



**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**

**Programa Integrado de Pós Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais**

**AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE MEIOS IRMÃOS DE  
GUARANAZEIRO (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) UTILIZANDO  
CARACTERES MORFO-AGRONÔMICOS**

**ANDRÉ LUIZ ATROCH**

**Manaus, Amazonas  
Junho, 2009**



**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**

**Programa Integrado de Pós Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais**

**AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE MEIOS IRMÃOS DE  
GUARANAZEIRO (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) UTILIZANDO  
CARACTERES MORFO-AGRONÔMICOS**

**ANDRÉ LUIZ ATROCH**

**Orientador: Dr. CHARLES ROLAND CLEMENT**

**Co-orientador: Dr. RICARDO LOPES**

Tese apresentada ao Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Genética, Conservação e Biologia Evolutiva na área de concentração em Genética.

**Manaus, Amazonas  
Junho, 2009**

Atroch, André Luiz Atroch

Avaliação e seleção de progênies de meios irmãos de guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) utilizando caracteres morfo-agronômicos – Manaus: UFAM/INPA, 2009.

72 p.

Tese de Doutorado – Área de concentração Genética.

1. Seleção 2. Ganho Genético 3. Genética 4. *Paullinia cupana*

CDD XX° ed. XXX.XXX

**Sinopse:**

A variabilidade genética, estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos, e predição de valores genéticos em guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) num experimento conduzido em Maués, Amazonas, foram avaliadas em trinta e seis progênies para dez caracteres morfo-agronômicos, incluindo resistência às doenças antracnose e superbrotamento e produção de frutos, em três safras consecutivas, com o objetivo de selecionar plantas com o maior número de atributos desejáveis para produção de sementes e composição de uma população para melhoramento.

**Palavras-chave:** variabilidade genética, melhoramento genético, avaliação de progênies, ganho genético.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade fenotípica, estimar parâmetros genéticos e fenotípicos, predizer valores genéticos, estabelecer correlações genéticas entre os caracteres e construir um índice de seleção dos indivíduos de guaranazeiro para produção de sementes e compor uma população de melhoramento, num experimento com 36 progênies de guaranazeiro, em blocos ao acaso, com duas repetições e seis plantas por parcela, conduzido pela Embrapa Amazônia Ocidental, em Maués, Amazonas. Os maiores ganhos genéticos para produção precoce (24,5%) foram obtidos com a seleção de indivíduos usando tanto a variação entre quanto dentro das progênies, combinadas por meio do BLUP. A média da primeira produção do melhor indivíduo foi 7.720 gramas de frutos, que é cinco vezes maior do que a produtividade média estadual. As melhores condições para seleção são das características altura de plantas, diâmetro do caule e produtividade precoce. A seleção para antracnose e superbrotamento será mais eficiente se realizada em nível de progênies e não entre indivíduos dentro das progênies. A estratégia de seleção de progênies envolvendo todos os caracteres morfo-agronômicos mostrou-se ser a mais eficiente no que concerne aos ganhos genéticos da ordem de 100%, devendo ser adotada no programa de melhoramento genético do guaranazeiro. Por outro lado, a seleção de indivíduos para produção de sementes e para composição de população de melhoramento deve ser mais bem avaliada, por mais quatro anos, pois os ganhos genéticos atuais, variando de 1,38% a 2,58%, não permitem uma tomada de decisão segura.

## ABSTRACT

The aim of this study was to estimate the genetic parameters, variance components, genetic correlations and constructing a selection index of guarana individuals for seed production and a breeding population, among half sib progenies of guarana in Maués, Amazonas, Brazil. Thirty-six progenies were evaluated in a randomized incomplete block design with two replicates and six plants per plot. High genetic gains for precocious yield (24.5%) were obtained with the selection of individuals using the variation between and within progenies, combined by BLUP. The best individual precocious yield was 7,720 grams per plant, which is five times higher than average state yield (1,200 g). The best expectations for genetic gain are for plant height, stem diameter and precocious yield. The selection for disease resistance should be realized at the progeny level, not between individuals within progenies. The strategy of progeny selection involving all the characters proved to be most efficient with respect to the genetic gain of nearly 100%, and should be adopted in the guarana breeding program. On the other hand, the selection of individuals for seed production and composition of the breeding population must be evaluated for more four years, since the current estimates of genetic gain, varying from 1.38% to 2.58%, do not allow secure decisions.

## LISTA DE TABELAS E FIGURAS

### CAPÍTULO I

**Tabela 1:** Componentes de variância e parâmetros genéticos dos caracteres altura de plantas, diâmetro do caule, resistência à antracnose, resistência ao superbrotamento e produção inicial estimados em 36 progênies de meios irmãos de guaranazeiro aos 24 meses após o plantio no campo em Maués, Amazonas, em abril de 2005. 50

**Tabela 2:** Estimativas dos componentes de médias, por meio do procedimento BLUP, valor fenotípico individual, efeito genético aditivo predito, valor genético aditivo predito, tamanho efetivo populacional, efeito genético de dominância predito e efeito genotípico predito, dos 10 melhores indivíduos do experimento em 36 progênies de meios irmãos de guaranazeiro, aos 24 meses após o plantio no campo em Maués, Amazonas em abril de 2005. 51

**Tabela 3:** Seleção dos 10 melhores progênies de guaranazeiro para resistência à antracnose e ao superbrotamento e para precocidade de produção inicial estimados num experimento de 36 progênies de meios irmãos de guaranazeiro, aos 24 meses após o plantio no campo em Maués, Amazonas em abril de 2005. 52

### CAPÍTULO II

**Tabela 1:** Resumo da análise de variância conjunta dos anos de 2006, 2007 e 2008 do caráter produção de frutos em gramas por planta ao ano. 65

**Figura 1.** Evolução anual da produção média do experimento de 36 progênies de guaranazeiro. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. 66

**Tabela 2:** Componentes de variância e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos associados à produção de frutos em gramas por planta na análise conjunta dos anos 2006, 2007 e 2008 67

**Tabela 3:** Componentes de variância e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos associados à produção de frutos em gramas por planta, nos anos de 2006, 2007 e 2008. 68

**Tabela 4:** Correlações genéticas entre dez caracteres morfo-agronômicos avaliados em 36 progênies de guaranazeiro. 69

**Tabela 5:** Eficiência do uso de  $m$  medidas em relação ao caráter produção de frutos por planta em 36 progênies de guaranazeiro. 70

**Tabela 6:** Valores fenotípicos, valores genéticos aditivos individuais, ganho genético (%) e tamanho efetivo populacional ( $N_e$ ) com a seleção dos 20 melhores indivíduos e do indivíduo de número 50 para o caráter produção de frutos, em guaranazeiro, visando a propagação sexuada. 71

**Tabela 7:** Seleção dos progênies de 36 progênies de meios irmãos avaliadas pelo índice Mulamba-Rank envolvendo dez caracteres morfo-agronômicos em Maués, Amazonas. 72

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	09
<b>2.1 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	11
2.2 <i>Introdução</i>	11
2.3 <i>Importância social</i>	12
2.4 <i>Importância econômica</i>	12
2.5 <i>Classificação botânica</i>	13
2.6 <i>Descrição botânica</i>	16
2.7 <i>Floração e polinização</i>	17
2.8 <i>Sistema reprodutivo</i>	18
2.9 <i>Origem e domesticação</i>	18
2.10 <i>O guaranazeiro é um poliplóide</i>	21
2.11 <i>Recursos genéticos</i>	23
2.12 <i>Variabilidade genética</i>	25
2.13 <i>Breve histórico do melhoramento genético do guaranazeiro</i>	30
2.14 <i>Objetivos do melhoramento genético do guaranazeiro</i>	30
2.15 <i>Métodos de melhoramento genético</i>	32
2.16 <i>Transcriptoma do fruto com sementes</i>	34
2.17 <i>Perspectivas futuras</i>	35
2.18 <i>Referências</i>	35
<b>3. CAPÍTULO I: Predição de valores genéticos na fase juvenil de progênies de meios irmãos de guaranazeiro (<i>Paullinia cupana</i> var. <i>sorbilis</i>).</b>	40
<b>RESUMO</b>	40
<b>3.1. INTRODUÇÃO</b>	41
<b>3.2. MATERIAL E MÉTODOS</b>	43
<b>3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	44

<b>3.4. CONCLUSÃO</b>	46
<b>3.5. REFERÊNCIAS</b>	47
<b>4. CAPÍTULO II: Avaliação e seleção de progênies de meios irmãos de guaranazeiro</b>	53
<b>RESUMO</b>	53
<b>4.1. INTRODUÇÃO</b>	54
<b>4.2. MATERIAL E MÉTODOS</b>	56
<b>4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	57
<b>4.4. CONCLUSÃO</b>	61
<b>4.5. REFERÊNCIAS</b>	62



## 1. INTRODUÇÃO

O guaranazeiro foi domesticado pelos povos indígenas Sateré-Maué no norte da região Amazônica entre os Rios Madeira e Tapajós, na fronteira dos estados do Amazonas e Pará. O mito da origem conta como a primeira Sateré-Maué encontrou um guaranazeiro verdadeiro (Pereira, 1954), que atualmente sabemos ser um poliplóide (Freitas et al., 2007), provavelmente de origem relativamente recente porque apresenta pouca variabilidade genética quando analisada com RAPD (Sousa, 2003). A poliploidia é um dos fatores que pode explicar porque o guaranazeiro tem respondido pouco à seleção. No entanto, acredita-se que no guaranazeiro existe variabilidade genética suficiente para seleção de indivíduos superiores com um maior número de características desejáveis (Nascimento Filho et al., 2001). Em relação à abordagem biométrica do guaranazeiro é importante o conhecimento do tipo de ploidia. Se o guaranazeiro é um alopoliplóide, como acreditamos, mas ainda sem confirmação, a abordagem biométrica é similar aos diplóides. Se o guaranazeiro é um autopoliplóide, os modelos genéticos empregados serão outros. Neste caso, não é possível estimar a variância genética aditiva e a herdabilidade individual no sentido restrito tendo por base apenas a avaliação de progênies de meios irmãos ou de progênies e filhos (Resende, 2002). Isto porque essas relações de parentesco, no caso de autotetraplóides, contemplam também frações da variância de dominância e não apenas da variância aditiva.

No guaranazeiro o ciclo de melhoramento compreende as fases de seleção de matrizes, testes de progênies, experimentos de competição de clones e posterior lançamento de materiais para plantio em escala comercial. Devido ao longo ciclo da cultura, da fase inicial até o lançamento dos materiais genéticos, pode demorar de 20 a 30 anos. Desse modo, é de grande importância o conhecimento da variabilidade e da herança de caracteres de interesse para o melhorista na escolha dos métodos mais adequados na seleção de plantas tanto na fase jovem quanto na fase adulta.

Os testes de progênies são úteis ao melhorista para conhecer a magnitude e a natureza da variância genética disponível visando quantificar os ganhos com a seleção e prever o melhor método de seleção a ser utilizado no melhoramento. Nesses testes são discriminados indivíduos superiores para o novo ciclo de melhoramento considerando as estimativas dos parâmetros genéticos (Costa et al., 2000).

As pesquisas com progênies de guaranazeiro foram retomadas em 2003 com a implantação do experimento deste trabalho, após um período bem sucedido de competição e recomendação de clones (Nascimento Filho e Atroch, 2002). O método de melhoramento empregado neste trabalho foi a seleção recorrente com teste de progênies de meios irmãos.

O trabalho está dividido em três partes: a primeira, como referencial teórico, o estado da arte sobre “Domesticação e melhoramento genético do guaranazeiro”, que será publicado como capítulo do livro “Domesticação e melhoramento genético de plantas: espécies Amazônicas”, da Universidade Federal de Viçosa. A segunda parte, como Capítulo 1, é a parte de estudos sobre a fase juvenil do guaranazeiro, sob o título “Predição de valores genéticos na fase juvenil de progênies de meios irmãos de guaranazeiro”. A terceira parte, Capítulo 2, é o estudo da fase adulta, comparado com a fase juvenil das plantas de guaranazeiro, denominada “Avaliação e seleção de progênies de meios irmãos de guaranazeiro”.

Este trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade fenotípica, estimar parâmetros genéticos e fenotípicos, prever valores genéticos, estabelecer correlações genéticas entre os caracteres e construir um índice de seleção do guaranazeiro para produção de sementes e compor uma população de melhoramento, num experimento com 36 progênies de guaranazeiro, conduzido pela Embrapa Amazônia Ocidental, em Maués, Amazonas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 TÍTULO: 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>*

### 2.2 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, 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 do Estado do Amazonas.

---

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

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

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

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

Este capítulo tem o objetivo de resumir o conhecimento atual sobre a biologia, a domesticação e o melhoramento genético do guaranazeiro.

### **2.3 IMPORTÂNCIA SOCIAL**

O guaranazeiro é uma cultura 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 garantia de preços mínimos.

### **2.4 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 média 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-Maué, que, além de poder usar a marca Amazônia, podem beneficiar-se dos mercados de produtos indígenas e socialmente justos.

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 um novo refrigerante de guaraná no mercado mundial.

## 2.5 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 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.

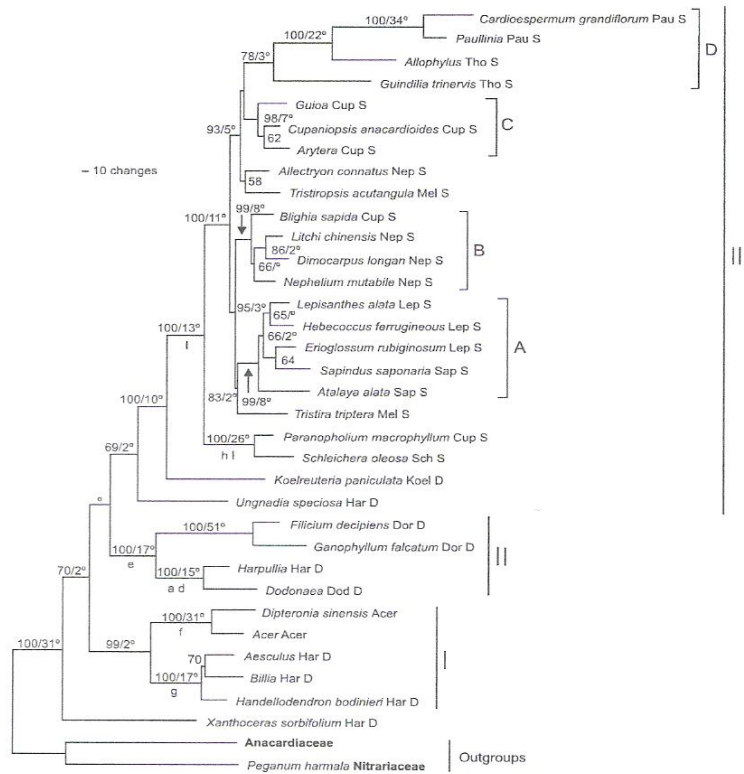


Figura 1. Agrupamento de máxima parcimônia, alcançado após 1.580 rearranjos, utilizando dados das sequências da subunidade maior da RUBISCO (codificada no núcleo) e da maturase K (citoplasmática) combinados. A organização dos clados foi testada por processos de *bootstrap* e substituição aleatória de 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.

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 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 2). Face à semelhança entre as duas plantas, *sorbilis* e *cupana* foram considerados sinônimos, em 1897, época da publicação da “Flora Brasiliensis de Martius”, e *cupana* foi mantido 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.

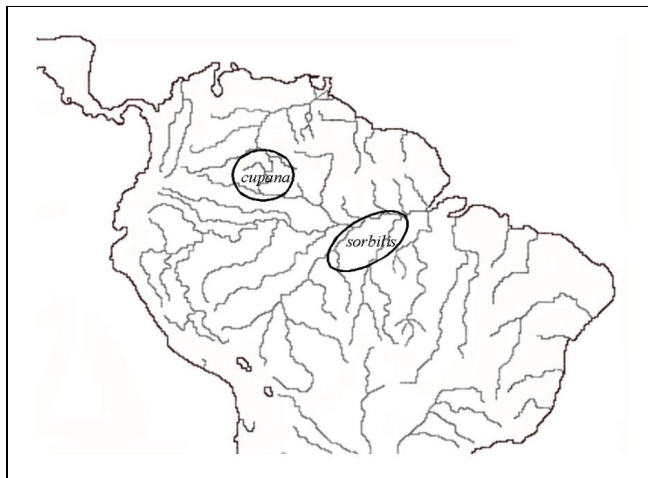


Figura 2. Distribuição aproximada de *Paullinia cupana* Kunth na época da conquista europeia. A variedade *sorbilis* é o guaraná de comércio atual, enquanto a *P. cupana* é uma relíquia etnobotânica nunca mais encontrada no Brasil.

## 2.6 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 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).

## 2.7 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 progênes 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 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 3. Frutos de guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) no “ponto de colheita”.

## 2.8 SISTEMA REPRODUTIVO

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.

## 2.9 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 Andiráas (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, a 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 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 da 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 um 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 guaranazeiro é originário dessa região geográfica relativamente restrita (Figura 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 propor também algumas idéias sobre a origem do guaraná do século passado. Lleras (1992) sugeriu que a disjunção geográfica entre *P. cupana* da Venezuela e a var. *sorbilis* poderia ser de origem antrópica, ou seja, o guaranazeiro 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 apóiem 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.

## 2.10 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 agrônômico. 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 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 4).



Figura 4. Guarana (não identificado) encontrado na Terra Indígena Andirá-Marau, perto de aldeias dos Sateré-Maué, Maués, Amazonas, Brasil, 2008.

Foto: Gina Frausin.

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 progênies 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.

## 2.11 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 1).

Tabela 1. Número de plantas dos recursos genéticos do guaranazeiro obtidos em diferentes coletas 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 (Irاندوبا)	Campo Experimental da Embrapa, em Manaus	819	Escobar, 1986	Plantas de origem desconhecida
1968-70	Maués	Campo Experimental	2.554	Escobar, 1986	Plantas provenientes dos

1977	Maués	da Embrapa, em Maués Campo Experimental da Embrapa, em Maués	2.112	Escobar, 1986	arredores de Maués 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	Progênies 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.

Vale ressaltar que *P. cupana* da 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 Agrônomico



do Norte. Na década de 1950, foi coletado novamente e plantado no IAN – Instituto Agrônômico 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* da Venezuela é poliploide, como a var. *sorbilis*.

## 2.12 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 tanto como à variabilidade genética molecular. Também nesse período foram lançados cultivares oriundos do programa de melhoramento.

A variabilidade de vários 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 homeólogos, 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., 2001a). 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. E 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 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.



Figura 5. Variabilidade entre progênies de meios-irmãos de guaranazeiro.

Com o objetivo de identificar clones de guaranazeiro 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 guaranazeiro 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.

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)<sub>12</sub>, (CT)<sub>12</sub> e (TC)<sub>14</sub> 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 realizado o exame individual das sequências e 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 (Ângelo, 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 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 progênie de cruzamentos controlados.

Na Figura 6, de cima para baixo, planta de guaranazeiro não introduzida no Banco de Germoplasma, CIR203, CMA372 e CMA367. Os picos em verde representam os alelos identificados e os picos em vermelho o padrão do tamanho do alelo.

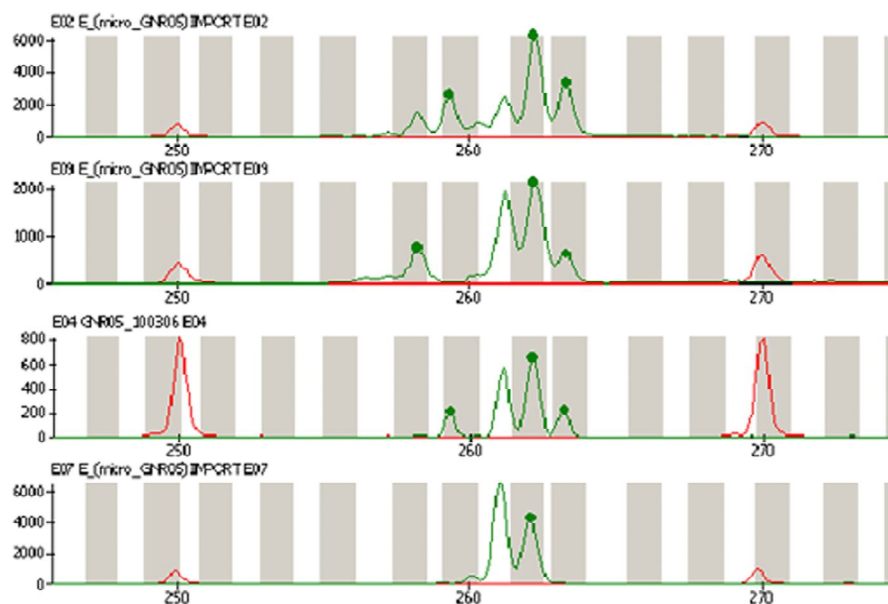


Figura 6. Genotipagens de plantas de guaranazeiro com os *primers* para o loco GRN05.

### **2.13 BREVE HISTÓRICO DO MELHORAMENTO GENÉTICO DO GUARANAZEIRO**

Seleções fenotípicas de matrizes superiores tiveram início em 1976, no Campo Experimental de Maués: foram identificadas inicialmente 36 matrizes de uma população oriunda de plantios de produtores com 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.

### **2.14 OBJETIVOS DO MELHORAMENTO GENÉTICO DO GUARANAZEIRO**

O objetivo geral do melhoramento de plantas é a identificação e a seleção de genótipos superiores, quanto à produtividade. 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 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 7. Principais doenças do guaranazeiro – superbrotamento (1 e 3) e antracnose (2 e 4).

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.

### **2.15.1 Seleção massal**

A preservação inconsciente das plantas mais atraentes ou produtivas pelos primeiros povos resultou na elevação da frequência de alelos favoráveis. As primeiras variedades melhoradas foram desenvolvidas por esse método na maioria dos cultivos propagados por semente (Clement et al., 2009).

Em 1981, iniciaram-se os trabalhos de seleção de plantas de guaranazeiro 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 (tripes) 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.

### **2.15.2 Seleção de plantas com teste de progênes**

Segundo Allard (1971), o teste de progênes consiste na avaliação do genótipo dos genitores com base no fenótipo de seus descendentes. A seleção com teste de progênes é mais eficiente do que a seleção massal, porque possibilita uma avaliação mais precisa das plantas selecionadas, pois as progênes são avaliadas em experimentos 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 progênes testadas, o que não permitiu concluir sobre as melhores progênes.



### **2.15.3 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 experimentos dos testes de progênes e também em áreas de produtores tradicionais. Experimentos 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 experimentos de avaliação de 27 clones, sendo quatro em Manaus (AM), dois em Iranduba (AM), quatro em Maués (AM) e dois em Ituberá (BA).

### **2.15.4 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 progênes 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 progênes 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 progênies, 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 progênies, 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 experimentos 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 progênies para a continuação do processo, até que não haja mais ganhos genéticos com seleção.

## 2.16 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 maduro) 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.

## 2.17 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.

## 2.18 REFERÊNCIAS

- 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**, Rio de Janeiro, v.3, n.9, p.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.
- 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.
- 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-Inglis, M. C. (Eds). **Recursos genéticos & melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT. p.967-993.
- Guerra, M. dos S. 1986. Citogenética 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. 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. 26:193-201.1992.
- Martins, W.; Sousa, D.; Proite, K.; Guimarães, P.; Moretzsohn, M.; Bertioli, 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 guaranzeiro (*Paullinia cupana* var *sorbilis* (Mart.) Ducke). In: Pereira, J. C. R.; Arruda, M. R. de (Eds.). **Pesquisa com guaranzeiro 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. 2001b. 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. 2001a. 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 *Paullineae* 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, A P. 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. Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 14(2):175-179.

### 3. CAPÍTULO I

#### 3.1 TÍTULO: PREDIÇÃO DE VALORES GENÉTICOS NA FASE JUVENIL DE PROGÊNIAS DE MEIOS IRMÃOS DE GUARANAZEIRO

André Luiz Atroch<sup>(1)</sup>, Firmino José do Nascimento Filho<sup>(1)</sup>, Marcos Deon Vilela de  
Resende<sup>(2)</sup>, Ricardo Lopes<sup>(1)</sup>, Charles Roland Clement<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Embrapa Amazônia Ocidental, Cx. Postal 399, 69011-970 Manaus, AM. E-mail: [atroch@cpaa.embrapa.br](mailto:atroch@cpaa.embrapa.br),  
[firmينو.filho@cpaa.embrapa.br](mailto:firmينو.filho@cpaa.embrapa.br), [ricardo.lopes@cpaa.embrapa.br](mailto:ricardo.lopes@cpaa.embrapa.br)

<sup>(2)</sup> Embrapa Florestas, Colombo, PR. E-mail: [deon@cnpf.embrapa.br](mailto:deon@cnpf.embrapa.br)

<sup>(3)</sup> Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM. E-mail: [cclement@inpa.gov.br](mailto:cclement@inpa.gov.br)

RESUMO - Este trabalho teve como objetivo prever valores genéticos e estimar componentes de variância para caracteres de crescimento, incidência de doenças e precocidade da produção de progênies de meios irmãos de guaranazeiro num experimento conduzido em Maués, Amazonas. Trinta e seis progênies foram avaliadas num delineamento experimental de blocos ao acaso com duas repetições e seis plantas por parcela para os caracteres altura de planta e diâmetro do caule (cm), resistência à antracnose e ao superbrotamento (escala de 0 a 4), e produção de frutos (g). Os componentes de variância, parâmetros e valores genéticos foram estimados pelo procedimento REML/BLUP. Todas as características avaliadas são muito influenciadas pelo ambiente. Os maiores ganhos genéticos para produção precoce (24,5%) são obtidos com a seleção de indivíduos usando tanto a variação entre quanto dentro das progênies, combinadas por meio do BLUP. A média da primeira produção do melhor indivíduo foi 7.720 gramas de frutos, que é cinco vezes maior do que a produtividade média estadual. As melhores condições para seleção são das características altura de plantas, diâmetro do caule e produtividade precoce. A seleção para resistência a antracnose e ao superbrotamento será mais eficiente se realizada em nível de progênies e não entre os indivíduos dentro das progênies.

Termos para indexação: produção precoce, variabilidade genética, melhoramento genético, avaliação de progênies, caracteres de crescimento.



## **PREDICTION OF GENETIC VALUES IN THE JUVENILE PHASE OF HALF SIB PROGENIES OF GUARANA**

**ABSTRACT** – The aim of this study was to estimate the genetic parameters and the variance components of two growth characters, resistance to anthracnose and oversprouting diseases and precocious yield among half sib progenies of guarana in Maués, Amazonas, Brazil. Thirty-six progenies were evaluated in a randomized incomplete block design with two replications and six plants per plot for plant height and stem diameter (cm), resistance to anthracnose and oversprouting (0 to 4 scale), and precocious yield (grams of fresh fruit per plant) in 24 month old plants. The estimation of genetic parameters was done with the Computerized Genetic Selection – SELEGEN-REML/BLUP program. All the characters are strongly influenced by environment. High genetic gains for precocious yield (24.5%) are obtained with the selection of individuals using the variation between and within progenies, combined by BLUP. The best individual precocious yield was 7,720 grams per plant, which is five times higher than average state yield (1,200 g). The best expectations for genetic advance are for plant height, stem diameter and precocious yield. The selection for disease resistance should be realized at the progenies level, not between individuals within progenies.

Index terms: precocious yield, genetic variability, plant breeding, progeny evaluation, growth characters.

### **3.2 INTRODUÇÃO**

O guaranazeiro (*Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke, Sapindaceae) é importante economicamente e socialmente na Amazônia, e no Estado da Bahia. O guaraná possui propriedades medicinais e estimulantes (Smith e Atroch, 2007; Tfouni, 2007). O Brasil é o único produtor mundial de guaraná e atende ao mercado nacional (80%) e internacional (20%). Na segunda metade do século 20, a área de cultivo do guaranazeiro expandiu-se além de seu centro de origem na Amazônia central, com plantios comerciais nos estados do Amazonas, Acre, Pará, Rondônia, Roraima, Bahia e Mato Grosso (Nascimento Filho et al., 2001).

O guaranazeiro foi domesticado pelos povos indígenas Sateré-Maué no norte da região entre os Rios Madeira e Tapajós, na fronteira entre os estados do Amazonas e Pará. O mito da origem conta como a primeira Sateré-Maué encontrou um guaranazeiro verdadeiro (Pereira, 1954), que atualmente sabemos ser um poliplóide (Freitas et al., 2007), provavelmente de origem relativamente recente porque apresenta pouca variabilidade genética quando analisada

com RAPD (Sousa, 2003). A poliploidia é um dos fatores que pode explicar porque o guaranazeiro tem respondido pouco à seleção. No entanto, acredita-se que no guaranazeiro existe variabilidade genética suficiente para seleção de indivíduos superiores com um maior número de características desejáveis (Nascimento Filho et al., 2001). Em relação à abordagem biométrica do guaranazeiro é importante o conhecimento do tipo de ploidia. Se o guaranazeiro é um alopólípide, como acreditamos, mas ainda sem confirmação, a abordagem biométrica é similar aos diplóides. Se o guaranazeiro é um autopolípide, os modelos genéticos empregados serão outros. Neste caso, não é possível estimar a variância genética aditiva e a herdabilidade individual no sentido restrito tendo por base apenas a avaliação de progênies de meios irmãos ou de progênies e filhos (Resende, 2002). Isto porque essas relações de parentesco, no caso de autotetraplóides, contemplam também frações da variância de dominância e não apenas da variância aditiva.

Nascimento Filho (2003) observou que clones mais precoces na formação da copa e com maior número de ramos produzem maiores quantidades de sementes nas primeiras colheitas, mas menores nas posteriores, possivelmente porque ocorre maior drenagem de fotoassimilados para o crescimento vegetativo em detrimento à produção de frutos, principalmente nas condições favoráveis de cultivo. A condição contrária também pode ser observada, o que torna de grande importância o estudo dos caracteres vegetativos e a precocidade da produção em guaranazeiro.

Devido ao longo prazo e altos custos de mão-de-obra e capital dos programas de melhoramento de culturas perenes, como o guaranazeiro, torna-se de grande importância o uso de procedimentos de seleção mais acurados e a seleção de caracteres na fase juvenil que tenham correlação com a produção. A seleção baseada em procedimentos biométricos inadequados pode conduzir ao confundimento entre efeitos genotípicos e ambientais resultando em baixa eficiência da seleção. Nesta situação, o procedimento ótimo de seleção é o que envolve a estimação de componentes de variância pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição dos valores genotípicos pela melhor predição linear não viciada (BLUP), não confundindo os efeitos genotípicos e ambientais (Resende, 2002). Este procedimento vem sendo aplicado com alta eficiência no melhoramento de espécies florestais (Resende et al., 1996), fruteiras (Resende e Dias, 2000; Farias Neto e Resende, 2001; Paiva et al., 2001; 2002) e do guaranazeiro (Atroch et al., 2004).

O método de modelos mistos ou BLUP individual (Resende et al., 1996; Resende e Fernandes, 1999) introduziu modificações na estimação de componentes de variância e de parâmetros genéticos. Anteriormente, as covariâncias entre parentes eram estimadas e

interpretadas em termos de suas esperanças matemáticas. Atualmente, os componentes de variância são estimados diretamente como as variâncias dos efeitos aleatórios do modelo linear misto. O procedimento BLUP ajusta os dados para os efeitos ambientais identificáveis (bloco, ano de medição, local de plantio, etc.) e simultaneamente prediz os valores genéticos dos indivíduos (Resende, 2002).

O método da máxima verossimilhança restrita (REML) é uma das metodologias mais difundidas para a estimativa de parâmetros genéticos. Este método, em conjunto com a predição de valores genéticos por meio do BLUP, permite melhores avaliações na presença de dados desbalanceados (Searle et al., 1992), aspecto comum no melhoramento de espécies perenes como o guaranazeiro.

Este trabalho teve como objetivo prever valores genéticos e estimar componentes de variância para caracteres de crescimento, incidência de antracnose e superbrotamento, e produção inicial em progênies de meios irmãos de guaranazeiro utilizando a metodologia REML/BLUP. As variáveis altura de plantas e diâmetro do caule são de grande importância na formação precoce da copa e adaptação ao campo (Nascimento Filho, 1988), e poderiam ser usados futuramente para estimar biomassa vegetativa para comparar com produtividade.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em abril de 2003 no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental em Maués, Amazonas, num Latossolo Amarelo muito argiloso de baixa fertilidade natural. O clima, conforme classificação de Köppen é do tipo Af, ou seja, clima tropical chuvoso, com temperatura média anual de 25,5°C, média das máximas de 30,6°C e média das mínimas de 21,3°C, precipitação pluviométrica média anual de 2070 mm e umidade relativa do ar média de 90 %. A adubação e os tratamentos culturais foram aplicados de acordo com Embrapa (1998).

Foram avaliadas 36 progênies de meios irmãos de guaranazeiro, em delineamento experimental de blocos ao acaso com duas repetições e seis plantas por parcela, dispostas em duas fileiras de três plantas, no espaçamento de 5 m x 5 m. A altura de plantas e o diâmetro do caule (cm), a resistência à antracnose e ao superbrotamento (escala de severidade de incidência de 0 a 4) (Pereira et al., 2005a), e a produção inicial de frutos por planta (g) foram avaliados aos 24 meses após o plantio. As notas das variáveis antracnose e superbrotamento foram tomadas por três avaliadores, ou seja, são médias de três repetições, não havendo necessidade da transformação dos dados.

Foram estimados componentes de variância, parâmetros genéticos e valores genéticos pelo procedimento REML/BLUP utilizando o programa Seleção Genética Computadorizada – SELEGEN-REML/BLUP (Resende, 2007).

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis de crescimento altura de plantas e diâmetro do caule tiveram distribuições de frequência normal (Figura 1) e foram muito influenciadas pelo ambiente (Tabela 1). Os valores da herdabilidade em nível da média de progênes foram superiores aos da herdabilidade individual no sentido restrito para ambas as características. O maior valor de herdabilidade da média de progênes foi verificado para diâmetro do caule (0,61), seguida da altura de plantas (0,54). O maior valor de herdabilidade individual no sentido restrito foi verificado para diâmetro do caule (0,52). A herdabilidade aditiva dentro de progênie foi maior na característica diâmetro do caule (0,46). A acurácia da seleção de progênes foi maior para o caráter diâmetro do caule (0,78). Os coeficientes de variação relativa (Tabela 1) indicam uma situação favorável à seleção para altura de plantas e diâmetro do caule.

As doenças antracnose e superbrotamento foram muito influenciadas pelo ambiente e, em todos os níveis, os valores de herdabilidade foram baixos. Em relação aos coeficientes de variação genética aditiva individual, de variação entre progênes e de variação relativa essas variáveis apresentaram valores baixos, em contrapartida o coeficiente de variação residual apresentou valores médios para ambas as características, e as baixas acurácias obtidas mostram uma grande distância entre os valores genéticos preditos e os valores genéticos verdadeiros indicando situação desfavorável para seleção aos 24 meses após o plantio (Tabela 1).

A característica produção inicial foi muito influenciada pelo ambiente. Os valores para as herdabilidades individual no sentido restrito, da média de progênes e aditiva dentro de progênes foram considerados baixos. A acurácia da seleção de progênes foi de 0,68, ou seja, os valores genéticos preditos estão medianamente próximos dos verdadeiros valores genéticos da produção inicial. Os coeficientes de variação genética aditiva individual, de variação genética entre progênes e de variação residual são considerados altos, entretanto o coeficiente de variação relativa é médio (Tabela 1). Atroch e Nascimento Filho (2005) classificaram o coeficiente de variação experimental (residual) para o guaranazeiro em relação à variável produção, e de acordo com sua classificação o coeficiente de variação residual de 39,1% para produção inicial é considerado de média magnitude, o que sugere que a característica produção inicial não responde à seleção.

Acurácias acima de 90% são desejáveis para obter-se uma boa seleção para produção; a exceção é para caracteres de alta herdabilidade que admitem acurácias menores de 90% (Resende e Duarte, 2007). Assim, a seleção inicial no guaranazeiro é indicada para a obtenção de plantas mais vigorosas e que por conseqüência adaptam-se melhor a ambientes desfavoráveis, não sendo propícia para identificar plantas resistentes a doenças e nem produtivas. Somente com mais anos de avaliação isso é possível. Em clones de guaranazeiro, Atroch et al. (2004) recomendam, no mínimo, 5 safras consecutivas para maximizar a acurácia seletiva e plantas oriundas de propagação sexual deveriam requerer mais tempo.

Os indivíduos foram classificados pelo efeito genético aditivo predito (Tabela 2), sendo que, para as características altura de plantas, diâmetro do caule e produção inicial, a seleção é positiva, e para antracnose e superbrotamento, a seleção é negativa. Neste caso, na escala de severidade das doenças, os menores valores indicam maior resistência. Assim, os baixos valores para antracnose e superbrotamento são desejados, pois indicam que a população apresenta alta resistência.

O caráter mais importante é produção precoce, e o destaque foi o indivíduo 1-26-1 (Tabela 2) com uma produção de 7720 gramas/planta, com um efeito genético aditivo predito de 1894 gramas/planta. Com a seleção dos 10 melhores indivíduos a produção inicial da população de 1286,71 gramas/planta (Tabela 1) aumentaria para 2244,46 gramas/planta (Tabela 2). Apesar de Nascimento Filho (2003) afirmar que produção precoce não está correlacionada com a produção da planta adulta, porque poderia ocorrer drenagem de fotoassimilados com o crescimento vegetativo em detrimento da produção de frutos nas colheitas posteriores, essas produções são cinco vezes maiores do que a produtividade estadual (1200 gramas/planta) e igual à dos melhores clones de guaranazeiro recomendados pela Embrapa Amazônia Ocidental.

Os maiores ganhos genéticos para produção precoce (24,5%) são obtidos com a seleção de indivíduos, usando tanto a variação entre quanto dentro das progênies, combinadas por meio do BLUP (Tabela 3).

Em relação às características altura de plantas e diâmetro do caule, os indivíduos 2-9-4 e 1-8-5, respectivamente, foram os que apresentaram maiores efeitos genéticos aditivos preditos. No entanto, seleção para plantas grandes não é recomendável, devido problemas de auto-sombreamento, tombamento e dificuldades na colheita, mesmo que seja a forma mais fácil para obter maior produtividade (Donald, 1962). A seleção para altura de plantas e diâmetro do caule pode ser realizada em nível de indivíduos e em nível de progênies.

Por outro lado, os resultados dos efeitos genéticos aditivos preditos para a resistência às doenças antracnose e superbrotamento foram baixos, indicando que a seleção não será eficiente para essas características, pois praticamente não haverá ganho genético.

De acordo com Pereira et al. (2005a) a utilização da resistência através do melhoramento genético é o método mais viável do ponto de vista econômico e sócio-ambiental para o controle de doenças de plantas. No guaranazeiro a doença antracnose apresenta-se em surtos, principalmente em épocas chuvosas, e a utilização pelos produtores de material não selecionado, altamente suscetível a doença, é a causa principal da ocorrência desses surtos da doença (Pereira et al., 2005b), independente da fase de desenvolvimento da cultura.

A seleção de progênies pelos efeitos genéticos aditivos preditos para antracnose e superbrotamento identificou seis progênies (36, 30, 21, 34, 33 e 28) que apresentaram resistência a ambas as doenças aos 24 meses após o plantio (Tabela 3). Para antracnose, os maiores ganhos genéticos são obtidos com a seleção das progênies 36 e 30, que diminuem a média da população para 1,59. No caso do superbrotamento os maiores ganhos são obtidos com a seleção das progênies 33 e 3, que diminuem a média da população para 1,67, porém a progênie 3 não apresentou ganho para antracnose. Nenhuma das progênies que proporcionam ganhos simultâneos para antracnose e superbrotamento está entre as dez progênies selecionadas com base na produção precoce de frutos, onde se destacou a progênie 26, a qual apresentou maior efeito genético aditivo predito, aumentando a média da população para 2353g (Tabela 3). A seleção para as doenças antracnose e superbrotamento deve ser realizada em nível de progênies e não entre os indivíduos dentro das progênies.

### 3.5 CONCLUSÃO

As melhores condições para seleção são das características altura de plantas, diâmetro do caule e produção precoce. A seleção para altura de plantas e diâmetro do caule pode ser realizada em nível de indivíduos e em nível de progênies. Os maiores ganhos genéticos para produção precoce (24,5%) são obtidos com a seleção de indivíduos, usando tanto a variação entre quanto dentro das progênies, combinadas por meio do BLUP. A seleção para as doenças antracnose e superbrotamento deve ser realizada em nível de progênies e não entre os indivíduos dentro das progênies.

### 3.6 REFERÊNCIAS

- ATROCH, A.L.; RESENDE, M.D.V.; NASCIMENTO FILHO, F.J. Seleção clonal em guaranazeiro via metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP). **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n.41, p.193-201, 2004.
- ATROCH, A.L.; NASCIMENTO FILHO, F.J. do. Classificação do coeficiente de variação na cultura do guaranazeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n.43, p.43-48, 2005.
- DONALD, C.M. In search of yield. **Australian Journal of Agricultural Sciences**, Sidney, n.10, p171-178, 1962.
- EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental. **Sistema de produção para guaraná**. 3ª ed. Manaus, 1998. 34p. (EMBRAPA-CPAA. Documentos, 13).
- FARIAS NETO, J.T; RESENDE, M.D.V. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos em pupunheira (*Bactris gasipaes* K.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.320-324, 2001.
- FREITAS, D.B., CARVALHO, C.R., NASCIMENTO FILHO, F.J., ASTOLFI FILHO, S. Karyotype with 210 chromosomes in guaraná (*Paullinia cupana* ‘Sorbilis’). **Journal of Plant Research**, Berlin, v.120, p.399–404, 2007.
- NASCIMENTO FILHO, F.J. **Coeficientes de caminhamento entre caracteres da parte aérea e do sistema radicular em guaraná “(Paullinia cupana var. sorbilis)”**. Piracicaba: ESALQ, 1988. 101p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- NASCIMENTO FILHO, F.J.; GARCIA, T.B.; SOUSA, N.R.; ATROCH, A.L. Recursos genéticos de guaraná. Organizado por: Nelcimar Reis de Sousa; Aparecida das Graças Claret de Souza. **Recursos fitogenéticos na Amazônia Ocidental**. 1 ed., Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2001, v.1, p.128-141.
- NASCIMENTO FILHO, F.J. **Interação genótipos x ambientes, adaptabilidade, estabilidade e repetibilidade em clones de guaraná (Paullinia cupana var. sorbilis (Mart.) Ducke)**. Viçosa: UFV, 2003. 199p. (Tese – Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- PAIVA, J.R.; RESENDE, M.D.V.; CORDEIRO, E.R. Avaliação do número de colheitas na produção de progênies de acerola, repetibilidade e herdabilidade de caracteres. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.1, p.102-107, 2001.
- PAIVA, J.R.; RESENDE, M.D.V.; CORDEIRO, E.R. Índice multi-efeitos (BLUP) e estimativas de parâmetros genéticos aplicados ao melhoramento da acerola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p.799 – 807, 2002.
- PEREIRA, N. **Os Índios Maués**. Organização Simões, Rio de Janeiro. 1954.
- PEREIRA, J. C. R.; ARAÚJO, J. C. A.; NASCIMENTO FILHO, F. J.; ATROCH, A. L.; GASPAROTTO, L.; ARRUDA, M. R.; SANTOS, L. P. 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. 2005a.
- PEREIRA, J. C. R.; ARAÚJO, J. C. A.; NASCIMENTO FILHO, F. J.; ATROCH, A. L.; GASPAROTTO, L.; ARRUDA, M. R.; SANTOS, L. P. 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. 2005b.

RESENDE, M.D.V.; PRATES, D.F.; JESUS, A.; YAMADA, C.K. Estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e melhor predição linear não viciada (BLUP) em *Pinus*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 32/33, p. 18-45, jan./dez. 1996.

RESENDE, M.D.V.; FERNANDES, J.S.C. Procedimento BLUP individual para delineamentos experimentais aplicados ao melhoramento florestal. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v.17, p.89-107, 1999.

RESENDE, M.D.V.; DIAS, L.A.S. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos em espécies frutíferas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 44 – 52, 2000.

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

RESENDE, M.D.V. **Selegen–Reml/Blup: Sistema Estatístico e Seleção Genética Computadorizada via Modelos Lineares Mistos.** Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 361p.

RESENDE, M.D.V.; BARBOSA, M.H.P. Selection via simulated individual BLUP based on family genotypic effects in sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.421-429, 2006.

RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v.37, n.3, p.182-194, 2007.

SEARLE, S.R.; CASELLA, G.; McCULLOCH, C.E. **Variance components.** New York: J. Wiley, 1992. 528p.

SMITH, N.; ATROCH, A.L. Guarana's journey from regional tonic to aphrodisiac and global energy drink. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, Oxford, n.5, 2007. eCAM, doi:10.1093/ecam/nem162.

SOUSA, N. R. **Variabilidade genética e estimativas de parâmetros genéticos em germoplasma de guaranazeiro.** Lavras: UFLA, 2003. 99p. (Tese – Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).

TFOUNI, S.A.V.; CAMARGO, M.C.R.; VITORINO, S.H.P.; MENEGÁRIO, T.F.; TOLEDO, M.C.F. Contribuição do guaraná em pó (*Paullinia cupana*) como fonte de cafeína na dieta. **Rev. Nutr.**, Campinas, v.20, n.1, p.63-68, 2007.



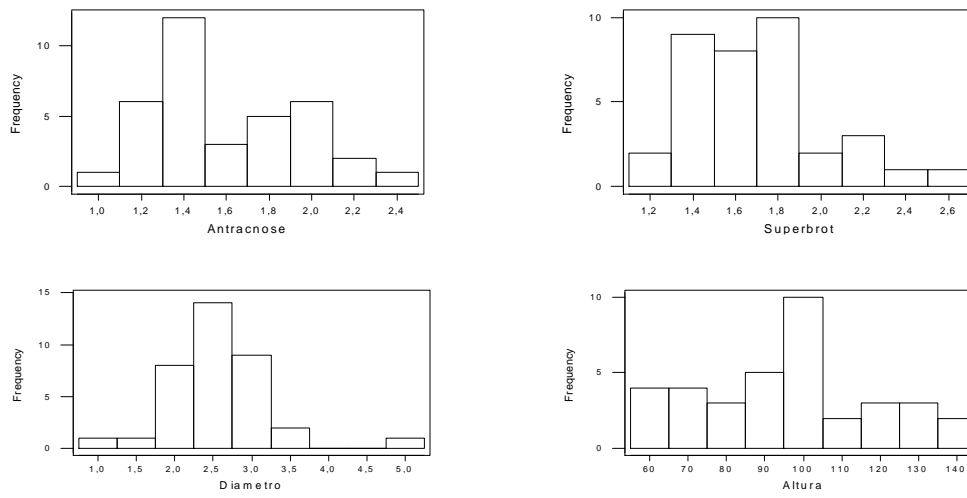


Figura 1: Histogramas de frequência das variáveis antracnose, superbrotamento, diâmetro do caule e altura de plantas.

Tabela 1. Componentes de variância, parâmetros genéticos e fenotípicos dos caracteres altura de plantas, diâmetro do caule, antracnose, superbrotamento e produção inicial estimados em 36 progênies de meios irmãos de guaranazeiro aos 24 meses após o plantio em Maués, Amazonas. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009.

Componentes de Variância	Altura de plantas (cm)	Diâmetro do Caule (cm)	Antracnose (0-4)	Superbrotamento (0-4)	Produção Inicial (g/planta)
Variância genética aditiva	1886,62	0,84	0,01	0,005	449697,24
Variância residual	2979,20	0,75	0,49	0,63	1127225,61
Variância fenotípica individual	4939,28	1,63	0,60	0,73	1585956,18
Herdabilidade individual no sentido restrito	0,38	0,52	0,023	0,007	0,28
Herdabilidade da media de progênies	0,54	0,61	0,039	0,012	0,47
Herdabilidade aditiva dentro de progênies	0,32	0,46	0,021	0,006	0,23
Acurácia da seleção de progênies	0,73	0,78	0,19	0,11	0,68
Coefficiente de variação genética aditiva individual	25,98	23,19	5,81	3,58	52,11
Coefficiente de variação genética entre progênies	12,99	11,59	2,91	1,79	26,05
Coefficiente de variação residual	16,98	12,98	20,49	22,63	39,10
Coefficiente de variação relativa	0,76	0,89	0,14	0,07	0,66
Média geral do experimento	167,17	3,97	2,05	2,01	1286,71

Tabela 2. Estimativas dos componentes de médias, por meio do procedimento BLUP, valor fenotípico individual, efeito genético aditivo predito, valor genético aditivo predito, tamanho efetivo populacional, efeito genético de dominância predito e efeito genotípico predito, dos 10 melhores indivíduos do experimento em 36 progênies de meios irmãos de guaranazeiro aos 24 meses após o plantio em Maués, Amazonas. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009.

ALTURA DE PLANTAS (cm)										
Bloco	Progênie	Planta	Valor fenotípico	Efeito genético aditivo predito	Valor genético aditivo predito	Ganho	Nova Média	Tamanho efetivo populacional	Efeito genético de dominância predito	Efeito genotípico predito
2	9	4	376,00	74,51	241,67	74,51	241,67	1,00	37,46	111,97
1	13	4	330,00	70,12	237,29	72,31	239,48	2,00	34,48	104,61
2	21	6	332,00	62,76	229,93	69,13	236,30	3,00	26,32	89,09
2	7	3	320,00	62,59	229,76	67,49	234,67	4,00	23,03	85,62
2	10	1	322,00	61,11	228,28	66,22	233,39	5,00	24,20	85,32
1	10	1	287,00	59,72	226,88	65,13	232,31	5,49	23,27	82,99
2	7	2	300,00	56,15	223,32	63,85	231,02	6,06	18,74	74,89
1	8	5	298,00	55,72	222,89	62,84	230,00	7,05	27,65	83,37
1	21	2	273,00	54,79	221,96	61,94	229,11	7,65	21,00	75,80
1	9	5	282,00	53,63	220,80	61,11	228,28	8,28	23,54	77,17
DIÂMETRO DO CAULE (mm)										
1	8	5	7,30	1,76	5,74	1,76	5,74	1,00	0,80	2,57
1	27	5	7,10	1,69	5,67	1,73	5,70	2,00	0,78	2,48
1	19	3	7,90	1,65	5,62	1,70	5,67	3,00	1,26	2,92
2	27	6	6,70	1,51	5,48	1,66	5,62	3,49	0,66	2,17
1	10	1	6,70	1,50	5,47	1,62	5,59	4,49	0,67	2,18
1	7	3	6,60	1,46	5,43	1,59	5,56	5,49	0,62	2,08
2	21	1	6,80	1,42	5,39	1,57	5,54	6,49	0,77	2,20
2	7	2	6,40	1,39	5,37	1,55	5,52	7,05	0,57	1,97
2	10	1	6,40	1,36	5,32	1,53	5,50	7,66	0,58	1,94
2	20	4	6,40	1,32	5,29	1,51	5,48	8,64	0,62	1,95
RESISTÊNCIA AO SUPERBROTAMENTO (0-4)										
1	7	5	1,00	-0,01	2,00	0,0002	2,01	85,99	-0,003	-0,0145
1	7	3	1,00	-0,01	2,00	0,0003	2,01	85,91	-0,0037	-0,0145
1	7	1	1,00	-0,01	2,00	0,0003	2,01	85,76	-0,0037	-0,0145
1	30	5	1,00	-0,01	2,00	0,0004	2,01	85,52	-0,0032	-0,0141
1	30	4	1,00	-0,01	2,00	0,0005	2,01	85,20	-0,0032	-0,0141
1	30	3	1,00	-0,01	2,00	0,0005	2,01	84,79	-0,0032	-0,0141
2	30	5	1,00	-0,01	2,00	0,0006	2,01	84,30	-0,0031	-0,0138
2	26	3	1,00	-0,01	2,00	0,0006	2,01	83,73	-0,0034	-0,0139
2	26	2	1,00	-0,01	2,00	0,0007	2,01	83,58	-0,0034	-0,0139
1	26	6	1,00	-0,01	2,00	0,0007	2,01	83,34	-0,0031	-0,0132
RESISTÊNCIA À ANTRACNOSE (0-4)										
1	30	4	1,00	-0,04	2,01	0,0005	2,05	97,46	-0,0126	-0,0534
1	30	3	1,00	-0,04	2,01	0,0006	2,05	97,24	-0,0126	-0,0534
2	30	5	1,00	-0,03	2,02	0,0008	2,05	96,96	-0,0085	-0,0430
2	30	4	1,00	-0,03	2,02	0,0009	2,05	96,62	-0,0085	-0,0430
2	30	2	1,00	-0,03	2,02	0,0010	2,05	96,22	-0,0085	-0,0430
2	30	1	1,00	-0,03	2,02	0,0012	2,05	95,77	-0,0085	-0,0430
2	33	4	1,00	-0,03	2,02	0,0013	2,05	95,25	-0,0130	-0,0469
2	33	2	1,00	-0,03	2,02	0,0014	2,05	95,03	-0,0130	-0,0469
1	21	5	1,00	-0,03	2,02	0,0015	2,05	94,75	-0,0128	-0,0450
1	21	2	1,00	-0,03	2,02	0,0017	2,05	94,65	-0,0128	-0,0450
PRODUÇÃO INICIAL (g de frutos/planta)										
1	26	1	7720,00	1894,34	3181,05	1894,34	3181,05	1,00	907,25	2801,59
2	10	1	4890,00	1013,26	2299,97	1453,80	2740,51	2,00	503,87	1517,13
2	4	5	4610,00	956,88	2243,58	1288,16	2574,87	3,00	456,51	1413,39
1	10	1	4420,00	929,72	2216,43	1198,55	2485,26	3,49	448,18	1377,90
2	4	4	4280,00	880,88	2167,58	1135,02	2421,72	4,11	405,85	1286,73
2	13	5	4770,00	867,74	2154,44	1090,47	2377,18	5,08	509,78	1377,52
2	26	3	3240,00	848,41	2135,12	1055,89	2342,59	5,72	209,96	1058,38
2	22	4	4170,00	838,21	2124,92	1028,68	2315,39	6,68	395,84	1234,05
2	26	2	2520,00	682,59	1969,30	990,23	2276,93	6,94	99,42	782,02
2	10	3	3380,00	665,51	1952,22	957,75	2244,46	7,27	272,04	937,55

Tabela 3. Seleção dos 10 melhores progênies de guaranazeiro para resistência à antracnose e ao superbrotamento e para precocidade de produção inicial estimados num experimento de 36 progênies de meios irmãos de guaranazeiro aos 24 meses após o plantio no campo em Maués, Amazonas. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009.

Resistência à Antracnose <sup>1</sup>			
(0-4)			
Progênie	Efeito genético aditivo predito	Ganho	Nova Média
36 <sup>1,2</sup>	-0,0103	0,0000	1,5924
30 <sup>1,2</sup>	-0,0074	0,0003	1,5927
25	-0,0072	0,0005	1,5929
18	-0,0070	0,0008	1,5932
21 <sup>1,2</sup>	-0,0069	0,0010	1,5934
34 <sup>1,2</sup>	-0,0068	0,0012	1,5937
33 <sup>1,2</sup>	-0,0061	0,0015	1,5939
28 <sup>1,2</sup>	-0,0058	0,0018	1,5942
8	-0,0058	0,0021	1,5945
16	-0,0054	0,0023	1,5948
Resistência ao Superbrotamento <sup>2</sup>			
(0-4)			
Progênie	Efeito genético aditivo predito	Ganho	Nova Média
33	-0,0107	0,0000	1,6709
3	-0,0092	0,0003	1,6712
30	-0,0082	0,0006	1,6715
21	-0,0076	0,0009	1,6717
34	-0,0073	0,0011	1,6720
28	-0,0065	0,0014	1,6723
7	-0,0065	0,0016	1,6725
36	-0,0062	0,0019	1,6728
1	-0,0062	0,0022	1,6731
4	-0,0051	0,0025	1,6734
Primeira Produção (g de frutos/planta)			
Progênie	Efeito genético aditivo predito	Ganho	Nova Média
26	1066,63	1066,63	2353,64
4	544,22	805,58	2092,28
10	514,91	708,69	1995,39
22	488,90	653,74	1940,45
32	316,75	586,34	1873,05
6	292,12	537,31	1824,01
15	273,48	499,62	1786,32
24	217,92	464,41	1751,11
23	210,87	436,24	1722,94
13	206,12	413,22	1699,93

<sup>1,2</sup>- Progênies selecionadas quanto à resistência a ambas as doenças.

## 4. CAPÍTULO II

### 4.1 TÍTULO: AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE MEIOS IRMÃOS DE GUARANAZEIRO

RESUMO - Este trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade genética, estimar parâmetros genéticos e fenotípicos, e prever valores genéticos dos indivíduos de guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) num experimento conduzido em Maués, Amazonas. Trinta e seis progênies foram avaliadas para 10 caracteres morfo-agronômicos, incluindo resistência às doenças antracnose e superbrotação e produção de frutos, em três safras consecutivas, num delineamento experimental de blocos ao acaso com duas repetições e seis plantas por parcela. Os componentes de variância, parâmetros e valores genéticos e fenotípicos foram estimados pelo procedimento REML/BLUP. A estratégia de seleção de progênies envolvendo todos os caracteres morfo-agronômicos mostrou-se ser a mais eficiente no que concerne aos ganhos genéticos da ordem de 100%, devendo ser adotada no programa de melhoramento genético do guaranazeiro. Por outro lado, a seleção de indivíduos para produção de sementes e para composição de população de melhoramento deve ser mais bem avaliada, por mais quatro anos, pois os ganhos genéticos atuais, variando de 1,38% a 2,58%, não permitem uma tomada de decisão segura.

Termos para indexação: variabilidade genética, melhoramento genético, avaliação de progênies, ganho genético.

### EVALUATION AND SELECTION OF HALF SIB PROGENIES OF GUARANA

ABSTRACT – The aim of this study was to estimate the genetic parameters and the variance components of ten morfo-agronomic characters, including resistance to anthracnose and oversprouting diseases and yield (grams of fresh fruit per plant), among half sib progenies of guarana in Maués, Amazonas, Brazil. Thirty-six progenies were evaluated in a randomized incomplete block design with two replicates and six plants per plot in three consecutive harvests. The estimation of genetic parameters was done with the Computerized Genetic Selection – SELEGEN-REML/BLUP program. The strategy of progeny selection involving all the characters proved to be most efficient with respect to the genetic gain of nearly 100%, and should be adopted in the guarana breeding program. On the other hand, the selection of individuals for seed production and composition of the improvement population must be evaluated for four more years, since the current estimates of genetic gain, varying from 1.38% to 2.58%, do not allow secure decisions.

Index terms: genetic variability, plant breeding, progeny evaluation, genetic gain.

## 4.2 INTRODUÇÃO

O guaranazeiro (*Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke, Sapindaceae) é importante econômica e socialmente na Amazônia brasileira, e no Estado da Bahia por suas propriedades medicinais e estimulantes (Smith e Atroch, 2007; Tfouni, 2007). O Brasil é o único produtor mundial de guaraná e atende ao mercado nacional (80 % da produção) e internacional. Na segunda metade do século 20 a área de cultivo do guaranazeiro expandiu-se além de seu centro de origem na Amazônia central, com plantios comerciais nos estados do Amazonas, Acre, Pará, Rondônia, Bahia e Mato Grosso (Nascimento Filho e Atroch, 2002).

No guaranazeiro o ciclo de melhoramento, que compreende a seleção de genitores, seleção de indivíduos para reprodução sexuada (progênies) e reprodução assexuada (clones), obtenção de sementes de polinização aberta e recomendação de clones para plantio em escala comercial, pode demorar de 20 a 30 anos. Desse modo, é de grande importância o conhecimento da variabilidade fenotípica e genotípica, e da herança de caracteres de interesse para o melhorista para a escolha dos métodos mais adequados na seleção de plantas, tanto na fase juvenil quanto na fase adulta.

Os testes de progênies são úteis ao melhorista para conhecer a magnitude e a natureza da variância genética disponível visando quantificar os ganhos com a seleção e prever o melhor método de seleção a ser utilizado no melhoramento. Nesses testes são discriminados indivíduos superiores para o novo ciclo de melhoramento baseado nas estimativas dos parâmetros genéticos (Rezende, 2002; Cruz e Regazzi, 2004).

As pesquisas com progênies de guaranazeiro foram retomadas em 2003 com a implantação do experimento deste trabalho, após um período bem sucedido de competição e recomendação de clones (Nascimento Filho e Atroch, 2002). O método de melhoramento empregado é a seleção recorrente com teste de progênies de meios irmãos.

Com a descoberta recente da poliploidia no guaranazeiro (Freitas et al., 2007), provavelmente de origem relativamente recente, entende-se porque o guaranazeiro apresenta pouca variabilidade genética, quando analisada com RAPD (Sousa, 2003), e morfo-agronômica, quando analisada com a distância euclidiana média (Nascimento Filho et al., 2001). No entanto, acredita-se que no guaranazeiro existe a variabilidade genética suficiente para seleção de indivíduos superiores desde que sejam envolvidos um maior número de características desejáveis, como ocorre com outros cultivos poliplóides, como em citrus (Oliveira et al., 2002) e pimenta do reino (Gaia et al., 1998).

O uso de modelos mistos REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada) (Resende, 2002) vem sendo aplicado com alta eficiência no melhoramento de espécies florestais (Resende et al., 1996), fruteiras (Resende e Dias, 2000; Farias Neto e Resende, 2001; Paiva et al., 2001; 2002) e em clones de guaranazeiro (Atroch et al., 2004). Nesse modelo a seleção é baseada em procedimentos biométricos que não confundem os efeitos genotípicos e ambientais.

Uma das maneiras de se aumentar a chance de êxito de um programa de melhoramento é por meio da seleção simultânea de um conjunto de caracteres de importância econômica. Para isso, a utilização de índices de seleção é uma alternativa eficiente, pois permite combinar as múltiplas informações contidas na unidade experimental de modo que seja possível a seleção com base no conjunto de variáveis (Cruz e Regazzi, 2004). No guaranazeiro, portanto, a construção de um índice de seleção é uma ferramenta que auxilia na tomada de decisão (Nascimento Filho e Atroch, 2002). Vale ressaltar que o número de variáveis é de grande importância na construção do índice, pois quanto menor o número de caracteres utilizados no índice menor será sua eficiência (Resende, 2002).

Existem várias propostas para obtenção de índices de seleção. De modo geral, há métodos que se caracterizam pela necessidade de estimar variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas, e de estabelecer pesos econômicos relativos aos vários caracteres (Hazel, 1943). Por outro lado, Williams (1962) sugeriu ponderar os valores fenotípicos pelos seus respectivos pesos econômicos, evitando desta forma a interferência das imprecisões das matrizes de variâncias e covariâncias. O índice de Mulamba e Mock (1978) caracteriza-se por eliminar a necessidade de estabelecer pesos econômicos e estimar variâncias e covariâncias.

Este trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade fenotípica, estimar parâmetros genéticos e fenotípicos, prever valores genéticos, estabelecer correlações genéticas entre os caracteres e construir um índice de seleção dos indivíduos de guaranazeiro num experimento de progênies de meios irmãos conduzido pela Embrapa Amazônia Ocidental, em Maués, Amazonas.

### **4.3 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi implantado em abril de 2003 no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental em Maués, Amazonas, num Latossolo Amarelo muito argiloso de baixa fertilidade natural. O clima, conforme classificação de Köppen é do tipo Af, tropical chuvoso, com temperatura média anual de 25,5°C, média das máximas de 30,6°C e média das mínimas

de 21,3°C, precipitação pluviométrica média anual de 2070 mm e umidade média relativa do ar de 90 %. A adubação e os tratos culturais foram aplicados de acordo com Embrapa (1998).

Foram avaliadas 36 progênies de meios irmãos de guaranazeiro, em delineamento experimental de blocos ao acaso com duas repetições e seis plantas por parcela, dispostas em duas fileiras de três plantas, no espaçamento de 5 m x 5 m. Essas progênies foram obtidas de plantas provenientes de ensaios de competição de progênies e de ensaios de competição de clones avaliados pela Embrapa Amazônia Ocidental durante, no mínimo, cinco anos, nos quais foram selecionadas como matrizes (genitor feminino) as melhores plantas individuais quanto à produção e resistência a doenças.

A altura de plantas, número de folhas, número de ramos e o diâmetro do caule (cm), a resistência à antracnose e ao superbrotamento (escala de severidade de incidência de 0 a 4) (Pereira et al., 2005), e a produção inicial de frutos por planta (g) (ano de 2005) foram avaliados aos 24 meses após o plantio. As notas das variáveis antracnose e superbrotamento foram tomadas por três avaliadores, ou seja, são médias de três repetições, não havendo necessidade da transformação dos dados. As variáveis altura de plantas e diâmetro do caule são de grande importância na formação precoce da copa e adaptação ao campo (Nascimento Filho, 1988), e poderiam ser usados futuramente para estimar biomassa vegetativa para comparar com produtividade. Com a finalidade de avaliar o potencial produtivo das progênies, a produção de frutos (em gramas de frutos frescos por planta) foi medida em três anos consecutivos, 2006, 2007 e 2008.

Foram estimados componentes de variância, parâmetros genéticos e valores genéticos pelo procedimento REML/BLUP, usando o programa Seleção Genética Computadorizada – SELEGEN-REML/BLUP (Resende, 2007). A partir dos valores genéticos aditivos foram propostas duas estratégias de seleção: em curto prazo, com a seleção dos 20 melhores indivíduos com a finalidade de produção de sementes; e em longo prazo, com 50 indivíduos para compor a população de melhoramento. Foram estimadas *m* medidas conforme Resende (2002) para obter o real valor das progênies, em termos de produção de frutos, com a máxima eficiência. As correlações genéticas foram estimadas entre todos os caracteres morfo-agronômicos avaliados neste trabalho, conforme Resende (2002).

Finalmente, foi realizada a análise com o índice de seleção Mulamba-Rank (Resende, 2002) envolvendo as dez características morfo-agronômicas, inclusive a produção da fase juvenil.

Todas as análises foram realizadas utilizando o programa Seleção Genética Computadorizada – SELEGEN-REML/BLUP (Resende, 2007).



#### 4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou diferença significativa entre os blocos ( $p < 0,05$ ) para o caráter produção de frutos ao longo de três anos, o que demonstra a necessidade do delineamento utilizado para controlar as diferenças no gradiente de fertilidade do solo da área experimental. Houve diferença significativa entre as progênies ( $p < 0,05$ ), indicando a existência de variabilidade a ser explorada no programa de melhoramento. A fonte de variação anos também foi significativa ( $p < 0,01$ ), indicando seu efeito na produção de frutos do guaranazeiro, especialmente que a produção está aumentando e ainda não alcançou seu pico (Figura 1). A interação das progênies com os anos foi não significativa, ou seja, não houve troca de classificação entre as progênies de um ano para outro. A existência de interação genótipos x ambientes é comum no guaranazeiro (Nascimento Filho et al., 2000; Nascimento Filho, 2003), mas sua ausência nesse ensaio facilitará a identificação das melhores progênies.

A produtividade média dos três anos ( $5417 \pm 4930$  gramas de frutos por planta) é considerada alta, principalmente se considerarmos que a produção máxima do experimento ainda não foi atingida, o que deve acontecer a partir do quinto ou sexto ano de cultivo (Nascimento Filho, 2003; Atroch et al., 2004). As produtividades médias alcançadas pelos ensaios com clones são de 4195 gramas de frutos por planta (Atroch e Nascimento Filho, 2001) a 4523 gramas de frutos por planta (Nascimento Filho et al., 2000).

O coeficiente de variação experimental de 91,55% é alto (Atroch e Nascimento Filho, 2005). O erro experimental é influenciado, e conseqüentemente o coeficiente de variação, por diversos fatores, como: o tamanho das parcelas, o número de repetições, a heterogeneidade dos solos, a cultura e a variável estudados (Estefanel et al., 1987). Em experimentos com plantas frutíferas, o tamanho das parcelas é grande e o número de repetições geralmente é pequeno, o que reduz a precisão do experimento (Pimentel-Gomes, 1991). Por esses motivos são esperados maiores coeficientes de variação na cultura do guaranazeiro (Atroch e Nascimento Filho, 2005).

O caráter produção de frutos revelou variabilidade genética suficiente para utilização no programa de melhoramento (Tabela 2). Embora o valor da herdabilidade individual no sentido restrito tenha sido muito baixo, fato comum em caracteres quantitativos como produtividade, conduz, via de regra, a um valor de magnitude moderada da herdabilidade em nível de médias de progênies (Resende, 2002). Os valores das herdabilidades em nível de médias de progênies para cada ano são maiores do que os valores das herdabilidades

individuais no sentido restrito e das herdabilidades aditivas dentro de progênies (Tabela 3), indicando que a seleção para produção deve ser realizada em nível de progênies.

Por outro lado, a repetibilidade individual foi de média magnitude (Tabela 2), e representa a proporção da variância fenotípica total de um caráter que é explicada por diferenças permanentes entre indivíduos (Chapman, 1985). Estas diferenças são ocasionadas por variações proporcionadas pelo genótipo e pelas alterações permanentes atribuídas ao ambiente comum, sendo uma correlação intraclasses fenotípica (Resende, 2002). Enquanto que a herdabilidade refere-se à regressão do valor genético aditivo, no caso da herdabilidade no sentido restrito, e do valor genotípico, no caso de herdabilidade no sentido amplo, sobre o valor fenotípico (Resende, 2002).

O coeficiente de determinação dos efeitos de parcela foi baixo (Tabela 2), o que indica que quase nenhuma variação ambiental permaneceu dentro das parcelas. O coeficiente de determinação dos efeitos permanentes foi de média magnitude, ou seja, a variação ambiental permanente, de um ano para outro, é importante. A variância genética aditiva, a variância dos efeitos de parcela, a variância residual e a variância fenotípica individual aumentaram a cada ano acompanhando o aumento da produção, e também aumentou os coeficientes de variação residual (Tabela 3). Por outro lado, os coeficientes de variação relativa e a acurácia seletiva diminuíram com o decorrer dos anos, indicando, segundo Resende (2002), que com o aumento das variâncias, principalmente a fenotípica e a residual, tornam-se necessários a utilização de outros métodos mais eficientes de seleção.

As correlações genéticas entre os dez caracteres e os anos variam muito (Tabela 4). As doenças antracnose e superbrotamento são altamente correlacionadas. A antracnose influencia negativamente a produção a partir do segundo ano de produção (2007), como também ocorre com a doença superbrotamento. A produção na fase juvenil e no primeiro ano (2006) não foi influenciada pelas duas doenças, que apenas estavam começando a se manifestar.

Dentre os fatores de produção do guaranazeiro encontram-se as doenças e entre estas a antracnose é a mais severa (Duarte e Albuquerque, 1999), sendo que diversos fatores ambientais e níveis variáveis de populações do patógeno influenciam a resistência da cultura (Pereira et al., 2005). Os resultados encontrados nesse trabalho mostram que, de um ano para o outro, a antracnose e o superbrotamento podem ou não influenciar na produção, e como estão altamente correlacionadas, ambas as doenças podem contribuir para a queda da produção em determinado ano, dependendo da resistência do genótipo e do nível populacional do patógeno. Desse modo, a estratégia de obter genótipos com estabilidade e presivibilidade

da resistência, como enfatizam Pereira et al. (2005), deve ser prioritária no programa de melhoramento do guaranazeiro.

O número de folhas teve altos valores de correlação com o número de ramos (0,697), com o diâmetro do caule (0,669) e com a altura de plantas (0,665). O número de ramos correlacionou-se com o diâmetro do caule (0,555), com a altura de plantas (0,568) e com o número de folhas (0,697). O diâmetro do caule além da correlação com o número de folhas e com o número de ramos exibiu a maior correlação com a altura de plantas (0,837).

A produção juvenil foi influenciada positivamente pelo número de ramos (0,488) e em menor grau pelo diâmetro do caule (0,30) e pela altura de plantas (0,311). Nas produções da fase adulta (2006, 2007 e 2008) somente a primeira produção (2006) foi correlacionada positivamente com os caracteres diâmetro do caule (0,493) e medianamente pela altura de plantas (0,387). Esse resultado indica que a planta atingiu sua fase máxima de crescimento aos três anos após o plantio e que após a primeira produção a influência nas outras produções é reduzida, tendo as doenças como principal fator que influencia a produção.

Nascimento Filho (2003) constatou que clones de guaranazeiro que apresentam um maior número de ramos, ramos longos e maior número de folhas, em relação a clones com características de ramos longos, muitas folhas nos ramos e poucos ramos por planta, de uma maneira geral possuem um desenvolvimento vegetativo e melhor adaptação inicial às condições de campo e produzem frutos já no primeiro e segundo anos, principalmente em ambientes favoráveis. Nos anos posteriores, porém, suas produções decresceram em relação à abundante massa vegetativa produzida, o que pode ter exigido uma excessiva quantidade de fotoassimilados, em detrimento da produção de frutos. Nas condições de ambientes desfavoráveis, onde foram selecionados, provavelmente a relação massa vegetativa e a produção deve ter se mantido em equilíbrio ao longo dos anos, tendo a planta investido equitativamente na produção de frutos e na parte vegetativa.

Nesse caso, a produção do guaranazeiro ao longo dos anos parece ser influenciada pela incidência de doenças associada à partição de assimilados, canalizando para o crescimento inicial em detrimento da produção de frutos.

A correlação entre as produções da fase adulta e da fase juvenil só foi importante entre a produção da fase juvenil e a primeira produção da fase adulta (2006) (0,559) e a produção de 2007, de modo mediano (0,379). Entretanto as produções da fase adulta (2007 e 2008) após a primeira produção (2006) são bem correlacionadas (0,653).

A seleção inicial no guaranazeiro é indicada para a obtenção de plantas mais vigorosas e que por consequência adaptam-se melhor a ambientes desfavoráveis, não sendo propícia

para identificar plantas resistentes a doenças e nem produtivas. Somente com mais anos de avaliação isso é possível. Em clones de guaranazeiro, Atroch et al. (2004) recomendam no mínimo cinco safras consecutivas para maximizar a acurácia seletiva, e plantas oriundas de propagação sexual deveriam requerer mais tempo. A eficiência no uso de *m* medidas é mostrada na Tabela 5, e pode ser verificado que, após seis anos de avaliação, a produção medida representa o valor real da progênie com uma determinação de 81% e uma eficiência 40% maior do que somente uma medida.

A estratégia de seleção considera evitar a endogamia na geração de plantio para composição da população para produção de sementes, bem como a composição da população de melhoramento. A maximização do ganho foi realizada pelo pré-estabelecimento do número de 20 plantas para a população para produção de sementes e de 50 plantas para a população de melhoramento de acordo com Farias Neto et al. (2008). Na Tabela 6 são apresentados os indivíduos selecionados pelos valores genéticos aditivos para comporem as duas populações, com tamanho efetivo populacional mínimo de 15,54 e máximo de 31,83 para a composição da população para produção de sementes e para o melhoramento, respectivamente.

A seleção dos 20 melhores indivíduos pertencentes a 13 progênies proporcionou um ganho genético de 1,80% acima da média geral do experimento, elevando a média de 4570 gramas/planta para 4634 gramas de frutos/planta (Tabela 6). Em relação à produtividade média das progênies, de 4195 gramas de frutos por planta (Atroch e Nascimento Filho, 2001), esse ganho é da ordem de 10%. Em relação aos clones recomendados pela Embrapa Amazônia Ocidental (Nascimento Filho e Atroch, 2002), a seleção do melhor indivíduo, cuja produtividade fenotípica (18.953 gramas de frutos por planta) proporcionou um ganho da ordem de 100%, em relação ao melhor clone, é expressivo.

Por outro lado, a seleção dos 50 melhores indivíduos pertencentes a 21 progênies para compor a população de melhoramento proporcionou um ganho de 1,38% acima da média do experimento, elevando a produtividade de 4570 gramas de frutos/planta para 4605 gramas de frutos/planta. Esses ganhos genéticos, em relação à média da população, são baixos porque os progênies não são muito divergentes (Nascimento Filho et al., 2001; Sousa, 2003). Atroch e Nascimento Filho (2001) avaliaram o ganho genético obtido no programa de seleção clonal do guaranazeiro e estimaram um ganho de 0,96%. Neste trabalho, os autores recomendaram a estratégia de seleção recorrente com avaliação de progênies de meios irmãos, utilizada nesse trabalho, como forma de aumentar os ganhos com a seleção. Os resultados até o momento apontam para um ganho maior do que o da seleção clonal.

O índice de Mulamba-Rank foi utilizado para a seleção das progênies para utilização imediata como fonte de produção de sementes para distribuição aos produtores. As progênies 21 (clone 611), 30 (clone 624) e 10 (clone 614) podem ser utilizados como plantas matrizes para produção de sementes por reunirem todos os atributos desejáveis (resistência a doenças, crescimento vegetativo, produção juvenil e produção adulta), proporcionando um ganho de 96,8% a 103,3% em relação a pior progênie, a 1 (clone 631) (Tabela 7). Segundo Cruz e Regazzi (2004), a utilização de índices de seleção é uma alternativa eficiente para aumentar a chance de êxito no programa de melhoramento, pois permite reunir, com base em um complexo de variáveis, vários atributos desejáveis de interesse agrônômico e econômico. Resende (2002) apresenta alguns índices baseados em agregado genotípico, que é um conceito similar ao da adaptação (fitness) utilizado pelos evolucionistas para representar um conjunto de caracteres adaptativos sob seleção natural. O índice de Mulamba-Rank (Resende, 2002) tem a vantagem de não necessitar de estabelecer pesos econômicos e estimar variâncias e covariâncias.

#### **4.5 CONCLUSÃO**

A estratégia de seleção de progênies envolvendo todos os caracteres morfo-agronômicos mostrou-se ser a mais eficiente, apresentando ganhos genéticos da ordem de 100%, devendo ser adotada no programa de melhoramento genético do guaranazeiro. Por outro lado, a seleção de indivíduos para produção de sementes e para composição de população de melhoramento deve ser mais bem avaliada, por mais quatro anos, pois os ganhos genéticos atuais, variando de 1,38% a 2,58%, não permitem uma tomada de decisão segura.

#### **4.6 REFERÊNCIAS**

ATROCH, A. L. 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, 2001. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 16).

ATROCH, A.L.; NASCIMENTO FILHO, F.J. do. Avaliação do programa de melhoramento genético do guaranazeiro via seleção clonal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., Goiânia, GO, 03 a 06 de abril, 2001. **Anais**. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. CD-ROM. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 113).

ATROCH, A.L.; RESENDE, M.D.V.; NASCIMENTO FILHO, F.J. Seleção clonal em guaranazeiro via metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP). **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n.41, p.193-201, 2004.

ATROCH, A.L.; NASCIMENTO FILHO, F.J. do. Classificação do coeficiente de variação na cultura do guaranazeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n.43, p.43-48, 2005.

CHAPMAN, A. B. **General and quantitative genetics**. Amsterdam: Elsevier Science, 1985. 408 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2004. 480p.

DUARTE, M.L.R.; ALBUQUERQUE, F.C. Doenças da cultura do guaranazeiro. In: DUARTE, M.L.R. (Ed.). **Doenças de plantas no trópico úmido brasileiro**. Belém, PA, Embrapa-CPATU, 1999. p.89-121.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental. **Sistema de produção para guaraná**. 3ª ed. Manaus, 1998. 34p. (EMBRAPA-CPAA. Documentos, 13).

ESTEFANEL, V.; PIGNATARO, I.A.B.; STORCK, L. Avaliação do coeficiente de variação de experimentos com algumas culturas agrícolas. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 2., 1987, Londrina. **Anais...**Londrina: UEL/Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 1987. p.115-131.

FARIAS NETO, J.T; RESENDE, M.D.V. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos em pupunheira (*Bactris gasipaes* K.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.320-324, 2001.

FARIAS NETO, J.T.; RESENDE, M.D.V de; OLIVEIRA, M.S.P. de; NOGUEIRA, O.L.; FALCÃO, P.N.B.; SANTOS, N.S.A. dos. Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos de seleção em progênies de polinização aberta de açaizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.1051-1056, 2008.

FREITAS, D.B., CARVALHO, C.R., NASCIMENTO FILHO, F.J., ASTOLFI FILHO, S. Karyotype with 210 chromosomes in guaraná (*Paullinia cupana* 'Sorbilis'). **Journal of Plant Research**, 120:399-404. 2007.

GAIA, J.M.D.; MOTA, M.G.C.; DERBYSHIRE, M.T.V.C.; OLIVEIRA, V.R.; COSTA, M.R.; MARTINS, C. da S.; POLTRONIERI, M.C. Diversidade e similaridade genéticas em clones de pimenta-do-reino. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.2, p.221-227, 2005.

GONDIM, C.J.E. 1978. **Alguns aspectos da biologia reprodutiva do guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*)**. Dissertação de Mestrado, INPA/FUA, Manaus. 83p.

HAZEL, L.N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, v.28, p.476-490, 1943.

MULAMBA, N.N.; MOCK, J.J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v.7, p.40-57, 1978.

NASCIMENTO FILHO, F.J. **Coefficientes de caminhamento entre caracteres da parte aérea e do sistema radicular em guaraná “(*Paullinia cupana* var. *sorbilis*)”**. Piracicaba: ESALQ, 1988. 101p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).

NASCIMENTO FILHO, F.J. do; ATROCH, A.L.; CRAVO, M. da S. **Melhoramento genético do guaranazeiro: resultados de experimentos de avaliação de clones fase produtiva 1985 a 1994**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. 38p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Boletim de Pesquisa, 7).

NASCIMENTO FILHO, F.J. DO; ATROCH, A.L.; SOUSA, N.R. DE; GARCIA, T.B.; CRAVO, M. DA S.; COUTINHO, E.F. Divergência genética entre clones de guaranazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.3, p.501-506, 2001.

NASCIMENTO FILHO, F.J.; ATROCH, A.L. **Guaranazeiro**. In: Brukner, C.H. Melhoramento de fruteiras tropicais. Viçosa: UFV. p.291-307, 2002.

NASCIMENTO FILHO, F.J. **Interação genótipos x ambientes, adaptabilidade, estabilidade e repetibilidade em clones de guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke)**. Viçosa: UFV, 2003. 199p. (Tese – Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).

OLIVEIRA, R.P de; CRISTOFANI, M.; AGUILAR-VILDOSO, C.I.; MACHADO, M.A. Diversidade genética entre híbridos de tangerina ‘Cravo’ e laranja ‘Pêra’. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.4, p.479-484, 2002.

PAIVA, J.R.; RESENDE, M.D.V.; CORDEIRO, E.R. Avaliação do número de colheitas na produção de progênies de acerola, repetibilidade e herdabilidade de caracteres. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.1, p.102-107, 2001.

PAIVA, J.R.; RESENDE, M.D.V.; CORDEIRO, E.R. Índice multi-efeitos (BLUP) e estimativas de parâmetros genéticos aplicados ao melhoramento da acerola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p.799 – 807, 2002.

PEREIRA, J. C. R.; ARAÚJO, J. C. A.; NASCIMENTO FILHO, F. J.; ATROCH, A. L.; GASPAROTTO, L.; ARRUDA, M. R.; SANTOS, L. P. 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. 2005.

PIMENTEL-GOMES, F. **O índice de variação: um substituto vantajoso do coeficiente de variação**. Piracicaba: Ipef, 1991. 4p. (Circular Técnica, 178).

- RESENDE, M. D. V.; RATES, D. F.; JESUS, A.; YAMADA, C. K. Estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e melhor predição linear não viciada (BLUP) em *Pinus*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 32/33, p. 18-45, jan./dez. 1996.
- RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos em espécies frutíferas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 44 – 52, 2000.
- RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975p.
- RESENDE, M.D.V. **O Software SELEGEN-REML/BLUP**. Campo Grande: Embrapa Pantanal, 2007. 305p. (Embrapa, Documentos).
- SMITH, N.; ATROCH, A.L. Guarana's journey from regional tonic to aphrodisiac and global energy drink. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, Oxford, n.5, 2007. eCAM, doi:10.1093/ecam/nem162.
- SOUSA, N. R. **Variabilidade genética e estimativas de parâmetros genéticos em germoplasma de guaranazeiro**. Lavras: UFLA, 2003. 99p. (Tese – Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- TFOUNI, S.A.V.; CAMARGO, M.C.R.; VITORINO, S.H.P.; MENEGÁRIO, T.F.; TOLEDO, M.C.F. Contribuição do guaraná em pó (*Paullinia cupana*) como fonte de cafeína na dieta. **Rev. Nutr.**, Campinas, v.20, n.1, p.63-68, 2007.
- WILLIAMS, J.S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, v.18, p.375-393, 1962.

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta dos anos de 2006, 2007 e 2008 do caráter produção de frutos em gramas por planta ao ano. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009.



Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios <sup>1</sup>
Blocos	1	97627742,7989*
Progênes	35	37545341,1398*
Anos	2	802991176,5662**
Anos X Progênes	69	16497714,8410 <sup>ns</sup>
Erro	349	24596483,9095
Dentro	140	44186377,5723
Média		5417,35
CV(%)		91,55

<sup>1</sup>\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F;

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F;

ns – não significativo.

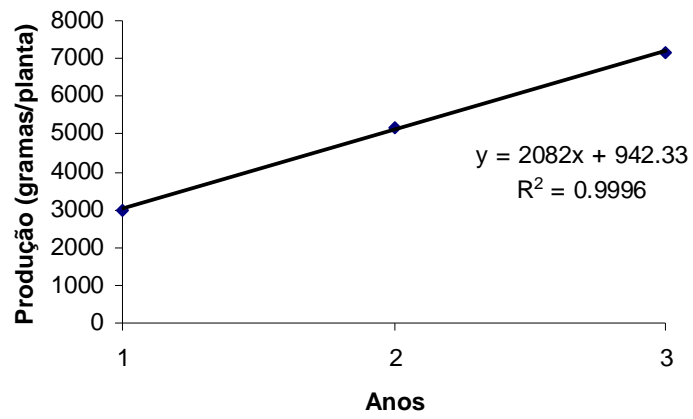


Figura 1. Evolução anual da produção média do experimento de 36 progênies de guarazeiro. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009.

Tabela 2. Componentes de variância e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos associados à produção de frutos em gramas por planta na análise conjunta dos anos 2006, 2007 e 2008. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009.

Parâmetros	Estimativas
Variância genética aditiva individual	169962,580461
Variância ambiental entre parcelas	2562223,884183
Variância dos efeitos permanentes	10010985,979932
Variância residual temporária	17436725,338172
Variância fenotípica individual	30179897,782748
Herdabilidade individual no sentido restrito	0.005632 +- 0,0174
Repetibilidade individual	0.422240 +- 0,0752
Coefficiente de determinação dos efeitos de parcela	0,084898
Coefficiente de determinação dos efeitos permanentes	0,331710
Média Geral	4569,59

Tabela 3. Componentes de variância e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos associados à produção de frutos em gramas por planta, nos anos de 2006, 2007 e 2008. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009.

Parâmetros	Estimativas		
	2006	2007	2008
Variância genética aditiva	69140.708608	276140.186461	296378.011830
Variância dos efeitos de parcela	66789.873339	3204887.059216	9079430.882933
Variância residual	7237686.874812	18521024.414386	43872047.164281
Variância fenotípica individual	7373617.456759	22002051.660062	53247856.059044
Herdabilidade individual no sentido restrito	0.009377	0.012551	0.005566
Herdabilidade da media de progênies	0.026264	0.021359	0.008940
Herdabilidade aditiva dentro de progênies	0.007114	0.011059	0.005041
Acurácia da seleção de progênies	0.162060	0.146147	0.094550
Coefficiente de variação genética aditiva individual	8.761375	10.196774	7.597170
Coefficiente de variação genética entre progênies	4.380687	5.098387	3.798585
Coefficiente de variação residual	37.722533	48.805739	56.562372
Coefficiente de variação relativa	0.116129	0.104463	0.067157
Média geral do experimento	3001	5153	7165

Tabela 4. Correlações genéticas entre dez caracteres morfo-agronômicos avaliados em 36 progênies de guaranazeiro. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009.

Carater	ANT	SUPERB	NFOL	NRAM	DIAM	ALT	Produção Juvenil 2005	Prod 2006	Prod 2007	Prod 2008
ANT	1	0,793	0,257	0,211	0,235	0,365	-0,0972	-0,097	-0,489	-0,258
SUPERB		1	0,0415	0,0148	0,022	0,0403	-0,157	-0,081	-0,497	-0,319
NFOL			1	0,697	0,669	0,665	0,271	0,276	0,107	0,172
NRAM				1	0,555	0,568	0,488	0,30	0,038	0,056
DIAM					1	0,837	0,30	0,493	0,156	0,286
ALT						1	0,311	0,387	0,106	0,285
Prod Juv 2005							1	0,559	0,379	0,311
Prod 2006								1	0,231	0,205
Prod 2007									1	0,653
Prod 2008										1

ANT: Resistência à Antracnose; SUPERB: Resistência ao Superbrotamento; NFOL: Número de folhas; NRAM: Número de ramos; DIAM: Diâmetro do caule; ALT: Altura de plantas (cm).

Tabela 5. Eficiência do uso de  $m$  medidas em relação ao caráter produção de frutos por planta em 36 progênies de guaranazeiro. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009.

$m$	Herdabilidade individual média	Determinação	Acurácia	Eficiência
1	0,0056	0,42	0,07	1,00
2	0,0079	0,59	0,09	1,18
3	0,0092	0,68	0,09	1,27
4	0,0099	0,74	0,09	1,33
5	0,0105	0,78	0,10	1,36
6	0,0109	0,81	0,10	1,39
7	0,0111	0,83	0,10	1,41
8	0,0113	0,85	0,11	1,42
9	0,0115	0,87	0,11	1,43
10	0,0117	0,88	0,11	1,44

Tabela 6. Valores fenotípicos, valores genéticos aditivos individuais, ganho genético (%) e tamanho efetivo populacional (Ne) com a seleção dos 20 melhores indivíduos e do indivíduo de número 50 para o caráter produção de frutos, em guaranazeiro, visando a propagação sexuada. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009.

Ordem	Progênie	Bloco/Planta	Valor fenotípico	Valor genético aditivo	Ganho genético (%)	Ne
1	3	2/5	18953,33	4687,84	2,58	1,00
2	21	2/1	18270,00	4676,61	2,46	2,00
3	21	2/2	14623,33	4671,64	2,39	2,48
4	30	1/4	14546,67	4671,60	2,35	3,49
5	29	1/3	12576,67	4664,95	2,29	4,49
6	8	1/5	15033,33	4655,50	2,23	5,49
7	34	1/1	14780,00	4653,58	2,17	6,49
8	21	1/2	10973,33	4653,12	2,13	6,62
9	20	1/2	14770,00	4653,11	2,09	7,61
10	10	2/3	13396,67	4651,09	2,06	8,60
11	35	2/5	15046,67	4649,86	2,04	9,59
12	17	1/5	13266,67	4646,29	2,01	10,58
13	32	1/4	14153,33	4644,31	1,98	11,58
14	4	2/4	13586,67	4643,78	1,95	12,57
15	8	1/3	12923,33	4638,55	1,92	13,16
16	29	2/3	12180,00	4638,12	1,89	13,75
17	21	2/3	10400,00	4637,71	1,87	13,63
18	23	2/3	11663,33	4634,89	1,85	14,60
19	29	2/5	9606,67	4634,43	1,82	14,89
20	30	2/3	10550,00	4634,00	1,80	15,54
n	n	n	n	n	n	n
50	9	1/5	9393,33	4605,26	1,38	31,83

Tabela 7. Seleção de 36 progênes de meios irmãos avaliadas pelo índice Mulamba-Rank envolvendo dez caracteres morfo-agronômicos em Maués, Amazonas. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009.

Ordem	Progênie-Genitor	Rank Médio	Ganho (%)
1	21 – clone 611	9,10	103,29
2	30 – clone 624	9,40	100,00
3	10 – clone 614	9,70	96,81
4	20 – clone 605	11,00	88,77
5	23 – clone 952	11,60	82,08
6	26 – clone 706	12,70	74,80
7	3 – clone 227	14,00	67,09
8	24 – progênie 23	14,10	61,57
9	29 – clone 626	14,40	57,07
10	15 – clone 607	14,70	53,27
11	13 – clone 609	14,70	50,29
12	4 – clone 388	14,90	47,70
13	22 – clone 612	15,20	45,32
14	8 – clone 871	16,00	42,69
15	7 – clone 862	16,10	40,43
16	12 – clone 225	16,40	38,32
17	36 – clone 610	16,70	36,32
18	32 – clone 389	17,20	34,32
19	17 – clone 388	17,20	32,59
20	9 – clone 882	17,40	30,97
21	6 – clone 224	18,90	28,89
22	34 – clone 616	20,00	26,63
23	11 – clone 635	20,10	24,59
24	33 – clone 601	20,90	22,52
25	5 – clone 222	21,00	20,63
26	35 – clone 723	22,00	18,64
27	27 – progênie 709	23,40	16,49
28	16 – clone 300	24,00	14,39
29	25 – clone 619	24,00	12,52
30	19 – clone 275	24,50	10,71
31	14 – clone 505	24,70	9,03
32	28 – progênie 745	24,90	7,46
33	18 – clone 514	26,00	5,82
34	2 – clone 624	26,50	4,24
35	31 – clone 631	29,00	2,39
36	1 – clone 631	33,60	0,00