorbilis'. *Journal of Plant Research* 120: 399-404.

- Gonçalves, J. R. 1964. Relatório sobre o trabalho de seleção de guaraná em Água Fria, Município de Manaus. Manaus, AM: [s.n.]. 6p.
- Gondim, C.J.E. 1978. Alguns aspectos da biologia reprodutiva do guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*). Dissertação de Mestrado, INPA/FUA, Manaus. 83p.
- Grattapaglia, D. 2001. Marcadores moleculares em espécies florestais: *Eucalyptus* como modelo. In: Nass, L. L.; Valois, A. C. C.; Melo, I. T.; Valadares-Ingliš, M. C. (Eds). Recursos genéticos & melhoramento: plantas. Rondonópolis: Fundação MT. p.967-993.
- Guerra, M. dos S. 1986. Cito genética de Angiospermas coletadas em Pernambuco. I. Rev. Bras. Genét (9): 21-40.
- Harrington, M.G; Edwards, K.J.; Johnson, S.A.; Chase, M.W.; Gadek., P.A. 2005. Phylogenetic inference in Sapindaceae *sensu lato* using plastid matK and rbcL DNA sequences. Systematic Botany 30: 366-382.
- IBGE. 2008. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: [www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br). Acessado em 08/10/2008.
- IPNI. 2008. The International Plant Names Index. [www.ipni.org/ipni/query\\_ipni.html](http://www.ipni.org/ipni/query_ipni.html). Query: family = Sapindaceae; genus = *Paullinia*. Consultado em 22 de junho de 2008.
- Lleras, E. 1992. Espécies de *Paullinia* com potencial econômico. In: Hernández Bermejo, J.E.; León, J. (Eds.). Cultivos marginados: Otra perspectiva de 1492. Roma: FAO, Plant Production and Protection Paper, n. 26:193-201.
- Martins, W.; Sousa, D.; Proite, K.; Guimarães, P.; Moretzsohn, M.; Bertoli, D. (Ano de publicação). New softwares for automated microsatellite marker development. Nucleic Acids Research 34(4): e31.
- Monteiro, M.Y. 1965. Antropogeografia do guaraná. Cadernos da Amazônia, Manaus: INPA. v.6, p.1-84.
- Nascimento Filho, F. J. do. 2003. Interação genótipos x ambientes, adaptabilidade, estabilidade e repetibilidade em clones de guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke). Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 182p.
- Nascimento Filho, F. J. do; Perecin, M. L. R. de A.; Vieira, M. L. C. 2007. Estudos preliminares para a determinação do número de cromossomos do guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke). In: Pereira, J. C. R.; Arruda, M. R. de (Eds.). Pesquisa com guaranazeiro na Embrapa Amazônia Ocidental: status atual e perspectivas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. p. 228-231.
- Nascimento Filho, F.J. do; Ando, A.; Cruz, C.D.; Garcia, T.B. 1993. Análise de caminhamento em mudas de guaraná. Pesquisa Agropecuária Brasileira 28(4): 447-452.

- Nascimento Filho, F.J. do; Atroch, A.L.; Sousa, N.R. de; Garcia, T.B.; Cravo, M. da S.; Coutinho, E.F. 2001 b. Divergência genética entre clones de guaranazeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36(3): 501-506.
- Nascimento Filho, F.J.; Atroch, A.L. 2002. Guaranazeiro. In: Brukner, C.H. *Melhoramento de fruteiras tropicais*. Viçosa: UFV. p.291-307.
- Nascimento Filho, F.J.; Garcia, T.B.; Sousa, N.R.; Atroch, A.L. 2001 a. Recursos genéticos de guaraná. In: Sousa, N.R.; Souza, A.G.C. (Org.) *Recursos fitogenéticos na Amazônia Ocidental*. 1 ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. v.1, p.128-141.
- Nascimento Filho, J.F. do; Garcia, T.B.; Cruz, C.D. 1994. Estimativa de parâmetros genéticos em clones de guaranazeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 29(1):91-96.
- Patiño, V. 1967. *M. Plantas cultivadas y animales domesticos en America Equinoccial: fibras, medicinas, miscelanea*. Cali, Colômbia: Imprenta Departamental. v.3, 65p.
- Pereira, J. C. R.; Araújo, J. C. A.; Nascimento Filho, F. J.; Atroch, A. L.; Gasparotto, L.; Arruda, M. R.; Santos, L. P. 2007a. Avaliação da estabilidade fenotípica e da previsibilidade da resistência em clones de guaranazeiro a *Colletotrichum guaranicola*. In: Pereira, J. C. R.; Arruda, M. R. de (Eds.). *Pesquisa com guaranazeiro na Embrapa Amazônia Ocidental: status atual e perspectivas*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. p. 62-67.
- Pereira, J. C. R.; Araújo, J. C. A.; Nascimento Filho, F. J.; Atroch, A. L.; Gasparotto, L.; Arruda, M. R.; Santos, L. P. 2007b. Avaliação da resistência à antracnose em clones de guaranazeiro. In: Pereira, J. C. R.; Arruda, M. R. de (Eds.). *Pesquisa com guaranazeiro na Embrapa Amazônia Ocidental: status atual e perspectivas*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. p.75-79.
- Pereira, N. 1954. *Os índios Maués*. Rio de Janeiro: Organizações Simões. 176 p
- Pereira, T.N.S.; Sacramento, C.K. 1987. Comportamento floral do guaranazeiro nas condições da Bahia. *Revista Theobroma* 17(3): 201-208.
- Ramsey, J.; Schemske, D.W. 2002. Neopolyploidy in flowering plants. *Annals Review of Ecology and Systematics* 33: 589-639.
- REALGENE – Rede da Amazônia Legal de Pesquisas Genômicas Disponível em: [http://www.realgene.ufam.edu.br/rede/index\\_arede.php](http://www.realgene.ufam.edu.br/rede/index_arede.php). Acessado em 28.09.2008.
- Resende, M.D.V. 2002. *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 975p.
- Solis Neffa, V.G.; Ferrucci, M.S. 2001. Karyotype analysis of some *Paullinea species* (Sapindaceae). *Caryologia* 54: 371-376.
- Soltis, P.S.; Soltis, D.E. 2004. The origin and diversification of angiosperms. *American Journal of Botany* 91: 1614-1626.
- Sousa, N. R. 2003. Variabilidade genética e estimativas de parâmetros genéticos

- em germoplasma de guaranazeiro. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras, Lavras. 99p.
- Souza, AP. 2001. Biologia molecular aplicada ao melhoramento. In: Nass, L. L.; Valois, A. C. C.; Melo, I. T.; Valadares-Inglis, M. C. (Eds.). Recursos genéticos & melhoramento: plantas. Rondonópolis: Fundação MT. p.939-965.
- Souza, A. G. C. et al. 1996. Fruteiras da Amazônia. Brasília: EMBRAPA-SPI; Manaus: EMBRAPA-CPAA. 204p. (Biblioteca Botânica Brasileira, 1).
- Stebbins, G.L. 1985. Polyploidy, hybridization, and the invasion of new habitats. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 72: 824-832.
- Straus, N.A. 1971. Comparative DNA renaturation kinetics in amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 68: 799-802.
- TROPICOS. 2008. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. Disponível em: <http://www.tropicos.org/Name.Query:Sapindaceae>. Acessado em 22/06/2008.
- Valois, A.C.C.; Correa, M.P.F.; Vasconcellos, M.E.C. 1979. Estudo de caracteres correlacionados com a produção de amêndoas secas no guaranazeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 14(2):175-179.
- von Martius, C.F.P. *Flora Brasiliensis*. Vol. XIII, Part III, Fasc. 122, Coluna 371-372. Disponível em: <http://florabrasiliensis.cria.org.br>. Consultado em 22/06/2008.