

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

TESTE DE PROGÊNIES NA CULTURA DO GUARANAZEIRO *Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke NO ESTADO DO AMAZONAS



PEDRO CHAVES DA SILVA

MANAUS-AM

2023

PEDRO CHAVES DA SILVA

TESTE DE PROGÊNIES NA CULTURA DO GUARANAZEIRO *Paullinia  
cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke NO ESTADO DO AMAZONAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM como um dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. ANDRÉ LUIZ ATROCH

MANAUS-AM

2023

### Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Silva, Pedro Chaves da  
S586t Teste de progênies na cultura do guaranazeiro *Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke no Estado do Amazonas / Pedro Chaves da Silva. 2023  
73 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: André Luiz Atroch  
Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas.

1. *Paullinia cupana* var. *sorbilis* (guaraná). 2. Melhoramento genético. 3. Ensaio de progênies. 4. Produção. I. Atroch, André Luiz. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

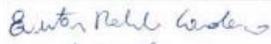
PEDRO CHAVES DA SILVA

TESTE DE PROGÊNIES NA CULTURA DO GUARANAZEIRO *Paullinia cupana* Kunth  
var. *sorbilis* (Mart.) Ducke NO ESTADO DO AMAZONAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM como um dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, na área de concentração em Produção Vegetal.

Defesa em 20 de setembro de 2023.

**Banca de Examinadores:**

Membros	Julgamento	Assinatura
Dr. André Luiz Atroch – Embrapa Amazônia ocidental (Presidente)	(X)Aprovado ( )Reprovado	
Prof. Dr. Pedro de Queiroz Costa Neto – Universidade Federal do Amazonas (FCA/Ufam)	(X)Aprovado ( )Reprovado	
Prof. Dr. Fábio Medeiros Ferreira – Universidade Federal do Amazonas (ICET/Ufam)	(X)Aprovado ( )Reprovado	
Dr. Everton Rabelo Cordeiro - Embrapa Amazônia ocidental	(X)Aprovado ( )Reprovado	
Dr. Firmino José do Nascimento Filho - Embrapa Amazônia ocidental	(X)Aprovado ( )Reprovado	

**Resultado Final:**      Aprovado (X)  
   Reprovado ( )

Manaus, 20 de setembro de 2023.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** FABIO MEDEIROS FERREIRA  
Data: 21/09/2023 17:13:31-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** HEDINALDO NARCISO LIMA  
Data: 04/10/2023 12:36:03-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

\_\_\_\_\_  
Coordenador do PGATR

**Ciente:**

  
Pedro Chaves da Silva

A **Deus**, nosso Criador e Senhor de nossas vidas, aos meus pais, **Elizabeth Chaves da Silva** (in memoriam) e **Pedro Castro da Silva**, à minha filha **Hanna Sophia** e sua mãe **Laiana Freitas**, minha filha **Ávilla Stephanie**, aos meus irmãos **Peterson**, **Gregory Schmidt**, **Nicole** e demais irmãos, aos sobrinhos **Pedro Antônio** e **Ana Elizabeth**, ao meu padrasto, **Edmilson Ramos** (in memoriam), à minha madrinha, **Delcires Castro**, aos meus avós **Pedro Dias da Silva** (in memoriam), **Maria Castro da Silva**, **Joaquina de Andrade Chaves** (in memoriam) e **João de Macêdo Chaves** (in memoriam), e em especial às minhas tias (in memoriam), **Admires Castro**, **Liete Chaves Soares**, e tio **Damázio Castro** (in memoriam), aos demais tios, primos e demais familiares e amigos de **Urucará** e de **todo Amazonas**.

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, o Grande Arquiteto do Universo, Senhor e Salvador de nossas vidas;

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia Tropical (PPGATR) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) do Ministério da Educação (MEC);

Aos meus pais, professora Elizabeth Chaves da Silva (*in memoriam*) e o extensionista rural do IDAM, Pedro Castro da Silva pela criação, educação, apoio e incentivo;

Ao meu orientador, Dr. André Luiz Atroch pela dedicação, orientação e apoio técnico-científico;

À minha amiga e companheira de todos os desafios, Laiana Freitas Campos e a nossa filha Hanna Sophia Freitas Chaves;

Aos meus irmãos Peterson Chaves, Gregory Schmidt, minhas filhas, Hanna Sophia, Ávilla Stephanie, todos os irmãos, irmãs, sobrinhos, demais familiares e amigos pelo incentivo;

Aos extensionistas rurais e especialistas na cultura do guaraná do IDAM em Urucará, Pedro Castro da Silva (meu pai), Rui Pereira Sampaio, Manoel Pedro Braga Paes (Pedroca), Omesias Macêdo dos Santos, Licurgo Malheiros Rodrigues e José Arimatéia Simões;

Aos amigos e profissionais da Embrapa, André Atroch, Firmino José, Orbélio Mota, Everton Cordeiro, Inocêncio, José Ribamar, Luiz Alberto, Pedro pelo apoio pelo apoio técnico-científico e atividades de campo;

Aos Extensionistas Rurais do IDAM Maués, Pedro Jorge Ramos Silveira, Eugênio Borges, Ademir, Eder, Alfaia, Givanildo do Carmo pelo apoio inicial na pesquisa com guaraná;

À minha equipe, Vitória, Paula, Lorena, Jackeline, Luiz Carlos, Lucyete, Thaliane, Railcineide, Samara, Diana, Juciane, Ivan Ponce, Fernando, Augusto César, Flávia, Inaldo Jr, Magno, Valéria, Thainá e Vanessa, lotados na Gerência Estadual de Capacitação e Metodologia

de ATER – GECAM IDAM e Coordenação do Projeto Especial do Guaraná do IDAM pelo apoio e incentivo.

Aos meus gestores de instituição (IDAM/SEPROR), Airton Schneider, José Milton Barbosa Filho, Eda Oliva, Armando Jorge, Luiz Herval, Alfredo Pinheiro, Edmar Vizolli, Ordival, Valdenor Cardoso, Tomás Sanches, Orleudson Sales, Daniel Borges, Vanderlei Alvino, Petrucio Magalhães e Sidney Leite pelo apoio e incentivo;

Aos amigos do Departamento de ATER e demais profissionais do IDAM, Orleudson Sales, Paulo Rolim, Ângela Paes, Sebastião Dias, Shena, Jonilo Moisés, Nadiele, Luiz Rocha, Maria do Carmo, Raimundo Gerson, Jorge Augusto, Francisco Macêdo, Marcel, Lázaro, Hugo Santos, Elcides Neto, Elias Emanuel Corrêa, pelo essencial apoio tecnológico e eletrônico e aos amigos, Leilson, Rogério, Carlos e Felipe pela condução e apoio logístico;

Aos amigos da equipe da Gerência de Crédito Rural e Produção Vegetal do IDAM, Carlos Alberto, Luiz Antônio, Orlando, Franciomar (Mazinho), Marcelo, Silvia Abreu, Anecilene, Suzamar, Ana, Jaguanhara, Washington e Joaquim;

Aos meus ex-orientadores nos quatro PIBICs, Mestrado e Doutorado, Dr. Danilo Fernandes da Silva Filho (INPA), Dr. Hiroshi Noda (INPA), Dr. César Benavente (INPA), Dr. José Ferreira (UFAM);

Aos amigos e acadêmicos de Pós-Graduação da UFAM, Cristiano Barbosa (*in memoriam*), Cleo Ohana, Romildo, Patrick, Ana Cecília, Lucivania, Mauro, Marcelo Nunes, Silvia, Gustavo, Inozile, Karla Dutra, Tassia, Alan Lima, Wildson e Professores, Dra. Sônia Albertino, Dr. Ari Hidalgo, Fábio Medeiros, Dr. Pedro Queiroz e Dr. Hedinaldo Lima pelo apoio acadêmico e técnico-científico;

Aos meus primos, Woldney Nascimento e Natali Leal, Júlia Ramos e Edilberto, Jonas Chaves e Celda, Joaquina (Tina) e demais primos pelo incentivo durante o período da pesquisa;

E a todos os demais amigos e profissionais que contribuíram com a pesquisa.

*Deus criou os céus para si, e nos deu a terra*

*para cultivar e governar."*

*Salmos 115.16 – Bíblia Sagrada*

## RESUMO

A cultura do guaraná *Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke no Estado do Amazonas é uma importante fonte geradora de emprego e renda no setor primário, na indústria, comércio e na bioeconomia. É uma espécie de grande interesse agrônomo e agroecológico, que se destaca pela importância econômica, social, ambiental, sendo cultivada na Amazônia brasileira devido suas propriedades medicinais, energéticas e estimulantes. Este trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade genética, estimar parâmetros genéticos e fenotípicos, prever valores genéticos e estimar componentes de variância para produção de frutos em progênies de meios-irmãos de guaranazeiro num experimento conduzido em Manaus, Amazonas. Seis progênies foram avaliadas num delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições e oito plantas por parcela para o caráter produção de frutos ( $\text{g.planta}^{-1}$ ) em duas safras. Os componentes de variância, parâmetros e valores genéticos e fenotípicos foram estimados pelo procedimento REML/BLUP. Os maiores efeitos e valores genéticos aditivos para seleção de indivíduos foram das progênies P207 e P305. A produção média de frutos da melhor progênie (P207) foi  $24.925 \text{ g.planta}^{-1}$ . As melhores progênies que se destacaram referente a estabilidade e adaptabilidade de valores genéticos com o maior valor de MHPRVG foram as progênies P305, seguida das progênies P64, P382 e P207.

Palavras-chave: *Paullinia cupana* var. *sorbilis*, melhoramento genético, ensaio de progênies, produção.

## ABSTRACT

The culture of guarana *Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke in the State of Amazonas is an important source of employment and income generation in the primary sector, industry, trade and bioeconomy. It is a species of great agronomic and the agroecological interest, which stands out for its economic, social, environmental importance, being cultivated in the Brazilian Amazon due to its medicinal, energetic and stimulant properties. This work aimed to study the genetic variability, estimate genetic and phenotypic parameters, predict genetic values and estimate variance components for fruit production in progenies of half sib of guarana an experiment conducted in Manaus, Amazonas. Six half sib progenies were evaluated in a randomized complete block design with three repetitions and eight plants per plot for the character fruit production ( $\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$ ) in two crops. Variance components, parameters genetic and phenotypic values were estimated by REML/BLUP procedure. The highest additive genetic effects and values for selection of individuals were from the progenies P207 and P305. The average fruit yield of the best progeny (P207) was  $24,925 \text{ g}\cdot\text{plant}^{-1}$ . The best progenies that stood out regarding stability and adaptability of genetic values with the highest MHPRVG value were progenies P305, followed by progenies P64, P382, and P207.

Key words: *Paullinia cupana* var. *sorbilis*, genetic improvement, progeny trial, production.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Local do experimento: área de pesquisa da Embrapa Amazônia Ocidental, Rodovia AM 010 km 29 (Estrada Manaus-Itacoatiara), Manaus-AM. ....	40
Figura 2. Progenies de guaranazeiros em área de pesquisa. Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas, Brasil. 2023. Foto: Pedro Chaves da Silva. ....	41
Figura 3. Plantas de guaranazeiro <i>Paullinia cupana</i> var <i>sorbilis</i> em área experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM. Foto: Pedro Chaves, 2023. ....	41
Figura 4. Detalhe da floração em planta de guaranazeiro. Foto: Pedro Chaves, 2023. ...	42
Figura 5. Detalhe de frutificação de guaraná e frutos em fase de maturação na mesma planta. Foto: Pedro Chaves, 2023. ....	43
Figura 6. Detalhe da colheita de frutos de guaraná em área de pesquisa (A e B). Campo Experimental da Embrapa, Manaus, Amazonas, Brasil, 2023. ....	43
Figura 7. Detalhe de frutos de guaraná colhidos por planta. ....	44
Figura 8. Frutos de guaraná colhidos em cada planta (progenies) na área experimental da Embrapa Amazônia Ocidental. 2023. ....	44
Figura 9. Balança digital utilizada para medição da massa de frutos (g) de guaraná. Embrapa Amazônia Ocidental, 2023. ....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise de variância da produção de frutos de guaranazeiro nas safras de 2018 e 2022. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023. ....	47
Tabela 2. Produção média de frutos das progênes de guaranazeiro por safra nos anos de 2018 e 2022 com base na ANOVA. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023. ....	48
Tabela 3. Médias da produção de frutos de seis progênes de guaraná nas duas safras avaliadas 2018 e 2022. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023. ....	49
Tabela 4. Estimativas de componentes de variância (REML Individual) para produção de frutos de guaraná em duas safras 2018 e 2022. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023. ....	50
Tabela 5. Estimativas de componentes de médias (BLUP Individual) para seleção de genótipos (progênes) em todas as safras. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023. ....	52
Tabela 6. Seleção de genótipos (progênes) na safra de 2018. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023. ....	53
Tabela 7. Seleção de genótipos (progênes) na safra de 2022. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023. ....	54
Tabela 8. Estabilidade de valores genéticos de progênes de guaranazeiro. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023. ....	55
Tabela 9. Adaptabilidade de valores genéticos de progênes de guaranazeiros. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023. ....	56
Tabela 10. Estabilidade e adaptabilidade de valores genéticos de progênes de guaranazeiros. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023. ....	57

Tabela 11. Médias do valor genotípico da produção nas progênes de guaranazeiros em duas safras 2018 e 2022 conforme modelo misto REML/BLUP. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023.....	59
Tabela 12. Estimativas de componentes de média (BLUP Individual) com a seleção dos 20 melhores indivíduo para produção de frutos, em progênes de guaranazeiro, referente as safras de 2018 e 2022. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023.....	61

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	16
2. OBJETIVOS.....	20
2.1. Objetivo geral.....	20
2.2. Objetivos específicos.....	21
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	21
3.1. Importância econômica e social do guaraná .....	21
3.2. Variabilidade genética.....	25
3.3. Melhoramento genético do guaranazeiro .....	29
3.4. Seleção de plantas com teste de progênies.....	33
3.5. Metodologia REML/BLUP .....	35
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	39
4.1. Local da Pesquisa .....	39
4.2. Delineamento experimental e progênies avaliadas .....	40
4.3. Colheita de frutos .....	42
4.4. Modelo estatístico .....	45
4.5. Análise genético-estatística.....	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	47

xiv

5.1. Componentes de Variância (REML Individual) .....	49
5.2. Componentes de Média (BLUP Individual).....	52
5.3. Seleção de progênes por safra .....	53
5.4. Produtividade e estabilidade de valores genéticos (MHVG) .....	55
5.5. Produtividade e adaptabilidade de valores genéticos (PRVG).....	56
5.6. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade de valores genéticos (MHPRVG) ....	57
5.7. Seleção de indivíduos.....	60
6. CONCLUSÕES.....	63
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64

## 1. INTRODUÇÃO

O guaranazeiro é uma espécie de origem amazônica, pertencente a família botânica Sapindaceae de grande interesse agrônomo e agroecológico. É uma planta alógama e tropical que se destaca pela importância econômica, social e ambiental, sendo cultivada pelo povos originários, agricultores familiares e produtores rurais na Amazônia brasileira e outras regiões do Brasil devido suas propriedades medicinais, energéticas e estimulantes (ANGELO, 2005; SCHIMPL et al., 2013; TRICAUD et al., 2016; NINA et al., 2021).

A cultura do guaraná *Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke é importante fonte geradora de emprego, renda e desenvolvimento econômico e sustentável do setor primário, com destaque na agricultura de base familiar, na indústria, comércio e na bioeconomia dos estados produtores no país.

As sementes secas e beneficiadas de guaraná, principal produto comercializado na agricultura, são fontes de cafeína, amido, tanino, teobromina, teofilina, catequina, epicatequina, procianidinas, fósforo, potássio, ferro, cálcio, tiamina, vitamina A e açúcares (NINA et al., 2021; TORRES et al., 2022). As sementes de guaraná apresentam alto teor de cafeína (2,5 a 7%), sendo que este alcalóide presente nas sementes é de duas a cinco vezes mais que as sementes de café. As substâncias provenientes do guaranazeiro fazem parte da matéria-prima utilizada na fabricação de refrigerantes, xaropes, sucos, pós-solúveis, bastões e produtos fármacos, fitoterápicos, cosméticos e suplementos alimentares nutracêuticos, dietéticos e energéticos (SOUSA et al., 2010; ALVES, 2022).

O Brasil é o único produtor comercial de guaraná, cujo cultivo ocorre nos estados do

Amazonas, Acre, Pará, Rondônia, Bahia e Mato Grosso. Estes estados são os maiores produtores e atendem a demanda do mercado nacional (de 80%) e internacional (de 20%) (IBGE, 2023), sendo o Estado da Bahia o maior produtor, seguido do estado do Amazonas.

A produção de guaraná no Amazonas, é oriunda de cultivos em 24 municípios, com destaque para agricultores familiares e produtores rurais de Maués, Urucará, Presidente Figueiredo, São Sebastião do Uatumã, Parintins e Manacapuru. Estes municípios atendem parte da demanda regional, nacional e também do mercado internacional, principalmente os países europeus como a Alemanha, França e Itália (CONAB, 2019; IDAM, 2023). No entanto, a demanda pelo produto é maior que a oferta, sendo necessário maiores investimentos na implantação de novos cultivos, além da ampliação e revitalização de áreas agricultáveis com a utilização de cultivares mais produtivas, resistentes a pragas e doenças, além do acompanhamento, assistência técnica efetiva e qualificada aos agricultores familiares, organizados em cooperativas, associações e demais grupos de produtores rurais.

O incentivo à produção de guaraná nos municípios amazonenses produtores e aqueles com potencial de cultivo se deve às políticas públicas estaduais e federais, com o fortalecimento dos órgãos de pesquisa, de assistência técnica e extensão rural (ATER), na execução de projetos prioritários e estratégicos de incentivo, fomento e fortalecimento da cadeia produtiva do guaranazeiro.

A prestação dos serviços de assistência técnica e extensão rural aos agricultores familiares e produtores rurais por meio do Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas (IDAM), mediante processos educativos e participativos, com apoio de universidades, institutos de ensino, pesquisa, extensão e fomento, empresas e demais agentes técnicos em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa

Agropecuária (Embrapa), são de fundamental importância para o desenvolvimento e fortalecimento da cadeia produtiva do guaraná, além de assegurar sustentabilidade, cidadania e melhoria da qualidade de vida do público rural que atua na atividade com a cultura do guaraná.

Nos programas de melhoramento de culturas perenes, torna-se necessário a utilização de procedimentos eficientes de seleção, além da seleção de caracteres que tenham correlação com a produção, para otimizar tempo, uso de recursos humanos e financeiros (RESENDE, 2002), pois a seleção baseada apenas no uso de procedimentos biométricos pode resultar na baixa eficiência da seleção de plantas.

Esse longo período de melhoramento do guaraná passa por etapas de seleção de genitores, testes de progênies, avaliação de competição de material de propagação assexuada (clones), a obtenção de sementes de polinização aberta, registro de cultivares junto ao Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), até a fase final de recomendação das cultivares melhoradas. Em virtude disso, faz-se necessário o conhecimento da variabilidade genética do guaranazeiro, e da herança de caracteres de interesse, de modo que sejam utilizadas estratégias de melhoramento eficientes para a seleção de progênies mais produtivas (ATROCH et al., 2010).

O guaranazeiro é uma espécie poliploide, perene, cujo processo de melhoramento genético podendo levar até 30 anos de avaliação para a obtenção de novas cultivares, torna-se necessário a utilização eficiente de recursos financeiros, humanos e tempo nas atividades dos programas de melhoramento, e envolve a seleção e cruzamento de plantas com características desejadas, como resistência a doenças, maior produtividade e qualidade.

Desde o ano de 2003, no estado do Amazonas, as pesquisas com progênies de guaranazeiro foram retomadas por meio do programa de melhoramento desenvolvido pela

Embrapa Amazônia Ocidental (NASCIMENTO FILHO E ATROCH, 2002), inclusive com a disponibilização das progênies avaliadas neste trabalho.

Testes de progênies são comumente utilizados nos programas de melhoramento genético de plantas, inclusive no guaranazeiro. O referido método permite conhecer a magnitude e a natureza da variância genética disponível nas progênies, quantificar os ganhos com a seleção de indivíduos superiores a partir das melhores estratégias de seleção de plantas a serem adotadas em futuros ciclos de melhoramento, baseado nas estimativas dos parâmetros genéticos (RESENDE, 2002; CRUZ E REGAZZI, 2004).

Dessa forma, busca-se utilizar procedimentos para seleção que possam envolver a estimação de componentes de variância pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição dos valores genotípicos pela melhor predição linear não viesado (BLUP), não confundindo os efeitos genotípicos e ambientais (RESENDE, 2002).

O REML/BLUP tem-se destacado nos programas de melhoramento de plantas como o principal procedimento para a estimação de parâmetros genéticos em espécies perenes, por predizer os valores genéticos associados às observações fenotípicas, ajustando-se os dados aos efeitos fixos e ao desbalanceamento experimental (RESENDE, 2002), resultando numa maior acurácia, melhor eficiência, além poder informativo maior que o método de análise de variância-ANOVA (RESENDE, 2004).

O uso de modelos mistos além da cultura do guaranazeiro (ATROCH et al., 2004; ATROCH et al., 2010, ATROCH et al., 2011, ATROCH et al., 2013) é aplicado em outras espécies perenes, frutíferas e florestais (FARIAS NETO e RESENDE, 2001; RESENDE et al., 2002), pois nesse tipo de modelo a seleção é baseada em procedimentos que não confundem os efeitos genotípicos e ambientais.

Outro tipo de avaliação para a seleção de genótipos (progênes) diz respeito a adaptabilidade e estabilidade. A adaptabilidade refere-se à capacidade de um genótipo aproveitar as variações do ambiente e a estabilidade refere-se à capacidade dos genótipos apresentarem comportamento altamente previsíveis mesmo com essas variações (BORÉM e MIRANDA, 2009; CRUZ et al., 2012), isto é, em diferentes condições ambientais, esse genótipo deve apresentar alta produtividade e com superioridade estável.

Portanto, para garantir a oferta de material genético e produtivo, bem como apresentar altos teores de cafeína, entre outras propriedades nutricionais, energéticas, medicinais e estimulantes desejáveis, faz-se necessário o uso de estratégias mais eficientes de melhoramento da cultura, visando conhecer a magnitude e a natureza da variância genética disponível em progênes de guaranazeiro, além de quantificar os ganhos com a seleção de indivíduos superiores e predizer os melhores métodos a serem utilizados na seleção de plantas para futuros ciclos de melhoramento baseado nas estimativas dos parâmetros genéticos, e com isso identificar e desenvolver cultivares mais promissoras e de alto desempenho visando o cultivo na agricultura familiar, e assim o Estado do Amazonas possa alcançar uma melhor produtividade, retomando a liderança na produção nacional.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Estudar a variabilidade genética, estimar parâmetros genéticos e fenotípicos, predizer valores genéticos e estimar componentes de variância para produção de frutos em progênes de meios-irmãos de guaranazeiro.

## **2.2. Objetivos específicos**

Investigar a variabilidade genética entre e dentro de progênes de guaranazeiro.

Analisar a estabilidade e adaptabilidade das progênes durante duas safras utilizando a metodologia REML/BLUP.

Selecionar duas progênes de guaranazeiros mais produtivas e os indivíduos de melhor desempenho a serem utilizados em programas de melhoramento da cultura no Estado do Amazonas.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1. Importância econômica e social do guaraná**

O guaranazeiro *Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke é uma espécie tropical, dicotiledônea, poliploide e alógama, pertencente à família botânica Sapindaceae de grande importância social e ambiental na Amazônia brasileira, sendo cultivada pelos povos originários há muitos anos (ATROCH et al., 2009).

Os índios Sateré-Maué foram os responsáveis pela domesticação do guaraná na região de Maués, no estado do Amazonas. As propriedades nutricionais, energéticas, medicinais e estimulantes despertaram o grande interesse pela cultura, em forma de cultivos comerciais em diversas regiões do Brasil e, atualmente, também são utilizados na recuperação de áreas degradadas na região como componentes de sistemas de cultivos consorciados (PINTO et al., 2020).

A palavra guaraná é de origem indígena na língua tupi e significa “bebida dos senhores” (MONTEIRO, 1965). O Brasil, único país produtor comercial de guaraná a nível mundial, os cultivos atendem a demanda do mercado nacional e internacional e ao longo das últimas décadas, as áreas de cultivo de guaranazeiros expandiram além da região Amazônica.

A cultura do guaraná atualmente é produzida nos estados do Amazonas, Acre, Pará, Rondônia, Roraima, Bahia e Mato Grosso. O alto teor de cafeína encontrado nas sementes do guaraná desperta o interesse da indústria farmacêutica e alimentícia, cuja demanda mundial crescente torna necessária a expansão dos cultivos e melhoria da produtividade em diferentes regiões do país (SCHIMPL et al., 2013).

As sementes secas e beneficiadas de guaraná, principal produto comercializado na agricultura, apresentam alto teor de cafeína (2,5 a 7%), cerca de 2 a 5 vezes mais que as sementes de café, e mais cafeína do que é encontrado no mate e no cacau. Na constituição química das sementes de guaraná também são encontrados amido, tanino, teobromina, teofilina, catequina, epicatequina, procianidinas, fósforo, potássio, ferro, cálcio, tiamina, vitamina A e açúcares (NINA et al., 2021; TORRES et al., 2022). Estas substâncias fazem parte da matéria-prima utilizada na fabricação de extrato concentrado, xaropes, sucos, pós-solúveis, bastões, na fabricação de refrigerantes, produtos fármacos, fitoterápicos, cosméticos, suplementos alimentares nutracêuticos, dietéticos e energéticos, entre outros derivados (SOUSA et al., 2010; ALVES, 2022).

A maior parte da produção de guaraná é consumida no país, porém a quantidade exportada, principalmente em forma de extrato concentrado, em forma de pó e sementes torradas está aumentando anualmente (ATROCH, 2009). 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 (SCHIMPL et al., 2013; FIGUEROA, 2016; PINTO, 2020; IBGE, 2023).

O Brasil produziu em 2022 cerca de 2.460 toneladas de sementes secas de guaraná em uma área colhida de 10.762 ha, com produtividade média de 237 kg.ha<sup>-1</sup> em 6.644 estabelecimentos rurais (unidades de produção familiar e empresarial) (IBGE, 2023).

Dentre os estados que se destacam, a Bahia é o maior produtor de guaraná no Brasil (63,2%), seguido pelo Estado do Amazonas (27,9%), Mato Grosso (4,8%), Rondônia (3,2%) e Pará (0,93%). O valor da produção nacional foi de R\$ 45,7 milhões no ano de 2022 (IBGE, 2023; CONAB, 2023).

Em relação ao Amazonas a produção de guaraná em 2022 foi de 686 toneladas, em uma área colhida de 4.729 ha, com produtividade média de 157 kg.ha<sup>-1</sup> em 1.701 estabelecimentos rurais, com valor total da produção de R\$ 18,7 milhões. As atividades rurais com plantio de guaraná no Amazonas são desenvolvidas por aproximadamente 3,8 mil agricultores familiares em 24 municípios. Os maiores produtores são Maués e Urucará, contudo também se destacam os municípios de Presidente Figueiredo, São Sebastião do Uatumã, Manacapuru, Boa Vista do Ramos e Apuí (CONAB, 2019; IBGE, 2023; IDAM, 2023).

No ano de 2022, o município de Maués foi o principal produtor, com 344 toneladas de sementes de guaraná, em 2.645 ha de área colhida e renda estimada em R\$ 11 milhões de reais, seguido do município de Urucará com a produção de 90 toneladas de sementes secas, em 515 ha de área colhida e renda de R\$ 2,2 milhões de reais (IBGE, 2023). O guaraná de Maués e Urucará se destacam no mercado nacional e também no mercado internacional, principalmente em países europeus como a Alemanha, França e Itália.

O município de Maués foi o maior produtor de guaraná a nível nacional, porém devido a problemas fitossanitários, a senescência dos plantios e a falta de renovação dos guaranazais, fizeram com que o município e o estado do Amazonas perdessem a liderança na produção para o Estado da Bahia, no final da década de 80.

A retomada da produção de guaraná no Amazonas demonstra boas perspectivas em razão da disponibilidade de novos materiais genéticos desenvolvidos pela Embrapa. Estes cultivares estão sendo distribuídos aos produtores das principais regiões produtoras do Amazonas com apoio dos órgãos de assistência técnica e extensão, pesquisa e empresas instaladas em municípios produtores.

A produção técnico-científica e o fornecimento de material genético (sementes e mudas) de cultivares produtivas, de bom desempenho agrônômico e industrial por meio da Embrapa Amazônia Ocidental em conjunto com o IDAM, nos municípios produtores, permite a instalação de unidades demonstrativas, unidades de referência tecnológica, a oferta de capacitação aperfeiçoamento dos beneficiários, visitas técnicas, intercâmbios, excursões e dias de campo que auxiliam na obtenção do conhecimento e adoção de novas tecnologias, garantindo melhores condições de cultivo e manejo, além da possibilidade de acesso ao crédito rural, novos mercados, além de oportunizar aos agricultores familiares e produtores rurais a implantação de novas áreas de cultivo, visando a ampliação e revitalização de áreas com a cultura do guaraná já existentes.

A crescente demanda pelo produto em função das indústrias de concentrados instaladas no Polo Industrial de Manaus e demais empresas interessadas nos derivados do guaraná, políticas de incentivo ao selo de indicação geográfica (IG) de procedência e denominação de origem em Maués, produção orgânica e certificada em Urucará e São Sebastião

do Uatumã, projetos de incentivo desenvolvidos pelo órgão de ATER e apoio da pesquisa, além da melhora no preço pago nas últimas safras, vem estimulando os produtores rurais e potencializado oportunidades de novos investimentos na produção rural familiar e empresarial, visando atender a demanda existente.

No ano de 2022, o preço pago ao agricultor familiar chegou a R\$ 60,00 por quilo de sementes secas no município de Maués (IDAM, 2023) e o preço médio no Estado do Amazonas no mês de agosto de 2023 foi de R\$ 43,61/kg (CONAB, 2023).

### **3.2. Variabilidade genética**

O guaranazeiro é uma espécie poliploide (FREITAS et al., 2007) e alógama que apresenta ampla variabilidade fenotípica, entretanto sua variabilidade genética é pequena, porém suficiente nas populações para a seleção de indivíduos superiores com o maior número de características desejáveis para uso direto pelos agricultores e ser explorada nos programas de melhoramento genético (NASCIMENTO FILHO et al., 2001a).

O guaraná foi caracterizado e vem sendo avaliado tanto na variabilidade morfométrica quanto na variabilidade genética molecular (ATROCH, 2009). Essa constatação é com base em mais de 46 anos de estudos com a cultura na região. Nesse período foram lançadas 20 cultivares de guaranazeiro (MAPA, 2023) desenvolvidas por meio do programa de melhoramento da Embrapa Amazônia Ocidental.

O conhecimento do sistema reprodutivo da espécie é de fundamental importância para a escolha dos métodos de melhoramento mais adequados e eficientes, além de auxiliar no entendimento sobre a variabilidade da espécie. A variabilidade de caracteres na cultura do

guaraná vem sendo estudada em germoplasma cultivado, tanto em áreas de agricultores familiares, produtores rurais e também em áreas experimentais (ATROCH et al., 2009).

A variabilidade de características qualitativas e quantitativas em guaranazeiro foi avaliada por Corrêa (1989), em progênes de polinização aberta e também em 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 Serviço Nacional de Proteção de Cultivares por meio do Ato nº 10 de 30/12/2010, divulgou os vinte descritores da espécie *Paullinia cupana* var. *sorbilis* publicado no Diário Oficial da União nº 251 de 31 de dezembro de 2010 (páginas 34-35). As instruções constantes visam estabelecer diretrizes para as avaliações de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade (DHE), a fim de uniformizar o procedimento técnico de comprovação de que a cultivar apresentada é distinta de outra(s) a partir de descritores conhecidos, é homogênea quanto às suas características dentro de uma mesma geração e é estável quanto à repetição das mesmas características ao longo de gerações sucessivas (BRASIL, 2010).

Os vinte descritores oficiais para o guaranazeiro registrados no MAPA são na planta: comprimento dos ramos, arquitetura; folha: forma, cor da folha jovem, pigmentação antocianínica, coloração verde da folha, intensidade da pigmentação antocianínica, bulado da superfície da face superior do limbo foliar, brilho da face superior, rudimentos foliares na

raquis, forma dos rudimentos foliares na raquis; racemo: densidade de frutos, comprimento; fruto: forma, coloração, superfície do pericarpo, tamanho, intensidade do brilho; semente: teor de cafeína e época de maturação dos frutos (BRASIL, 2010).

Com a recente descoberta da poliploidia (FREITAS et al., 2007), parte dessa variabilidade pode ser atribuída à epistasia entre os numerosos genes codificadores de diferentes características morfológicas (STEBBINS, 1985). Espécies poliploides sofrem alterações fenotípicas, fisiológicas e químicas em sua estrutura vegetal, o que pode explicar a maior variabilidade morfométrica observada em plantas de guaranazeiro.

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. A produção de sementes secas é a principal característica de interesse econômico do guaraná (NASCIMENTO FILHO et al., 2001a).

Nascimento Filho et al. (1994) estudaram 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. Um dos parâmetros de grande importância para estudo de caracteres quantitativos em plantas propagadas vegetativamente é o coeficiente de determinação genotípica, o qual é utilizado em sentido análogo ao coeficiente de herdabilidade de sentido amplo (NASCIMENTO FILHO et al., 1994).

Estudos com a cultura do guaraná identificaram clones produtivos e divergentes que podem 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 (NASCIMENTO FILHO et al., 2001).

Nos programas de melhoramento com a cultura do guaraná, a seleção recorrente intraespecífica tem sido utilizada, haja vista ser um método bastante utilizado também em espécies alógamas perenes, como no eucalipto, pinheiro e seringueira, sendo de grande importância para o êxito na seleção (ATROCH et al., 2009). Esta técnica de melhoramento permite o aumento da 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).

As análises genético-moleculares são utilizadas para acompanhar a variabilidade das matrizes e suas progênes, bem como para ajudar na identificação das matrizes divergentes que podem contribuir para a ampliação da variabilidade genética, pois o conhecimento da variabilidade genética vegetal entre matrizes e entre e dentro de suas progênes obtidas permite a identificação mais precisa das matrizes representativas da variabilidade genética existente nas populações. No entanto, 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

(OLIVEIRA et al., 2007; ATROCH et al., 2009).

### **3.3. Melhoramento genético do guaranazeiro**

De acordo com RESENDE et al. (2005), os principais fatores que garantem o sucesso de um programa de melhoramento são: estratégia adequada de melhoramento, eficiência no processo seletivo e curtas gerações de melhoramento. A eficiência do processo seletivo é dada, sobretudo, por uma adequada abordagem conceitual que deve ser aplicada no processo de avaliação genética dos candidatos à seleção.

Neste sentido, a Embrapa Amazônia Ocidental, com sede em Manaus, desenvolve atividades de melhoramento com a cultura do guaraná nos campos experimentais na sede em Manaus e Maués e em outros municípios, como Iranduba, Parintins, Urucará e Presidente Figueiredo, além de outras ações de pesquisa nos demais municípios amazonenses em parceria com prefeituras e órgão de assistência técnica e extensão rural (ATROCH et al., 2015).

É a instituição responsável pela conservação dos recursos genéticos do guaranazeiro no Brasil e possui um banco de germoplasma no campo experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, localizado na rodovia AM-010, Manaus–Itacoatiara, no km 29, zona rural no município de Manaus e em Maués, região do Baixo Rio Amazonas (NASCIMENTO FILHO et al., 2001b; ATROCH et al., 2009).

As seleções fenotípicas de matrizes superiores, realização de cruzamentos biparentais, e de autofecundações seguida da avaliação de progênies tiveram início no ano de 1976, no Campo Experimental de Manaus, Maués e em áreas de produtores no Estado do Amazonas e foram identificadas inicialmente 36 matrizes de uma população oriunda de plantios de

produtores com 3.074 plantas de guaraná com idade variando de 9 a 20 anos (ATROCH, 2001; ATROCH E NASCIMENTO FILHO, 2007).

Todo germoplasma cultivado de forma comercial no Brasil é originário do município de Maués, e o germoplasma que deu origem aos programas de melhoramento genético foi coletado em populações de cultivo, em locais próximos às cidades de Maués, Iranduba e de Manaus, no Estado do Amazonas. 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; ATROCH et al., 2009).

O germoplasma de guaraná mais antigo foi coletado no ano de 1950, no Campo Experimental da Embrapa no município de Maués em um plantio tradicional que ficou dentro dos limites do referido campo experimental e posteriormente as coletas ocorreram nos anos de 1986 e 1987 (ATROCH et al., 2009).

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 Agrônômico 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. 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 (ATROCH et al., 2009).

No ano de 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. Os experimentos foram desenvolvidos 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 (PEREIRA et al., 2007; ATROCH et al., 2009).

Entre 1999 e 2000, a Embrapa Amazônia Ocidental lançou os 12 primeiros clones de guaranzeiro para plantio no Estado do Amazonas e desse período até os dias atuais existem 20 cultivares registradas no Sistema de Registro Nacional de Cultivares (CultivarWeb) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2023).

No melhoramento genético de plantas, o objetivo geral é a identificação e a seleção de genótipos superiores, quanto à produtividade, visando obter o que se denomina ideótipo de planta (BUENO et al., 2001). Na cultura do guaraná, além da produtividade, outras características como o teor de cafeína, qualidade de frutos, precocidade e fitossanidade, são de interesse dos melhoristas.

O programa de melhoramento coordenado pela Embrapa Amazônia Ocidental no Estado do Amazonas tem como objetivo principal de selecionar material genético de guaraná com boa produtividade com resultados de produção acima de 1,5 kg de sementes secas por planta, além da ampla adaptabilidade, boa estabilidade, tolerância às principais doenças que ocorrem nos cultivos que são a antracnose (*Colletotrichum guaranicola*) e o superbrotamento (*Fusarium decemcellulare*), e com melhor qualidade de frutos (alto teor de cafeína), resistência à queda na maturação e maturação mais uniforme (NASCIMENTO FILHO e ATROCH, 2002).

A produção de frutos e produtividade de sementes são os critérios mais importantes na seleção de plantas. O período mínimo de avaliação de produtividade é de cinco anos

(NASCIMENTO FILHO, 2003; ATROCH et al., 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. 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).

No ano de 2003, foram avaliadas pelo Programa de Melhoramento de Guaranazeiro da Embrapa Amazônia Ocidental, 36 progênies para 10 caracteres morfoagronômicos, incluindo resistência às doenças antracnose, superbrotamento e produção de frutos, em três safras consecutivas, num delineamento experimental de blocos ao acaso, com duas repetições e seis plantas por parcela. Na referida pesquisa, os componentes de variância, parâmetros e valores genéticos e fenotípicos foram estimados pelo procedimento REML/BLUP e na obtenção dos resultados foi constatado a existência de variabilidade fenotípica e genética entre as progênies avaliadas para o caráter de produção de frutos. A seleção de indivíduos para produção de sementes e composição da população de melhoramento deram origem às seis progênies a serem avaliadas no presente trabalho (ATROCH et al., 2010).

A seleção de variedades de polinização aberta visa identificar material genético que possam ser cultivadas no Amazonas e que incluam ampla adaptabilidade, boa estabilidade e resistência às principais doenças da cultura do guaraná que são a antracnose e o superbrotamento (ATROCH et al., 2009) A contribuição dos métodos de seleção que incorporam a estabilidade e a adaptabilidade em uma única estatística, são considerados superiores, em comparação àqueles que usam apenas a produção como critério de seleção (RESENDE 2007).

### **3.4. Seleção de plantas com teste de progênies**

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

Esse método foi utilizado no programa de melhoramento genético da Embrapa Amazônia Ocidental desde o ano de 1976 até final dos anos 80, e por conta de alta incidência de antracnose nas progênies testadas, não foi possível a conclusão das pesquisas sobre as melhores progênies (PEREIRA et al., 2007; NASCIMENTO FILHO, 2007).

Em áreas de estudo da Embrapa Amazônia Ocidental foi realizado a seleção de matrizes nos teste de progênies no final da década de 70 e início da década 80 e com o domínio da técnica de enraizamento de estacas de guaraná, foi possível o início do desenvolvimento de clones, selecionando material genético dos referidos testes de progênies e também em áreas de cultivo de produtores rurais. 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 no Estado do Amazonas e são conduzidos experimentos de avaliação de clones nos municípios de Manaus, Iranduba e Maués (ATROCH e NASCIMENTO FILHO, 2007; ATROCH et al., 2009).

Atualmente, a abordagem ótima e padrão é o procedimento REML/BLUP para estimação de componentes de variância/predição de valores genéticos. Tal procedimento conduz a máxima acurácia seletiva e máximo ganho genético. A eficiência do processo seletivo depende também de uma adequada experimentação em termos de delineamentos experimentais eficientes e adequado tamanho de parcelas e de blocos. Em plantas perenes, experimentos (exceto aqueles na fase final de recomendação de cultivares) com uma planta por parcela propiciam uma série de vantagens (RESENDE et al., 2005).

Os melhoristas de plantas perenes necessitam encurtar os ciclos seletivos e ter maior agressividade no lançamento de cultivares. Acumular dados experimentais na mesma geração pouco impacta o melhoramento de plantas perenes. A perspectiva é de que ciclos mais curtos serão necessários principalmente nos programas de melhoramento desenvolvidos por instituições públicas. As ferramentas precisas de seleção atualmente disponíveis (REML/BLUP) permitem a adoção segura da seleção precoce (RESENDE et al., 2005).

No estado do Amazonas, as pesquisas com progênies de guaranazeiro foram retomadas a partir do ano de 2003, através do programa de melhoramento da cultura do guaraná por meio de seleção recorrente com avaliação e seleção entre e dentro de progênies em pesquisa desenvolvida pela Embrapa Amazônia Ocidental com a seleção de matrizes para implantação de experimento de avaliação de 36 progênies de meios-irmãos, após um período bem sucedido de competição e recomendação de clones (ATROCH et al., 2004, 2013, 2015).

As progênies foram obtidas de plantas provenientes de ensaios de competição de progênies e de ensaios de competição de clones avaliados pela Embrapa Amazônia Ocidental, nos quais foram selecionadas, como matrizes (genitor feminino), as melhores plantas individuais quanto à produção e resistência a doenças (ATROCH et al., 2010, 2013).

Na ocasião foram avaliados os caracteres de altura das plantas, número de folhas, número de ramos e diâmetro do caule, a resistência à antracnose e ao superbrotamento, e a produção inicial de frutos por planta (ano de 2005) foram avaliados aos 24 meses após o plantio. Com a finalidade de avaliar o potencial produtivo das progênes, a produção de frutos (em gramas de frutos frescos por planta) foi medida em três anos consecutivos, 2006, 2007 e 2008. No mesmo estudo, foram estimados componentes de variância, parâmetros genéticos e valores genéticos pelo procedimento REML/BLUP (ATROCH et al., 2010).

A partir dos valores genéticos aditivos encontrados no estudo iniciado em 2003, foram propostas duas estratégias de seleção: a curto prazo, com a seleção dos 20 melhores indivíduos, com a finalidade de produção de sementes; e a longo prazo, com 50 indivíduos, para compor a população de melhoramento. Foram estimadas m medidas para obter o real valor das progênes, em termos de produção de frutos, com a máxima eficiência e correlações genéticas entre todos os caracteres morfoagronômicos, conforme Resende (2002). Também foi realizada a análise com o índice de seleção Mulamba-Rank, envolvendo dez características morfoagronômicas, inclusive a produção da fase juvenil (ATROCH et al., 2010).

### **3.5. Metodologia REML/BLUP**

Com a utilização do método REML (máxima verossimilhança restrita) é possível estimar os componentes de variância e o BLUP (melhor predição linear não-viesado), prediz os valores genotípicos (RESENDE, 2007). Com uso da técnica REML/BLUP, os valores genotípicos são considerados como aleatórios e os efeitos de blocos, ambientes, safras, entre outros podem ser assumidos como fixos ou aleatórios. Esse procedimento analítico padrão é

recomendado no uso da seleção em plantas perenes, ou seja, a estimação de componentes da variância por máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição de valores genéticos pela melhor predição linear não-viesado (BLUP), desenvolvidos por Patterson e Thompson (1971), estão associados a um modelo linear misto (RESENDE, 2002).

O REML/BLUP tem-se destacado nos programas de melhoramento de plantas como o principal procedimento para a estimação de parâmetros genéticos em espécies perenes, por predizer os valores genéticos associados às observações fenotípicas, ajustando-se os dados aos efeitos fixos e ao desbalanceamento experimental (RESENDE, 2002), resultando numa maior acurácia, melhor eficiência, além poder informativo maior que o método de análise de variância-ANOVA (RESENDE, 2004).

Outro tipo de avaliação para a seleção de genótipos (progênies) diz respeito a adaptabilidade e estabilidade. A adaptabilidade refere-se à capacidade de um genótipo aproveitar as variações do ambiente e a estabilidade refere-se à capacidade dos genótipos apresentarem comportamento altamente previsíveis mesmo com essas variações (BORÉM e MIRANDA, 2009; CRUZ et al., 2012), isto é, em diferentes condições ambientais, esse genótipo deve apresentar alta produtividade e com superioridade estável.

A análise REML/BLUP baseia-se na relação em que quanto menor for o desvio-padrão do comportamento genotípico através dos ambientes, maior será a média harmônica de seus valores genotípicos através dos ambientes ou safras. Dessa forma, a seleção pelos maiores valores genotípicos da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) implica simultaneamente seleção para produtividade e estabilidade (CARVALHO et al., 2016).

Dentre as principais vantagens do REML/BLUP existe a possibilidade de comparar progênies ou variedades através do tempo (gerações e anos) e espaço (locais e blocos); a não

exigência de dados obtidos sob estruturas rígidas experimentais; é possível a correção simultânea dos efeitos ambientais, além da estimação de componentes de variância e a predição de valores genéticos, com a possibilidade de trabalhar estruturas complexas de dados (medidas repetidas, diferentes anos, locais, safras e delineamentos). Outras vantagens do REML/BLUP é a aplicação a dados desbalanceados, utilização simultânea de inúmeras informações, provenientes de diferentes gerações, locais e idades, gerando as estimativas e as predições mais concisas (RESENDE, 2002).

Dentre os novos métodos de análise para seleção de plantas com maior adaptabilidade e estabilidade, destaca-se a média harmônica do desempenho relativo dos valores genéticos (MHPRVG), pois essa análise permite selecionar de forma simultânea as plantas de melhor desempenho, além da distribuição mais uniforme, com menor variação entre as colheitas (RESENDE, 2002)

A adaptabilidade é referente ao desempenho relativo dos valores genotípicos (PRVG) através dos ambientes ou safras. Nesse caso, os valores genotípicos são expressos como proporção da média geral de cada ambiente, ou safra e, posteriormente, obtém-se o valor médio dessa proporção através dos ambientes (CRUZ E REGAZZI, 2001; SILVA et al., 2012).

Com a seleção simultânea para produtividade, estabilidade e adaptabilidade, no contexto dos modelos mistos, utilizando o método da média harmônica do desempenho relativo dos valores genéticos preditos (MHPRVG), é possível selecionar simultaneamente pelos três atributos mencionados (RESENDE, 2004) Na metodologia dos modelos mistos, desenvolvida por HENDERSON (1975), outra vantagem é que, na existência de efeitos de natureza fixa e aleatória, há possibilidade de fazer a predição de efeitos aleatórios na presença de efeitos fixos.

Com o modelo misto, os blocos, os ambientes podem ser considerados efeitos fixos, mas podem influenciar nos efeitos aleatórios ou genéticos. Com essa metodologia é possível gerar estimativas não tendenciosas, conduzindo à maximização do ganho genético, por avaliar e fazer o ordenamento das famílias visando a seleção mais precisa. O REML/BLUP permite ainda obter estimativas de valores genotípicos ou médias genotípicas de indivíduos com alta acurácia (GOMES JÚNIOR et al., 2015). Nos programas de melhoramento de plantas perenes esse método é bastante utilizado por ser um procedimento ótimo de seleção e adequado tanto para dados balanceados quanto desbalanceados (RESENDE, 2002; RESENDE, 2007).

A análise de máxima verossimilhança restrita/melhor preditor linear não viesado (REML/BLUP) baseia-se nas seguintes premissas: quanto menor for o desvio-padrão do comportamento genotípico entre dois locais, anos ou safras, maior será a média harmônica de seus valores genotípicos entre dois locais. Assim, a seleção pelos maiores valores da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) implica simultaneamente seleção para produtividade e estabilidade. Em termos de adaptabilidade, refere-se ao desempenho relativo dos valores genotípicos (PRVG) através dos ambientes ou safras. Nesse caso, os valores genotípicos preditos são expressos como proporção da média geral de cada safra e, posteriormente, obtém-se o valor médio dessa proporção através dos locais. A seleção simultânea por produtividade, estabilidade e adaptabilidade, no contexto dos modelos mistos, pode ser realizada pelo método da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos (MHPRVG) preditos (SILVA et al. 2011; ROSADO et al. 2012).

Dessa forma, a utilização dos métodos de modelos lineares mistos, em especial nos programas de melhoramento com a cultura do guaraná pode ser de fundamental importância na seleção de material genético de boa produtividade com resultados acima de 1,5 kg de sementes

secas por planta/ano, aumentando a cada ano até atingir 2,0 kg por planta ou mais, buscando-se encontrar variedades clonais e de polinização aberta que devem ser selecionadas a partir desse padrão de produtividade (ATROCH et al., 2009), e assim o Estado do Amazonas possa alcançar uma melhor produtividade com a cultura, retomando a liderança na produção nacional.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Local da Pesquisa**

O experimento foi conduzido em área do Campo Experimental, com coordenadas geográficas: 02° 53' 36'' S e 59° 59' 29'' W, com 91 metros de altitude acima do nível do mar, de propriedade da Embrapa Amazônia Ocidental situada no km 29 da rodovia estadual AM 010 (Manaus-Itacoatiara), zona rural de Manaus, Estado do Amazonas, Brasil (Figura 1).

O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo, muito argiloso e de baixa fertilidade natural. O clima na região conforme a classificação de Köppen é do tipo Af, tropical chuvoso, com a temperatura média anual de 25,7 °C, média máxima de 30,5 °C e média mínima de 20,2 °C, com precipitação pluviométrica média anual de 2.089 mm e com a umidade relativa do ar média de 87%.

A adubação, os tratos culturais e manejo das plantas foram realizados de acordo com o recomendado no sistema de produção da cultura do guaraná (PEREIRA, 2005).



Figura 1. Local do experimento: área de pesquisa da Embrapa Amazônia Ocidental, Rodovia AM 010 km 29 (Estrada Manaus-Itacoatiara), Manaus-AM.

#### **4.2. Delineamento experimental e progênies avaliadas**

Foram avaliadas seis progênies de meios-irmãos de guaranazeiro, em delineamento experimental de blocos ao acaso (DBC) com três repetições e oito plantas por parcela, dispostas em duas fileiras de quatro plantas, no espaçamento de 5 m x 5 m, totalizando 144 plantas (Figura 2 e 3).

O experimento foi implantado na área do pesquisa da sede da Embrapa Amazônia Ocidental no mês de abril de 2014 e as progênies utilizados neste trabalho são identificadas como P64, P70, P207, P305, M319 (BRS Noçoquém) e P382.

As progênies de meios-irmãos foram obtidas de plantas provenientes de um ensaio de competição de progênies avaliado pela Embrapa Amazônia Ocidental durante 10 anos no Campo Experimental de Maués, nos quais foram selecionadas como matrizes (genitor feminino) as melhores plantas individuais quanto à produção e resistência a antracnose.

A produção de frutos ( $\text{g.planta}^{-1}$ ), a adaptabilidade e estabilidade foram medidas em

duas safras, de 2018 e de 2022.



Figura 2. Progênies de guaranazeiros em área de pesquisa. Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas, Brasil. 2023. Foto: Pedro Chaves da Silva.



Figura 3. Plantas de guaranazeiro *Paullinia cupana* var *sorbilis* em área experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM. Foto: Pedro Chaves, 2023.

As atividades de avaliação, manejo e tratamentos culturais (capinas, adubação, podas de limpeza, podas fitossanitárias e podas de frutificação) na área do experimento com guaraná localizado no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus, foram retomadas após o período da Pandemia do COVID-19 ocorrido no Brasil e no mundo, nos anos

de 2020 e 2021, resultando na avaliação da safra produtiva inicial no ano de 2018 e segunda safra avaliada no presente estudo no ano de 2022.

### **4.3. Colheita de frutos**

Na cultura do guaranazeiro, a floração (Figura 4), frutificação e maturação dos frutos (Figura 5) são fases vegetativas e reprodutivas que antecedem o período de colheita (Figura 6).



Figura 4. Detalhe da floração em planta de guaranazeiro.  
Foto: Pedro Chaves, 2023.

As colheitas dos frutos de guaraná na área experimental foram realizadas com auxílio de técnicos e auxiliares de campo lotados no campo experimental da Embrapa. Foram realizadas colheitas referente as safras do ano de 2018 nos meses de setembro a dezembro e no mesmo período no ano de 2022 (Figura 6).



Figura 5. Detalhe de frutificação de guaraná e frutos em fase de maturação na mesma planta. Foto: Pedro Chaves, 2023.



Figura 6. Detalhe da colheita de frutos de guaraná em área de pesquisa (A e B). Campo Experimental da Embrapa, Manaus, Amazonas, Brasil, 2023.

Após cada colheita em plantas individuais e produtivas, era feito a identificação das amostras, isto é, os frutos colhidos com auxílio de tesoura de poda, baldes plásticos e após a colheita realizada em cada planta, os frutos eram colocados em embalagens plásticas transparentes e os frutos maduros, incluindo a ráquis, o pericarpo e as sementes com arilo (Figura 7 e 8).



Figura 7. Detalhe de frutos de guaraná colhidos por planta.



Figura 8. Frutos de guaraná colhidos em cada planta (progênies) na área experimental da Embrapa Amazônia Ocidental. 2023.

A produção de frutos colhidos na área experimental era levada em veículo tipo pick-up até o laboratório técnico, na sede da Embrapa, para avaliação e medição da massa fresca dos frutos (g) em balança digital no mesmo dia, com intervalo de 10 minutos após a chegada em laboratório (Figura 9).



Figura 9. Balança digital utilizada para medição da massa de frutos (g) de guaraná. Embrapa Amazônia Ocidental, 2023.

Os dados obtidos em campo foram anotados e tabulados em planilha computadorizada após cada colheita que se iniciou em setembro e concluindo em dezembro de 2018 (safra 1) e de setembro até o mês de dezembro de 2022 (safra 2).

#### 4.4. Modelo estatístico

O modelo genético-estatístico do SELEGEN (RESENDE, 2007) utilizado é o modelo 62 (Delineamento em blocos completos com resultado por indivíduo e safra, com estabilidade e adaptabilidade temporal pelo Método MHPRVG) que consiste em:

$$y = X\mathbf{m} + Z\mathbf{a} + W\mathbf{p} + Q\mathbf{i} + T\mathbf{s} + \mathbf{e}$$

Em que:

$y$  é o vetor de dados;

**m** é o vetor dos efeitos das combinações medição-repetição (assumidos como fixos) somados à média geral;

**a** é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios);

**p** é vetor dos efeitos de parcela (aleatórios);

**i** é o vetor dos efeitos da interação genótipos x medições (aleatórios);

**s** é o vetor dos efeitos permanentes (aleatórios);

**e** é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios).

Todas as letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

O vetor **m** contempla todas as medições em todas as repetições e ajusta simultaneamente para os efeitos de repetições, medição e interação repetição x medição. É essencial que as medições sejam codificadas com diferentes números nas diferentes repetições (RESENDE, 2007).

Foi considerada a produção individual de cada planta/genótipo (progênes)/safra, e os resultados são expressos em  $g.planta^{-1}$ .

#### **4.5. Análise genético-estatística**

Para análise de variância dos dados de produção de frutos ( $g.planta^{-1}$ ) foi utilizado nível de significância de 5%, e as análises foram feitas no Programa computacional R.

Foram estimados componentes de variância, parâmetros genéticos e fenotípicos e valores genéticos pelo procedimento REML/BLUP, usando o programa Seleção Genética

Computadorizada – SELEGEN-REML/BLUP desenvolvido pela Embrapa e Universidade Federal de Viçosa – UFV/Minas Gerais (RESENDE, 2007).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (ANOVA) não revelou diferença significativa entre os blocos para o caráter produção de frutos nas duas safras avaliadas (Tabela 1). Também não houve diferença significativa entre as progênes, indicando a ausência de variabilidade fenotípica. A fonte de variação anos também foi não significativa, não apresentando efeito na produção de frutos do guaranazeiro.

Com relação à interação das progênes com os anos também foi não significativa, ou seja, não houve troca de classificação entre as progênes de um ano para outro (Tabela 1). A existência de interação genótipos x ambientes é comum no guaranazeiro (NASCIMENTO FILHO et al., 2000; NASCIMENTO FILHO, 2003), mas sua ausência nesse trabalho facilitará a identificação das melhores progênes.

Tabela 1. Análise de variância da produção de frutos de guaranazeiro nas safras de 2018 e 2022. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023.

Fonte de variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	FC	Pr>Fc
Blocos	2	27898440	13949220	1,28872	0,27975
Anos	1	907384	907384	0,08383	0,77272
Progênes	5	43058272	8611654	0,79560	0,55510
Anos x Progênes	5	94066917	18813383	1,73810	0,13183
Resíduo	110	1190651930	10824108		
Total	123	1356582943			

Ao nível de 5% de probabilidade. CV= 69,91%

O coeficiente de variação experimental foi de 69,91%, considerado médio (ATROCH E NASCIMENTO FILHO, 2005). O erro experimental é influenciado, e conseqüentemente o coeficiente de variação, por diversos fatores, tais como o tamanho das parcelas, o número de

repetições, a heterogeneidade dos solos, a cultura e a variável estudada (ESTEFANEL et al., 1987).

Em se tratando de experimentos com plantas perenes, o tamanho das parcelas é grande e o número de repetições geralmente é pequeno, o que pode reduzir 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).

Na cultura do guaraná a fase de frutificação é desuniforme, sendo necessário realizar diversas colheitas por safra para obter-se a produção anual e isso implica em custos de mão de obra. Esta característica associada a falhas nos procedimentos na condução da colheita faz que, normalmente, os coeficientes de variação de produção fiquem acima da média dos coeficientes de variação de outras culturas, principalmente das anuais como arroz, milho e culturas perenes que tem uma frutificação relativamente uniforme e fácil de ser executada, a exemplo dos citros (ATROCH e NASCIMENTO FILHO, 2005).

A produção média de frutos nas duas safras foi de 4.634,689 g.planta<sup>-1</sup> (2018) e 4.819,41 g.planta<sup>-1</sup> (2022) (Tabela 2). A produção máxima de experimentos com a cultura do guaraná pode ser atingida a partir do quinto ou sexto ano de cultivo (NASCIMENTO FILHO, 2003; ATROCH et al., 2004).

Tabela 2. Produção média de frutos das progênies de guaranazeiro por safra nos anos de 2018 e 2022 com base na ANOVA. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023.

Safra (ano)	Produção de frutos (g.planta <sup>-1</sup> )
2022	4.819,41
2018	4.634,68

Os resultados obtidos na avaliação das progênies demonstram que a progênie P382 apresentou a maior média de produção, seguida pelas progênies P305 e P207. A progênie P70 apresentou a menor média de produção de frutos (Tabela 3).

Tabela 3. Médias da produção de frutos de seis progênies de guaraná nas duas safras avaliadas 2018 e 2022. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023.

Ordem	Progênies	Produção de frutos (g.planta <sup>-1</sup> )
1	P382	6.198,57
2	P305	5.170,26
3	P207	4.834,72
4	P64	4.468,20
5	M319	4.240,28
6	P70	3.691,31

### 5.1. Componentes de Variância (REML Individual)

Considerando os componentes de variância (REML individual), a produção de frutos (g.planta<sup>-1</sup>) das progênies avaliadas referente as safras de 2018 e 2022 apresentou a média geral do experimento de 3.450,17 (Tabela 4).

A produtividade média do experimento encontrada por Atroch et al. (2013) em estudos relacionados a estimativas de componentes de variância (REML individual) foi de 5.206,49 g.planta<sup>-1</sup>, superior a média encontrada no presente estudo. A produtividade para seleção de genótipos superiores em programas de melhoramento genético do guaranazeiro da Embrapa Amazônia Ocidental encontra-se em 6.000 g.planta<sup>-1</sup>(ATROCH et al., 2013).

A variância genotípica entre progênies (Vg) foi de 2056,64, a variância ambiental entre

parcelas ( $V_{\text{parc}}$ ) foi de 4716,05, a variância residual temporária ( $V_e$ ) foi de 10846221,86 e a variância fenotípica individual ( $V_f$ ), obteve o valor de 11567753,31.

Tabela 4. Estimativas de componentes de variância (REML Individual) para produção de frutos de guaraná em duas safras 2018 e 2022. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023.

Variância genotípica entre progênes ( $V_g$ )	2056,64
Variância ambiental entre parcelas – $V_{\text{parc}}$	4716,05
Variância da interação genótipos x medições – $V_{\text{gm}}$	180141,44
Variância dos efeitos permanentes- $V_{\text{perm}}$	534617,31
Variância residual temporária – $V_e$	10846221,86
Variância fenotípica individual – $V_f$	11567753,31
Herdabilidade individual entre progênes - $h^2_g$	0,000178 + - 0,0029
Coeficiente de determinação dos efeitos de parcela - $c^2_{\text{parc}}$	0,000408
Coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x medições - $c^2_{\text{gm}}$	0,015573
Coeficiente de determinação dos efeitos permanentes - $c^2_{\text{perm}}$	0,046216
Repetibilidade individual- r	0,046802 + - 0,0465
Correlação genotípica através das medições – $r_{\text{gmed}}$	0,011
Média geral	3450,17

A variância genética entre progênes ( $V_g$ ) foi uma pequena fração (0,018%) da variância fenotípica, como também foi a variância ambiental entre parcelas ( $V_{\text{parc}}$ ) (0,04%). As variâncias dos efeitos permanentes ( $V_{\text{perm}}$ ) e residual ( $V_e$ ) contribuíram com a variância fenotípica ( $V_f$ ), sendo 4,62% e 93,73%, respectivamente. A variância da interação genótipos × medições ( $V_{\text{gm}}$ ) contribuiu para a variância fenotípica ( $V_f$ ), 1,55% (Tabela 4).

A variância genética foi pequena, provavelmente porque a base genética dos clones que originaram as progênes é estreita, segundo Nascimento Filho et al. (2001). A característica produtividade, caráter controlado por vários genes, é grandemente influenciada pelo ambiente, assim, a variância residual tendeu a ser alta (ATROCH et al., 2013).

A herdabilidade individual entre progênes  $h^2_g$  foi de 0,000178 +- 0,0029, indicando

que os efeitos aditivos, genes em homozigose, são baixos. Em estudos com progênies de guaraná, Atroch et al. (2013), obtiveram valor superior para herdabilidade individual entre progênies  $h^2_g$  de  $0,028 \pm 0,014$ .

O coeficiente de determinação dos efeitos de parcela ( $c^2_{\text{parc}}$ ) foi de 0,000408 sendo considerado baixo, o que indica que quase nenhuma variação ambiental permaneceu dentro das parcelas.

Em se tratando do coeficiente de determinação dos efeitos permanentes ( $c^2_{\text{perm}}$ ) no valor de 0,046216 o resultado foi de baixa magnitude, ou seja, a variação ambiental permanente, de um ano para outro, não é importante. O coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x medições ( $c^2_{\text{gm}}$ ) foi de 0,015573 (Tabela 4).

O coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos  $\times$  medições ( $c^2_{\text{gm}}$ ) sobre a produção foi de baixa magnitude, indicando uma baixa variação na produtividade das progênies de uma safra para outra. Já o coeficiente de determinação dos efeitos permanentes ( $c^2_{\text{perm}}$ ) foi de baixa magnitude, indicando uma baixa influência na variação da produção.

De acordo com Atroch et al. (2013), os valores apresentados dos coeficientes no experimento são esperados para a característica produção de frutos, implicando no processo seletivo pelo qual se deve escolher a melhor estratégia para obter maiores ganhos na seleção, ou seja, seleção no nível de progênies ou de indivíduos dentro de progênies, de acordo com o objetivo final de desenvolver variedades de polinização aberta e/ou clones.

A correlação genotípica através das medições ( $rg_{\text{med}}$ ) foi de baixa magnitude (0,011), o que pode indicar que as progênies tiveram desempenho bastante semelhante entre as safras, o que facilita a seleção ao longo dos anos de acordo com Atroch et al. (2013).

A repetibilidade individual ( $r$ ) para produção de frutos foi de 0,046802 +- 0,0465, considerada de baixa magnitude (Tabela 4), 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).

## 5.2. Componentes de Média (BLUP Individual)

Em relação aos componentes de médias (BLUP Individual) para seleção de genótipos (progênies) em todas as safras (2018 e 2022) destacaram-se as progênies P305 e P64.

A progênie P305 apresentou o efeito genotípico predito de 2,4187 e valores genotípicos preditos de 3452,59, ganho genético de 2,41, nova média de 3452,59 e o valor genotípico médio nos ambientes de 3558,52, seguida da progênie P64 com o efeito genotípico predito de 1,50, valor genotípico predito de 3451,68, ganho genético de 1,96, nova média de 3452,13 e o valor genotípico médio nas safras de 3517,81 (Tabela 5).

Tabela 5. Estimativas de componentes de médias (BLUP Individual) para seleção de genótipos (progênies) em todas as safras. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023.

Ordem	Genótipo	g	$\mu + g$	Ganho	Nova Média	$\mu + g + gem$
1	P305	2,41	3452,59	2,41	3452,59	3558,52
2	P64	1,50	3451,68	1,96	3452,13	3517,81
3	P382	1,00	3451,17	1,64	3451,81	3495,13
4	P207	0,25	3450,42	1,29	3451,47	3461,60
5	P70	-1,46	3448,70	0,74	3450,91	3384,50
6	M319	-3,72	3446,45	0,00	3450,17	3283,46

g: efeito genotípico predito;  $\mu + g$ : média genotípica ou valores genotípicos;  $\mu + g + gem$ : valor genotípico médio nas várias safras.

A progênie M319 apresentou o menor efeito genotípico predito de -3,72, valor genotípico predito de 3446,45, nova média de 3450,17, valor genotípico médio nos ambientes de 3283,46, e não apresentou ganho (Tabela 5).

Esses resultados são referentes ao efeito genotípico predito (g) e média genotípica ou valores ( $\mu+g$ ) genotípicos preditos, livres de toda interação com ambientes (safras, no caso). A quantidade ( $\mu+g+gem$ ) refere-se ao valor genotípico médio nas várias safras e capitaliza uma interação média com todas as safras avaliadas (RESENDE, 2007).

### 5.3. Seleção de progênies por safra

Nas tabelas 6 e 7 são apresentados os valores genotípicos preditos para cada safra ( $\mu+g+ge$ ), ou seja, os valores genotípicos capitalizando a interação com as safras.

Na safra de 2018 as progênies P305 e P382 apresentaram os maiores valores genotípicos preditos de 4171,76 e 4015,24, respectivamente (Tabela 6). A progênie P64 apresentou o valor genotípico de 4007,68, enquanto a progênie P70 foi de 3947,53. Na referida safra, o menor desempenho foi da progênie P207 com 3646,58 e não obteve ganho.

Tabela 6. Seleção de genótipos (progênies) na safra de 2018. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023.

Ordem	Genótipo	g+ge	$\mu +g+ge$	Ganho	Nova Média
1	P305	253,05	4171,76	253,05	4171,76
2	P382	96,52	4015,24	174,79	4093,50
3	P64	88,97	4007,68	146,18	4064,89
4	P70	28,82	3947,53	116,84	4035,55
5	M319	-195,24	3723,47	54,42	3973,14
6	P207	-272,13	3646,58	0,00	3918,71

g+ge: efeito genotípico por safra;  $\mu+g+ge$ : valores genotípicos preditos capitalizando a interação com as safras.

Referente a safra de 2022 as progênies P207 e P64, obtiveram os maiores valores genotípicos preditos de 3276,58 e 3027,76, respectivamente, seguidas das progênies P382 com valor genotípico de 2974,92 e progênie P305 com 2945,00. A progênie P70 com o valor de 2821,64 obteve o menor desempenho e não obteve ganho (Tabela 7).

Tabela 7. Seleção de genótipos (progênies) na safra de 2022. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023.

Ordem	Genótipo	g+ge	$\mu + g + ge$	Ganho	Nova Média
1	P207	294,95	3276,58	294,95	3276,58
2	P64	46,13	3027,76	170,54	3152,17
3	P382	-6,71	2974,92	111,46	3093,09
4	P305	-36,62	2945,00	74,43	3056,07
5	M319	-137,76	2843,86	31,99	3013,62
6	P70	-159,98	2821,64	0,00	2981,63

g+ge: efeito genotípico por safra;  $\mu + g + ge$ : valores genotípicos preditos capitalizando a interação com as safras.

Uma das formas de selecionar as progênies é considerar o desempenho em cada safra, e isso é feito através da análise dos valores genotípicos preditos em cada safra ( $\mu + g + ge$ ). É possível verificar que houve alteração na ordem dos melhores genótipos em função da safra, mostrando efeito da interação progênies x safra.

Referente aos ganhos por safra (tabelas 6 e 7), as progênies P305, P382 e P64 apresentaram os maiores ganhos na safra de 2018 e as progênies P207, P64 e P382 apresentaram os maiores ganhos na safra de 2022. As referidas progênies se destacaram nas três primeiras posições de ordenamento nas duas safras avaliadas, exceto a progênie P305 que apareceu na primeira posição apenas na safra de 2018.

#### 5.4. Produtividade e estabilidade de valores genéticos (MHVG)

Referente a estabilidade de valores genéticos a progênie P305 apresentou a maior média harmônica dos valores genotípicos (MHVG), seguida da progênie P207 e P64. A progênie M319 apresentou a menor média harmônica dos valores genotípicos conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8. Estabilidade de valores genéticos de progênies de guaranazeiro. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023.

Ordem	Genótipo	MHVG
1	P305	3452,65
2	P207	3451,69
3	P64	3449,48
4	P382	3417,66
5	P70	3290,95
6	M319	3224,76

MHVG: Média harmônica dos valores genotípicos

Estes resultados são referentes à estabilidade genotípica pelo método da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG), conforme Resende (2002; 2004). No contexto dos modelos mistos, este é um método para ordenamento de genótipos simultaneamente por seus valores genéticos (produtividade) e estabilidade e refere-se a um procedimento BLUP sob médias harmônicas. Quanto menor for o desvio padrão do comportamento genotípico através das safras, maior será a média harmônica de seus valores genotípicos através das safras.

Dessa forma, com a seleção pelos maiores valores da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG), pode-se selecionar para produtividade e estabilidade de forma simultânea (RESENDE, 2007).

### 5.5. Produtividade e adaptabilidade de valores genéticos (PRVG)

Referente a adaptabilidade de valores genéticos de progênies de guaranazeiro, a progênie P305 apresentou o maior desempenho relativo dos valores genotípicos (PRVG) e desempenho genotípico relativo médio multiplicado pela média geral de todas as safras (PRVG.MG), seguida das progênies P64 e P207. A progênie M319 apresentou a menor adaptabilidade de valor genético entre as progênies avaliadas (Tabela 9).

Tabela 9. Adaptabilidade de valores genéticos de progênies de guaranazeiros. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023.

Ordem	Genótipo	PRVG	PRVG.MG
1	P305	1.0261	3540,38
2	P64	1.0191	3516,03
3	P207	1.0147	3501,03
4	P382	1.0112	3488,78
5	P70	0.9768	3370,29
6	M319	0.9520	3284,51

PRVG: desempenho relativo dos valores genotípicos preditos; PRVG.MG: desempenho genotípico relativo médio multiplicado pela média geral de todas as safras.

Os resultados encontrados são referentes à adaptabilidade genotípica pelo método do desempenho relativo dos valores genotípicos preditos (PRVG) nas safras avaliadas. Neste caso, os valores genotípicos preditos são expressos como proporção da média geral de cada safra e, posteriormente, obtém-se o valor médio desta proporção através das safras.

A quantidade da PRVG.MG refere-se ao desempenho genotípico relativo médio multiplicado pela média geral de todas as safras. Fornece, portanto, o valor genotípico médio, capitalizando a adaptabilidade.

## 5.6. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade de valores genéticos

### (MHPRVG)

Os resultados da estabilidade e adaptabilidade de valores genéticos (MHPRVG) de progênies de guaranazeiro, destacou a progênie P305 com o maior valor de MHPRVG (1,0247) e MHPRVG.MG (3535,41), seguida das progênies P64 e P382. A progênie M319 apresentou a menor estabilidade e adaptabilidade de valores genéticos entre as progênies avaliadas (Tabela 10).

Tabela 10. Estabilidade e adaptabilidade de valores genéticos de progênies de guaranazeiros. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023.

Ordem	Genótipo	MHPRVG	MHPRVG.MG
1	P305	1,0247	3535,41
2	P64	1,0191	3515,98
3	P382	1,0110	3488,16
4	P207	1,0078	3476,93
5	P70	0,9759	3367,01
6	M319	0,9520	3284,50

MHPRVG: média harmônica do desempenho relativo dos valores genotípicos; MHPRVG.MG: média harmônica do desempenho relativo dos valores genotípicos multiplicada pela média geral das safras.

As melhores progênies simultaneamente com maior produtividade, estabilidade e adaptabilidade para produção de frutos são as progênies P305 e P64, seguidas das progênies P382 e P207. Pinto et al. (2018) em estudos com clones de guaraná em Maués, verificaram valores referente a adaptabilidade e estabilidade, pela análise REML/BLUP.

Pinto et al. (2018) utilizaram o REML/BLUP para a seleção de clones em função da produtividade e concluíram que o referido método pode ser utilizado para avaliar a adaptabilidade e estabilidade em experimentos com guaranazeiro.

Os resultados apresentados referem-se a uma medida simultânea da produtividade, estabilidade e adaptabilidade pelo método da média harmônica do desempenho relativo dos valores genotípicos (MHPRVG) (Tabela 10). O referido método é similar ao método de Linn & Binns (1988), porém no contexto genotípico e não no contexto fenotípico.

O índice MHPRVG.MG refere-se à MGPRVG multiplicada pela média geral de todas as safras avaliadas neste estudo, isto é 2018 e 2022. Fornece, portanto, o valor genotípico médio penalizado pela instabilidade e capitalizado pela adaptabilidade.

A utilização do método MHPRVG é devido a eficiência e facilidade de interpretação dos resultados nos programas de melhoramento. O método MHPRVG pode realizar a interpretação direta simultaneamente com os valores genéticos para produtividade, estabilidade e adaptabilidade (RESENDE, 2006; BASTOS et al., 2007; CARBONELL et al., 2007). Este método também proporciona a seleção de genótipos em função da produção, estabilidade e adaptabilidade, e pode ser utilizado para a seleção de genótipos de guaranazeiro para dar suporte ao programa de melhoramento genético e na recomendação de novas cultivares a serem utilizadas em cultivos comerciais (ATROCH et al., 2013).

De acordo com Resende (2006), este método permite selecionar simultaneamente pelos três atributos mencionados e apresenta as seguintes vantagens: considera os efeitos genotípicos como aleatórios e, portanto, fornece estabilidade e adaptabilidade genotípica e não fenotípica, além de permitir lidar com desbalanceamento. Além disso, outras vantagens são: permite lidar com delineamentos não ortogonais, permite lidar com heterogeneidade de variâncias e permite considerar erros correlacionados dentro de locais. Fornece valores genéticos já descontados (penalizados) da instabilidade e é um método que pode ser aplicado com qualquer número de ambientes ou safras;

Com a utilização do MHPRVG é possível considerar a estabilidade e adaptabilidade na seleção de indivíduos dentro de progênie, pois não depende da estimação de outros parâmetros tais quais coeficientes de regressão, gerando resultados na própria grandeza ou escala do caráter avaliado e também pode permitir computar o ganho genético com a seleção pelos três atributos simultaneamente. Estes últimos dois fatores são bastante importantes (RESENDE, 2006).

De acordo com o critério em que se capitaliza a produtividade das progênies em função da adaptabilidade e da estabilidade (MHPRVG), observa-se que a progênie P305 foi superior às demais, e as progênies P64 e P382 possuem também maior produtividade, ampla adaptabilidade (capacidade de resposta à melhoria do ambiente) e boa estabilidade, simultaneamente. Isso indica que esses genótipos possuem alto valor para cultivos comerciais.

A média das safras no ano de 2018 foi de 3.918,71 g.planta<sup>-1</sup> e no ano de 2022 foi de 2.981,63 g.planta<sup>-1</sup>, demonstrando que no ano de 2018 a safra foi maior em relação ao ano de 2022 (Tabela 11). As médias das referidas safras foram obtidas pelo procedimento conforme modelo misto REML/BLUP.

Tabela 11. Médias do valor genotípico da produção nas progênies de guaranazeiros em duas safras 2018 e 2022 conforme modelo misto REML/BLUP. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023.

---

Safra 1 (2018)	3.918,71 g.planta <sup>-1</sup>
Safra 2 (2022)	2.981,63 g.planta <sup>-1</sup>

---

A média do valor genotípico da produção nas progênies no ano de 2022 foi inferior ao ano de 2018. O resultado obtido no ano de 2022 pode ter sido influenciado pela diminuição das

atividades de manejo e tratos culturais no local da pesquisa em virtude do período da pandemia do COVID-19 nos anos de 2020 e 2021, principalmente na realização de podas obrigatórias (podas de limpeza, poda fitossanitária, poda de frutificação) na fase produtiva, pois o guaranazeiro é uma espécie vegetal arbustiva de hábito lianescente (cipó), com a produção de frutos no ramo do ano, além da necessidade de controle de plantas daninhas e no fornecimento de nutrientes por meio de adubação conforme descrito no sistema de produção da cultura (PEREIRA, 2005).

### **5.7. Seleção de indivíduos**

A produção média do melhor indivíduo (2-3-1), progênie 207, considerando o valor fenotípico individual (f), foi de 24.925,00 g.planta<sup>-1</sup> (Tabela 12). Esse resultado é maior do que a produtividade média do estado do Amazonas. Nascimento Filho (2009) e Pinto et al. (2018), em estudos com guaranazeiro encontraram valor superior de 28.355,00 g.planta<sup>-1</sup>.

O valor fenotípico individual (f) para o indivíduo 2-3-1 (P207) é próximo ao encontrado em estudos realizados por Atroch et al (2010) com o valor fenotípico de 18.953,33 g.planta<sup>-1</sup>.

Os indivíduos superiores foram classificados para seleção pelo efeito genético aditivo predito (Tabela 12). O indivíduo 2-3-1, progênie P207 (24.925,00 g.planta<sup>-1</sup>), apresentou um efeito genético aditivo predito de 1.339,98 g.planta<sup>-1</sup>. Com a seleção de somente este indivíduo a produtividade média das progênies passaria de 3.450,17 g.planta<sup>-1</sup> para 4.790,16 g.planta<sup>-1</sup> (Tabela 12).

Tabela 12. Estimativas de componentes de média (BLUP Individual) com a seleção dos 20 melhores indivíduos para produção de frutos, em progênies de guaranazeiro, referente as safras de 2018 e 2022. Manaus, Amazonas, Brasil, 2023.

Ordem	Safra	Progênie	Planta	Valor fenotípico individual (f)	Efeito genético aditivo (a)	Valor genético aditivo ( $\mu+a$ )	Ganho	Nova Média	Efeito de dominância predito (d)	Efeito genotípico predito (g)
1	2	P207	1	24925,00	1339,99	4790,16	1339,99	4790,16	652,27	1992,26
2	1	P305	1	11465,00	603,13	4053,30	971,56	4421,73	213,46	816,59
3	2	P382	8	15390,00	591,38	4041,55	844,83	4295,00	379,17	970,55
4	2	P207	5	8339,00	543,65	3993,82	769,53	4219,70	147,76	691,41
5	2	P64	5	12988,00	520,69	3970,87	719,77	4169,94	299,17	819,86
6	2	P207	8	7495,00	497,40	3947,58	658,70	4108,87	118,47	615,87
7	1	P305	6	8995,00	489,69	3939,86	637,57	4087,74	141,59	631,28
8	1	P305	4	8640,00	469,90	3920,08	618,94	4069,11	129,05	598,95
9	1	P64	7	11415,00	443,63	3893,80	601,41	4051,58	221,78	665,40
10	1	P64	1	11195,00	426,48	3876,64	585,51	4035,68	210,91	637,39
11	2	P207	2	5355,00	400,69	3850,86	558,67	4008,85	57,19	457,88
12	1	P382	7	10020,00	385,02	3835,19	546,27	3996,44	179,60	564,62
13	2	P207	4	4737,00	369,25	3819,42	534,46	3984,64	37,28	406,53
14	1	P382	5	9425,00	355,99	3806,17	523,31	3973,49	161,21	517,20
15	2	P207	6	4511,00	355,08	3805,25	513,41	3963,59	28,30	383,38
16	1	P382	3	6165,00	348,58	3798,75	504,26	3954,43	52,19	400,78
17	2	P207	7	3832,00	321,48	3771,65	478,71	3928,89	7,0132	328,49
18	1	P382	6	7435,00	264,77	3714,94	436,18	3886,36	103,42	368,19
19	2	P64	1	7727,00	259,67	3709,84	418,78	3868,96	133,80	393,47
20	1	P64	4	7480,00	255,70	3705,87	413,52	3863,70	102,72	358,42

1: safra 2018; 2: safra 2022; f: valor fenotípico individual ou medição de campo; a: efeito genético aditivo predito;  $\mu+a$ : valor genético aditivo predito; d: efeito genético de dominância predito (supondo determinado grau médio de dominância no caso de progênies de meios-irmãos); g = a + d: efeito genotípico predito.

Considerando a seleção dos 20 melhores indivíduos, a produção média das progênies, de 3.450,17 g.planta<sup>-1</sup>, aumentaria para 3.863,70 g.planta<sup>-1</sup> (Tabela 12). Essas médias de produção por planta são três vezes maiores do que a produção média estadual (1.200 g.planta<sup>-1</sup>) e semelhante à dos melhores clones de guaranazeiro recomendados pela Embrapa Amazônia Ocidental (NASCIMENTO FILHO, 2003; PINTO et al., 2018). Resultados semelhantes foram encontrados por Atroch et al. (2013) em avaliação de progênies de guaranazeiro com a média

geral de 5.206,49 g.planta<sup>-1</sup>, com média de cinco anos de avaliação.

A seleção de progênies pelos efeitos genéticos aditivos preditos identificou as progênies P207, P305, P64 e P382, apresentando os maiores efeitos genéticos aditivos e maiores valores genéticos aditivos, respectivamente.

Referente a seleção dos 20 melhores indivíduos, sete plantas são da progênie P207, três plantas da progênie P305, cinco plantas da progênie P382 e cinco plantas da progênie P64 (Tabela 12), totalizando quatro progênies. As progênies P70 e M319 não estão representadas entre os 20 melhores indivíduos (Tabela 12).

Os três melhores indivíduos 2-3-1 (P207), 1-4-1 (P305) e 2-6-8 (P382), foram as que apresentaram os maiores efeitos genéticos aditivos preditos (Tabela 12).

A seleção dos 20 melhores indivíduos pertencentes a quatro progênies (P64, P207 e P305, P382), para compor a população de melhoramento, considerando a produção média das progênies no experimento de 3.450,17 g.planta<sup>-1</sup>, obteve-se um ganho na ordem de 12% acima da média do experimento, elevando a produção de 3.450,17 g.planta<sup>-1</sup> para 3.863,70 g.planta<sup>-1</sup>. Valores de 10% de ganho foram encontrados por Atroch e Nascimento Filho (2001) e por Atroch et al. (2010) com estudos em clones e progênies de guaranazeiro, respectivamente.

As progênies avaliadas apresentam desempenho suficiente para a seleção de progênies e de indivíduos superiores para utilização em programas de melhoramento da cultura do guaranazeiro e poderão gerar uma população base com alta produtividade. Essas progênies podem gerar novos clones pela reprodução assexuada (via estaquia) e novas progênies pelo uso das sementes desses indivíduos.

## 6. CONCLUSÕES

As estimativas dos componentes de variância da produção, maiores efeitos genéticos aditivos preditos e valores genéticos aditivos nas duas safras demonstram que as progênes de guaranazeiro P207 e P305 se destacaram entre as seis progênes avaliadas;

A seleção dos melhores indivíduos entre e dentro das progênes de meios-irmãos de guaranazeiro avaliadas, destacaram as progênes P207, P305, P64 e P382 utilizando a metodologia de modelos mistos REML/BLUP.

As melhores progênes que se destacaram referente à produtividade, estabilidade e adaptabilidade de valores genéticos foram as progênes P305 com o maior valor de MHPRVG, seguida das progênes P64, P382 e P207.

Foi possível identificar que as progênes de guaranazeiro apresentaram desempenho suficiente para seleção e podem ser utilizadas na geração de novos clones e novas progênes pelo uso dos indivíduos superiores.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLARD, R.W. Princípios do melhoramento genético das plantas. São Paulo: Edgard Blücher, 1971, 381 p.

ALVES, M. S. Plantas de cobertura no manejo de invasoras, no estoque de carbono do solo e na produtividade do guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke). Tese (Doutorado em Agronomia Tropical), Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, 2022, 76 p.

AMARAL, A. M. do; MUNIZ, J. A.; SOUZA, M. Avaliação de coeficientes de variação como medida de precisão na experimentação em citros. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.32, n.12, p.1221-1225, 1997.

ANGELO, P. C. S.; ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J.; SOUSA, N. R.; MENDONÇA, W. S.; FONSECA, A. P. A. 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, 2005.

ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J.; PEREIRA, J. C. R. BRS Noçoquém: Primeira Cultivar de Guaranazeiro de Reprodução via Semente para Cultivo no Estado do Amazonas. Comunicado Técnico 114. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM, nov., 2015, 4 p.

ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J.; RESENDE, M. D. V. Seleção genética simultânea de progênies de guaranazeiro para produção, adaptabilidade e estabilidade temporal. Revista de Ciências Agrárias, v. 56, n. 4, p. 347–352, 2013.

ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J.; RESENDE, M. D. V.; LOPES, R.; CLEMENT, C. R. Predição de valores genéticos na fase juvenil de progênies de meios irmãos de guaranazeiro. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 54, n. 1, p. 73-79, 2011. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2011.040>

ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J.; RESENDE, M. D. V.; LOPES, R.; CLEMENT, C. R. Avaliação e seleção de progênies de meios-irmãos de guaranazeiro. *Revista de Ciências Agrárias*, n. 53, v. 2, p. 123-130, 2010.

ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J.; ANGELO, P. C. S.; FREITAS, D., V.; SOUSA, N. R. de; RESENDE, M. D. V. de; CLEMENT, C. R. Domesticação e Melhoramento de Guaranazeiro. In: Borém, A., Lopes, M. T. G., Clement, C. R. (ed.) *Domesticação e Melhoramento: Espécies Amazônicas*. Viçosa, MG, p. 333-357, 2009.

ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J. Avaliação do Programa de Melhoramento Genético do Guaranazeiro via seleção clonal. In: Pereira, J. C. R.; Arruda, M. R. de (eds.). *Pesquisa com guaranazeiro na Embrapa Amazônia Ocidental: status atual e perspectivas*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM. p. 157-160, 2007.

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

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

ATROCH, A. L. Situação da cultura do guaraná no Estado do Amazonas. In: Atroch, A. L. (ed). *Reunião Técnica da Cultura do Guaraná*, Manaus-AM, 6 a 9 de nov. 2001. *Anais*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos 16, 2001.

BASTOS, T. et al. Avaliação da interação Genótipo x Ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 37, n. 4, p. 195–203, 2007.

BORÉM, A. L.; MIRANDA, G. V. *Melhoramento de Plantas*. 5ª ed. Editora UFV. Viçosa-MG, 2009, 529 p.

BORÉM, A. *Melhoramento de plantas*. Viçosa: UFV. 1997. 547 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Descritores do guaranazeiro*. Ato nº 10, de 30 de dezembro de 2010. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, nº 251, 31/12/2010, p. 34-35, 2010.

BUENO, L. C. de; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. de. *Melhoramento genético de plantas: princípios e procedimentos*. Lavras: UFLA. 2001, 282 p.

CARBONELL, A. S. M. et al. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no Estado de São Paulo. *Bragantia*, v. 66, n. 2, p. 193–201, 2007.

CARVALHO, L. P.; FARIAS, F. J. C.; MORELLO, C. L.; TEODORO, P. E. Uso da metodologia REML/BLUP para seleção de genótipos de algodoeiro com maior adaptabilidade e estabilidade produtiva. *Bragantia*, v. 75, n. 3, p. 314-321, 2016. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.275>

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

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. *Análise do mercado agropecuário e extrativista: histórico mensal guaraná, agosto, 2023*.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. *Análise do mercado agropecuário e extrativista: histórico mensal guaraná, outubro, 2019*.

CORRÊA, M. P .F. Caracteres quantitativos e qualitativos para descrição morfológica do guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke). 1989. Tese de Doutorado, Instituto

Nacional de Pesquisas da Amazônia, Fundação Universidade do Amazonas. Manaus, Amazonas. 186 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. V. 1, 4ª ed. Editora UFV. Viçosa, MG: 2012, 514 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2. ed. Viçosa: Ed UFV, 2004, 480 p.

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. Londrina. Anais... UEL/RBRAS. Londrina, PR. p.115-131, 1987.

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.

FIGUEROA, A. L. G. Guaraná, a máquina do tempo dos Sateré-Mawé. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, v. 11, p. 55-85, 2016.

FREITAS, D. V.; CARVALHO, C. R.; NASCIMENTO FILHO, F. J.; ASTOLFI-FILHO, S. Karyotipe ith 210 chromosomes in guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*). Journal of Plant Research: 120, p. 399-404, 2007.

GARCIA, C. H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. Piracicaba: Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais. Circular Técnica nº 171, 1989, 12 p.

GOMES JÚNIOR, R. A.; LOPES, R.; CUNHA, R. N. V.; PINA, A. J. A.; SILVA, M. P.; RESENDE, M. D. V. Características vegetativas na fase juvenil de híbridos interespecíficos de caiaué com dendezeiro. *Revista de Ciências Agrárias*. v. 58, n. 1, p. 27-35, 2015.

HENDERSON, C.R. (1975). Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. *Biometrics*, Arlington, v. 31, p. 423-447.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDR, 2023. Site: [sidra.ibge.gov.br](http://sidra.ibge.gov.br). Acessado em 18 de agosto de 2023.

IDAM. Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas. Relatório de Atividades 2023. 87 p. Manaus, AM, 2023.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, v. 68, n. 3, p. 193-198, 1988.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Registro Nacional de Cultivares (Cultivarweb). Pesquisa pública de cultivares registradas disponível eletronicamente no site da Plataforma Federal do MAPA. Dados públicos: [https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares\\_registradas.php](https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php)

MONTEIRO, M. Y. Antropogeografia do guaraná. *Cadernos da Amazônia*, Manaus: INPA. v.6, p.1-84, 1965.

NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Comportamento de clones de guaraná em três localidades. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 53, n. 1, p. 38–45, 2011.

NASCIMENTO FILHO, F. J.; ATROCH, A. L.; CRUZ, C. D. Repetibilidade da produção de sementes em clones de guaraná. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 1, p. 605–612, 2009.

NASCIMENTO FILHO, F. J. Melhoramento Genético. In: Pereira, J. C. R.; Arruda, M. R. de (eds.). Pesquisa com guaranazeiro na Embrapa Amazônia Ocidental: status atual e perspectivas. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM, p. 141-142, 2007.

NASCIMENTO FILHO, F. J. 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. 2003, 182 p.

NASCIMENTO FILHO, F. J.; ATROCH, A. L. Guaranazeiro. In: BRUCKNER, C. H. (Ed.). Melhoramento de Fruteiras tropicais. UFV, Viçosa, Minas Gerais, p. 291-307, 2002.

NASCIMENTO FILHO, F. J.; GARCIA, T. B.; SOUSA, N. R.; ATROCH, A. L. 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, 2001a.

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, 2001b.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000300014>

NASCIMENTO FILHO, J. F. DO; GARCIA, T. B.; CRUZ, C. D. Estimativa de parâmetros genéticos em clones de guaranazeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 29 (1), p. 91-96, 1994.

NINA, N. V. S.; SCHIMP, F. C.; NASCIMENTO FILHO, F. J; ATROCH, A. L. Phytochemistry divergence among guarana genotypes as a function of agro-industrial character. Crop Science, v. 21, n. 1, p. 443-455, 2021. <https://doi.org/10.1002/csc2.20331>

OLIVEIRA, M. S. P.; FERREIRA, D. F.; SANTOS, J. B. Pesquisa Divergência genética entre acessos de açazeiro fundamentada em descritores morfoagronômicos. Agropecuária

Brasileira, Brasília, DF, v. 42, n. 4, p. 501-506, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400007>

PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when blocks sizes are unequal. *Biometrika*, London, v. 58, n. 2, p. 545-554, 1971.

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. 16-21, 2007a.

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. 29-33, 2007b.

PEREIRA, J. C. R. Cultura do guaranazeiro no Amazonas (4ª edição). Sistema de Produção 2. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM, 2005, 40 p. Acesso em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/678408/cultura-do-guaranazeiro-no-amazonas>

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

PINTO, K. G. D.; ALBERTINO, S. M. F.; LEITE, B. N., PEREIRA SOARES, D. O.; CASTRO, F. M. D., GAMA, L. A. D.; CLIVATI, D; ATROCH, A. L. Ácido indol-3-butírico melhora a qualidade do sistema radicular em estacas de guaraná. *HortScience horts*, v. 55 (10),

p. 1670-1675, 2020. Acessado em 17 de abril de 2023, em <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14984-20>

PINTO, C. E. D. L.; ATROCH, A. L.; FAJARDO, J. D. V.; NASCIMENTO FILHO, F. J. Seleção de clones de guaranazeiro para adaptabilidade e estabilidade no Estado do Amazonas. Revista de Ciências Agrárias, v. 61, p. 1–7, 2018.

RESENDE, M. D. V. SELEGEN–REML/BLUP: Sistema Estatístico e Seleção Genética Computadorizada via Modelos Lineares Mistos. Colombo: Embrapa Florestas, 361 p. 2007.

RESENDE, M. D. V. O Software Selegen-Reml/Blup: Documentos. Campo Grande: Embrapa/Instituto Nacional de Propriedade Intelectual, 2006. p. 305.

RESENDE, M. D. V.; BARBOSA, M. H. P.; REZENDE, G. D. S. P.; AGUIAR, A. M.; DIAS, L. A. S.; STURION, J. A. Métodos e Estratégias de Melhoramento de Espécies Perenes: Estado da Arte e Perspectivas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS. 2005. Acesso em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/315917>

RESENDE, M. D. V. Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo. Colombo: Embrapa Florestas. 2004, 100 p. (Documentos).

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

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 47, p. 964-971, 2012. Acesso no site: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000700013>

SCHIMPL, Flávia Camila et al. Molecular and biochemical characterization of caffeine synthase and purine alkaloid concentration in guarana fruit. *Phytochemistry*, v. 105, p. 25-36, 2014.

SCHIMPL, F. C., SILVA, J. F., CARVALHO GONÇAVES, J. F.; MAZZAFERA, P. Guarana: Revisiting a highly caffeinated plant from the Amazon. *J. Ethnopharmacol.* v. 150, n. 1, p. 14-31, 2013. Site: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.08.023>

SILVA, G. O.; CARVALHO, A. D. F.; VIEIRA, J. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. Adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura. *Horticultura Brasileira* v. 30, p. 80-83, 2012.

SILVA, G. O.; CARVALHO, A. D. F.; VEIRA, J. V.; BENIN, G. Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE biplot e REML/BLUP. *Bragantia*, v. 70, p. 494-501, 2011. Aceso no site: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011005000003>

SOUSA, N. R. Variabilidade genética e estimativas de parâmetros genéticos em germoplasma de guaranazeiro. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003, 99 p.

SOUSA, S. A; ALVES, S. F.; PAULA, J. A. M.; FIUZA, T. S.; PAULA, J. R.; BARA, M. T. F.; Determinação de taninos e metilxantinas no guaraná em pó (*Paullinia cupana* Kunth, Sapindaceae) por cromatografia líquida de alta eficiência. *Revista Brasileira Farmacognosia*, v. 20, n. 6, p. 866–870, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2011005000001>

STEBBINS, G.L. Polyploidy, hybridization, and the invasion of new habitats. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, v. 72, p. 824-832, 1985.

TORRES, E. A . F. S.; PINAFFI-LANGLEY, A. C. C.; FIGUEIRA, A. S.; CORDEIRO, K. S.; NEGRÃO, L. D.; SOARES, M. J; SILVA, C. P.; ALFINO, A. C. Z.; SAMPAIO, G. R; CAMARGO, A. C. Effects of the consumption of guarana on human health: a narrative review. *Comprehensive reviews in food sciense and food safety*, v. 21, n. 1. p. 272-295, 2022.

TRICAUD, S.; PINTON, F.; PEREIRA, H. S. Saberes e práticas locais dos produtores de guaraná (*Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis*) do médio Amazonas: duas organizações locais frente à inovação. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, v. 11, n. 1, p. 33–53, 2016.