

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – FCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL – PPGATR

**DIVERSIDADE GENÉTICA E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS
ENTRE PROGÊNIES DE MEIOS-IRMÃOS DE GUARANAZEIRO**

MANAUS-AM

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – FCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL – PPGATR

DÉBORA DANTAS BARBOSA

**DIVERSIDADE GENÉTICA E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS
ENTRE PROGÊNIES DE MEIOS-IRMÃOS DE GUARANAZEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Atroch

MANAUS-AM

2026

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

B238d Barbosa, Débora Dantas
 Diversidade genética e estimativas de parâmetros genéticos entre
 progênies de meios-irmãos de guaranazeiro / Débora Dantas
 Barbosa. - 2026.
 62 f. : il., color. ; 31 cm.

 Orientador(a): André Luiz Atroch.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas,
 Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, Manaus,
 2026.

 1. Paullinia cupana var. sorbilis (Guaraná). 2. Espécie amazônica.
 3. Diversidade genética. 4. Melhoramento genético. I. Atroch, André
 Luiz. II. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-
 Graduação em Agronomia Tropical. III. Título

DÉBORA DANTAS BARBOSA

**DIVERSIDADE GENÉTICA E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS
ENTRE PROGÊNIES DE MEIOS-IRMÃOS DE GUARANAZEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Aprovada em 26 de fevereiro de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ANDRE LUIZ ATROCH**
Data: 16/04/2026 12:21:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. André Luiz Atroch – Presidente
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Documento assinado digitalmente
 **EVERTON RABELO CORDEIRO**
Data: 20/04/2026 15:36:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Everton Rabelo Cordeiro – Membro Titular
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Documento assinado digitalmente
 **PEDRO DE QUEIROZ COSTA NETO**
Data: 12/05/2026 18:33:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Pedro de Queiroz Costa Neto – Membro Titular
Universidade Federal do Amazonas

Aos meus pais, Rosivanda Dantas e Danilo
Barbosa, por todo amor que atravessou a
distância, suportou a saudade e nunca me
deixou caminhar sozinha, dedico de todo
coração este trabalho.

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança para seguir em frente, mesmo nos momentos de dificuldade, e por permitir que eu chegasse até aqui.

À Universidade Federal do Amazonas, pela minha formação, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, aos professores, técnicos, colaboradores e colegas, pelos conhecimentos compartilhados e pelo apoio ao longo dessa trajetória.

Ao meu orientador, André Luiz Atroch, pela orientação, apoio e ensinamentos compartilhados ao longo deste trabalho. Agradeço a confiança, paciência e incentivo constante, além de reconhecer sua generosidade, ética e dedicação, qualidades que tornam sua orientação ainda mais valiosa.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, pelo apoio técnico e pelo espaço cedido para a condução do experimento, e pela admirável contribuição à pesquisa e ao desenvolvimento científico da agricultura brasileira.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa de estudos, fundamental para a realização deste trabalho.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM pelo incentivo e contribuição ao fortalecimento da pesquisa científica no estado do Amazonas, colaborando para o desenvolvimento da ciência e da formação acadêmica na região.

À minha mãe, Rosivanda Dantas, mulher de fé inabalável, por ser meu alicerce, minha força e meu refúgio. Obrigada pelo amor, cuidado, orações e apoio constante, mesmo na distância. Em você, sempre encontro paz, acolhimento e a certeza de um lar.

Ao meu pai, Danilo Barbosa, por sempre acreditar em mim, me apoiar nos momentos difíceis e estar ao meu lado com incentivo e dedicação. Obrigada pelos ensinamentos, pelo cuidado e por ser exemplo de força, persistência e amor.

Aos meus irmãos, Diego, Jheine, Danilo Júnior e à minha cunhada Camila, pelo apoio carinho, incentivo e companheirismo ao longo desta caminhada, por todos os momentos vividos, pelas risadas, pela união e por estarem sempre presentes em minha vida.

Aos meus queridos sobrinhos, Ayumi Sofhia, Laura Selenia e Murillo, por trazerem leveza aos meus dias, por serem a alegria da minha vida e a quem dedico todos os meus esforços.

Aos meus avós, Raimunda (*in memoriam*), Francisco (*in memoriam*), Izabel e João (*in memoriam*), por todo amor, ensinamentos e por serem parte fundamental da minha história.

À minha avó Raimunda (*in memoriam*), minha estrela que continua brilhando em minhas lembranças. Mesmo na ausência, seu brilho continua iluminando meus caminhos todos os dias.

Aos meus tios e tias, e a todas as minhas primas e primos queridos do meu coração, pelo carinho, apoio, companheirismo e por fazerem parte da minha trajetória e da pessoa que me tornei.

Aos meus colegas de Mestrado Nathasha, Marcos, Fabiano, Cleber, Álvaro, Lucivânia, pela convivência, apoio e troca de experiências ao longo desta jornada.

Ao meu querido e eterno professor Vítor Repolho (*in memoriam*) e Dr. Bruno Pereira, pelo incentivo e apoio para que eu ingressasse no mestrado.

À Luciana, pelo apoio, amizade e agradável convivência durante o andamento da pesquisa, tornando essa caminhada mais leve.

Ao Dr. Firmino José do Nascimento Filho, pelo compartilhamento de conhecimento e pelas valiosas trocas de conversa sobre a cultura do guaranazeiro, que serviram como incentivo e inspiração ao longo do caminho.

Ao técnico da Embrapa, Orbélio, pelo apoio e auxílio na condução do experimento.

Ao secretário do PPGATR, Thiago, pela solicitude, disposição e apoio sempre que necessário.

À cultura do Guaraná, pela sua importância para o Amazonas e por inspirar pesquisas voltadas ao fortalecimento da agricultura regional e da ciência amazônica.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento. Cada apoio, incentivo, palavra de encorajamento e colaboração foram fundamentais para a conclusão desta etapa tão importante da minha trajetória acadêmica e pessoal.

RESUMO

O guaranazeiro [*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke] é uma espécie nativa da Amazônia de grande importância socioeconômica, devido ao alto valor comercial de suas sementes. Domesticado pelos povos indígenas Sateré-Mawé na região de Maués (AM), o guaraná destaca-se por suas propriedades energéticas, antioxidantes e medicinais. O Brasil é o único produtor comercial da cultura no mundo, atendendo aos mercados nacional e internacional. Este estudo teve como objetivo avaliar a diversidade genética e estimar parâmetros genéticos com base em caracteres morfoagronômicos e na produção de frutos (g planta⁻¹) de progênies de guaranazeiro. O experimento foi conduzido na Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus-AM, com seis progênies de meios-irmãos, em delineamento de blocos ao acaso, com três repetições e oito plantas por parcela. A diversidade genética foi estimada pelo coeficiente de Gower e agrupada pelo método UPGMA. Os parâmetros genéticos e fenotípicos da produção foram estimados pelo procedimento REML/BLUP. Considerando a seleção dos três melhores indivíduos (plantas 33-P207, 5-P64 e 105-P207), a produção média das progênies, inicialmente de 3.992,23 g planta⁻¹, aumentaria para 5.294,37 g planta⁻¹, representando um ganho de 32,6 % em relação à média do experimento. As progênies P207 e P64 apresentam potencial para uso como variedades de polinização aberta e para a clonagem de indivíduos superiores utilizando os indivíduos 33, 5 e 105 e suas sementes para abrir progênies de terceira geração para avaliação. A análise da diversidade genética indicou baixa diversidade entre as progênies, com a formação de dois grupos genéticos.

Palavras-chave: *Paullinia cupana* var. *sorbilis*, espécie amazônica, diversidade genética.

ABSTRACT

The guaranazeiro [*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke] is a species native to the Amazon region that is of great socioeconomic importance due to the high commercial value of its seeds. Domesticated by the Sateré-Mawé indigenous people in the Maués region (AM), guarana is notable for its energetic, antioxidant, and medicinal properties. Brazil is the only commercial producer of this crop in the world, supplying both domestic and international markets. This study aimed to evaluate genetic diversity and estimate genetic parameters based on morphoagronomic traits and fruit production (g plant⁻¹) of guaranazeiro progenies. The experiment was conducted at Embrapa Amazônia Ocidental, in Manaus-AM, with six half-sibling progenies, in a randomized block design, with three replicates and eight plants per plot. Genetic diversity was estimated using the Gower coefficient and grouped using the UPGMA method. Genetic and phenotypic production parameters were estimated using the REML/BLUP procedure. Considering the selection of the three best individuals (plants 33-P207, 5-P64, and 105-P207), the average production of the progenies, initially 3,992.23 g plant⁻¹, would increase to 5,294.37 g plant⁻¹, representing a gain of 32.6 % in relation to the average of the experiment. Progenies P207 and P64 show potential for use as open pollination varieties and for cloning superior individuals using individuals 33, 5, and 105 and their seeds to open third-generation progenies for evaluation. Genetic diversity analysis indicated low diversity among progenies, with the formation of two genetic groups.

Keywords: *Paullinia cupana* var. *sorbilis* , Amazonian species, genetic diversity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Paullinia cupana</i> var. <i>sorbilis</i> : a) Planta adulta cultivada em campo a pleno sol; b) inflorescência; c) flores; d) cacho com frutos maduros e) detalhes dos frutos f) sementes extraídas dos frutos	19
Figura 2 - Localização do município de Manaus, Amazonas, Brasil, 2024.....	29
Figura 3 - Localização da área experimental: área de pesquisa da Embrapa Amazônia Ocidental, Rodovia AM-010, km 29, Manaus-AM	30
Figura 4 - Área do experimento de progênies da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus - AM, 2024	30
Figura 5 - Fluxograma do processo de seleção e melhoramento genético do guaranazeiro, mostrando a origem das progênies avaliadas.....	31
Figura 6 - Descritor arquitetura da planta: a) ereta; b) semi ereta; c) decumbente ..	32
Figura 7 - Descritor da forma do 3º folíolo da folha: a) elíptica; b) oblonga.....	33
Figura 8 - Descritor coloração da folha jovem: a) verde clara; b) verde escura; c) verde arroxeada; d) marrom; e) púrpura.....	33
Figura 9 - Descritor folha: Pigmentação antocianínica: a) ausente ; b) presente.....	34
Figura 10 - Descritor bulado da superfície da face superior do limbo foliar: a) fraco; b) médio; c) forte	35
Figura 11 - Descritor forma dos rudimentos foliares na raquis: a) ausente; b) presente	35
Figura 12 - Descritor forma dos rudimentos foliares na raquis: a) alada; b) marginada, c) exalada	36

Figura 13 - Descritor racemo densidade dos frutos: a) baixa; b) média; c) alta	36
Figura 14 - Descritor comprimento do racemo: a) curto; b) médio; c) longo	37
Figura 15 - Descritor fruto forma: a) elíptica; b) obovada; c) globosa	37
Figura 16 - Descritor de coloração dos frutos: a) alaranjada; b) amarela avermelhada; c) vermelha amarelada; d) vermelha alaranjada; e) vermelha	38
Figura 17 - Descritor superfície do pericarpo do fruto: a) lisa; b) rugosa	38
Figura 18 - Frutos de guaranazeiro colhidos de cada planta	39
Figura 19 - Gráfico do descritor qualitativo arquitetura da planta das progênes de meios-irmãos de guaranazeiro	43
Figura 20 - Gráficos dos descritores qualitativos foliares em progênes de meios-irmãos de guaranazeiro: forma do 3º folíolo; coloração e pigmentação antocianínica em folhas jovens; coloração verde e intensidade da pigmentação; bulado da superfície da face superior do limbo foliar, brilho da face superior; presença e forma de rudimentos foliares na raquis	45
Figura 21 - Gráficos dos descritores qualitativos do racemo das progênes de meios-irmãos de guaranazeiro: densidade dos frutos e comprimento	46
Figura 22 - Gráficos dos descritores qualitativos do fruto das progênes de meios-irmãos de guaranazeiro: forma, superfície do pericarpo, tamanho, coloração e intensidade do brilho	46
Figura 23 - Dendrograma de dissimilaridades genética entre seis progênes de <i>Paullinia cupana</i> var. <i>sorbilis</i> , obtido pelo método hierárquico UPGMA, com base em 18 descritores morfoagronômicos, baseado na distância do Coeficiente de Gower.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise de variância da produção de frutos de guaranazeiro nas safras de 2018, 2022 e 2023.	47
Tabela 2 - Produção média de frutos das progênes de guaranazeiro por safra nos anos de 2018, 2022 e 2023 com base na ANOVA.....	48
Tabela 3 - Médias da produção de frutos de seis progênes de guaranazeiro nas três safras avaliadas nos anos de 2018, 2022 e 2023.	48
Tabela 4 - Estimativas de componentes de variância (REML Individual) para produção de frutos de guaraná em três safras 2018, 2022 e 2023.	49
Tabela 5 - Estimativas de componentes de médias (BLUP individual) para seleção de progênes de meios-irmãos de guaranazeiro em todas as safras.....	51
Tabela 6 - Estimativas de componentes de média (BLUP Individual) com a seleção dos três melhores indivíduos para produção de frutos, em progênes de guaranazeiro, referente às safras de 2018, 2022 e 2023.....	52
Tabela 7 - Matriz de dissimilaridade genética entre seis progênes de meios-irmãos de guaranazeiro, estimada pelo coeficiente de Gower.	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral	18
2.2	Objetivos específicos.....	18
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1	Aspectos gerais do guaranazeiro	19
3.2	Aspectos socioeconômicos e culturais do guaraná.....	21
3.3	Variabilidade e diversidade genética.....	23
3.4	Caracterização morfoagronômica	25
3.5	Melhoramento genético do guaranazeiro.....	26
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1	Local do experimento	29
4.2	Delineamento experimental	31
4.3	Obtenção das progênies.....	31
4.4	Descritores avaliados	32
4.5	Colheita dos frutos.....	39
4.6	Análise genético-estatística	40
4.6.1	Análise de variância.....	40
4.6.2	Análise dos parâmetros genéticos e componentes de variância	40
4.6.3	Análise da distância genética	40
4.6.4	Análise do agrupamento	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1	Caracterização dos descritores qualitativos	43
5.2	Análise de variância (ANOVA).....	47
5.3	Componentes de variância (REML Individual).....	49
5.4	Componentes de média (BLUP Individual).....	50
5.5	Seleção de indivíduos	51
5.6	Diversidade genética.....	53
6	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

O guaranazeiro [*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke] é uma espécie típica da região Amazônica, domesticada pelos povos indígenas Sateré-Mawé. Trata-se de uma planta perene, dicotiledônea pertencente à família Sapindaceae (Nascimento Filho *et al.*, 2001; Atroch, 2009).

O guaraná é um produto originalmente brasileiro com grande potencial econômico e industrial devido às propriedades energéticas, antioxidantes e medicinais de suas sementes (Nina *et al.*, 2021). Seu consumo vem crescendo ano a ano, tornando-se um mercado promissor (CONAB, 2019).

Atualmente é utilizado comercialmente principalmente pela indústria de refrigerantes, embora também seja amplamente valorizado pelas indústrias cosmética e farmacêutica (Marques *et al.*, 2019).

Essa espécie está presente não apenas na economia e na alimentação, mas também em ritos, festividades, danças, músicas e em outros aspectos da vida dos povos tradicionais da Amazônia, sendo permeada pela ancestralidade indígena e os saberes pelos povos tradicionais (Weil; Witkoski, 2023).

O Brasil é o único produtor comercial de guaraná e atende ao mercado nacional e internacional. A cultura é cultivada nos estados da Bahia, Amazonas, Rondônia, Mato Grosso, Pará e Acre (Nascimento Filho *et al.*, 2001; Atroch; Nascimento Filho, 2018).

Atualmente, o principal produtor de guaraná é o estado da Bahia, responsável por mais de 60 % da produção nacional, com produtividade de 324 kg ha⁻¹ de sementes. Já o Amazonas, segundo maior produtor, apresenta produtividade de 157 kg ha⁻¹ de sementes (CONAB, 2023).

O estado do Amazonas já foi o maior produtor de guaraná do país. Entretanto, sua participação na produção diminuiu gradativamente. De acordo com Atroch (2009), ainda no final da década de 1980, a produtividade da Bahia tornou-se significativamente superior à do Amazonas.

Dentre os motivos do declínio da guaranaicultura no Amazonas, destaca-se, principalmente, a incidência da antracnose, considerada a doença mais importante da cultura (Bentes; Barreto, 2004). Além disso, problemas de manejo e a não adoção de novas tecnologias também contribuíram significativamente para o declínio da cultura no Estado.

Para enfrentar esses desafios, a Embrapa Amazônia Ocidental através do Programa de Melhoramento Genético desenvolveu e lançou 19 cultivares de guaranazeiro com alta produtividade, alto teor de cafeína, bem como resistência às principais doenças que afetam a cultura no estado do Amazonas (Embrapa, 2023).

Esses avanços têm contribuído para a recuperação gradual da guaranaicultura no Estado, impulsionada pela distribuição desses materiais genéticos melhorados aos produtores das principais regiões do Amazonas (Atroch, 2009).

Nesse contexto, o melhoramento genético desempenha um papel fundamental na recuperação e sustentabilidade da cultura do guaranazeiro. Segundo Borém, Miranda e Fritsche-Neto (2021) por meio da continuidade de Programas de Melhoramento de Plantas, é possível desenvolver sistemas produtivos mais eficientes, capazes de atender às demandas do mercado de produtores, consumidores e indústrias.

Em programas de melhoramento, inúmeras características são observadas e avaliadas em um genótipo. Essa caracterização fornece informações úteis para entender e usar a diversidade genética (Cerqueira-Silva *et al.*, 2014).

A diversidade genética possibilita a exploração de características agronômicas de modo a desenvolverem continuamente novas variedades com características aprimoradas (Ikegaya; Shirakawa; Fujino, 2023).

É salientado por Rao *et al.* (1981), que cruzamento entre genitores geneticamente distintos tendem a produzir alto efeito heterótico, além de ampliar a variabilidade genética nas gerações seguintes, sendo, portanto, fundamental manter a divergência genética entre os genitores.

De acordo com Cruz (2020) genitores geneticamente próximos tendem a compartilhar muitos genes ou alelos em comum, o que pode resultar em baixo nível de heterozigosidade alélica nos cruzamentos.

A existência de variabilidade genética em uma população é condição básica para o sucesso de um programa de melhoramento genético (Fonseca, 1999). Nesse contexto, o estudo da diversidade genética torna-se de primordial importância, pois permite a exploração de características agronômicas desejáveis, bem como a escolha de combinações potenciais a serem utilizadas em cruzamentos (Ivoglio *et al.*, 2008).

Dessa forma, quanto mais divergentes forem os genitores, maior será a variabilidade na população segregante e, conseqüentemente, maior a probabilidade de reagrupar os alelos em combinações favoráveis (Ferreira *et al.*, 2012).

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a diversidade e os parâmetros genéticos com base em caracteres morfoagronômicos de seis progênies de meios-irmãos de guaranazeiro, visando identificar materiais com potencial para contribuir com o avanço do Programa de Melhoramento Genético do Guaranazeiro no Estado do Amazonas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a diversidade genética e estimativas de parâmetros genéticos em progênies de meios-irmãos de guaranazeiro com base em descritores morfoagronômicos, identificando materiais com potencial para garantir o avanço do Programa de Melhoramento no Estado Amazonas.

2.2 Objetivos específicos

Caracterizar por meio de descritores morfoagronômicos seis progênies de guaranazeiro;

Estimar parâmetros genéticos, valores genéticos e fenotípicos do caráter produção;

Identificar progênies para uso como variedades de polinização aberta e/ou clonagem de indivíduos superiores para utilização como variedades clonais;

Avaliar a diversidade genética entre as seis progênies.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aspectos gerais do guaranazeiro

O guaranazeiro é uma espécie típica da região Amazônica. Trata-se de uma planta perene, dicotiledônea pertencente à família Sapindaceae (Nascimento Filho *et al.*, 2001; Atroch, 2009) e apresenta potencial socioeconômico para a agricultura no estado do Amazonas (Albertino *et al.*, 2012).

O Brasil é o único produtor comercial de guaraná (Atroch; Nascimento Filho, 2018), sendo o cultivo realizado nos estados do Amazonas, Bahia, Mato Grosso, Rondônia, Pará e Acre (IBGE, 2023).

É uma planta trepadeira que, em seu habitat natural, geralmente em mata fechada, apresenta aspecto de liana; enquanto, em cultivo a céu aberto, manifesta-se na forma de um arbusto lenhoso (Figura 1a) (Ângelo *et al.*, 2007).

O guaranazeiro possui folhas compostas, a inflorescência (Figura 1b) é do tipo cacho, com tamanho variável, chegando a ultrapassar 25 cm e ocorre geralmente na axila das folhas ou na base de uma gavinha. Possui flores pequenas, zigomorfas e de coloração esbranquiçada (Figura 1c).

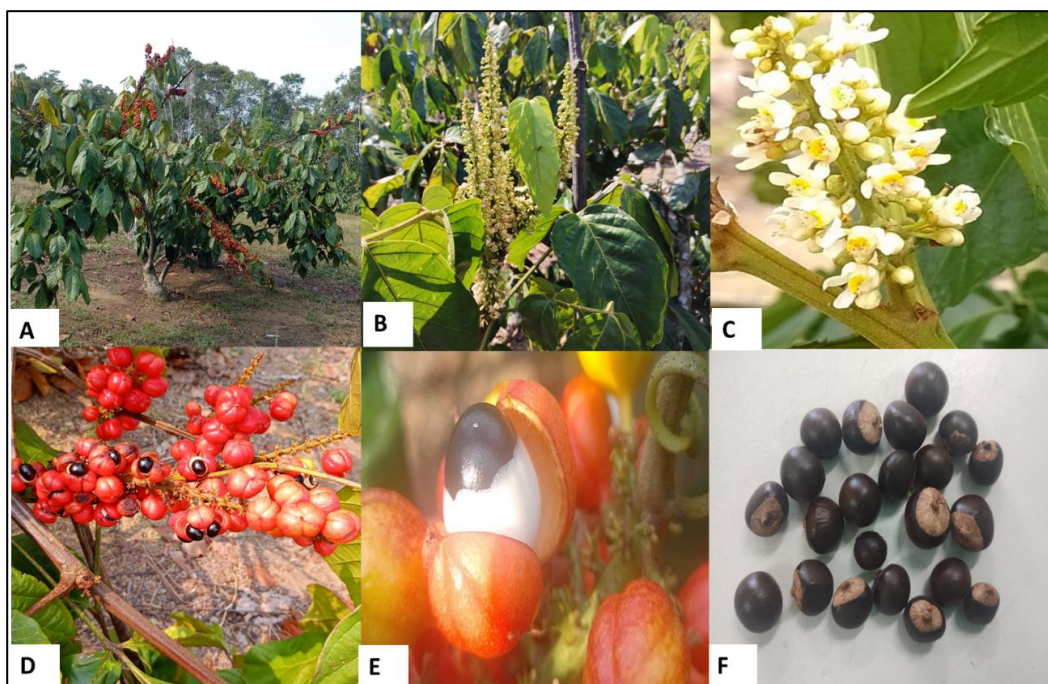


Figura 1 - *Paullinia cupana* var. *sorbilis*: a) Planta adulta cultivada em campo a pleno sol; b) inflorescência; c) flores; d) cacho com frutos maduros; e) detalhes dos frutos; f) sementes extraídas dos frutos.

Foto: Débora Dantas, 2024.

O seu fruto é uma cápsula deiscente e quando maduro tem coloração da casca, que vai desde amarelo-alaranjada, passando por vermelho-amarelada até vermelho-vivo e brilhante, contendo semente de coloração castanho-escuro, parcialmente envolta por arilo branco (Figura 1d 1e). Frutos com um, dois ou três óvulos fecundados são comuns (Ângelo *et al.*, 2007). As sementes (Figura 1f) quando secas e beneficiadas, constituem um produto comercial com alto teor de cafeína além de apresentarem amido, taninos, teobromina, teofilina, catequina, epicatequina, procianidinas, fósforo, potássio, ferro, cálcio, tiamina, vitamina A e açúcares (Nina *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2018).

É uma espécie monoica, apresenta flores masculinas e femininas na mesma inflorescência; entretanto, estas ocorrem de forma dessincronizada, resultando na presença simultânea de flores e frutos em diferentes estádios de maturação, o que pode demandar a realização de diversas colheitas (Atroch, 2009). Além disso, o mesmo autor indicou que, quanto à reprodução, a espécie apresenta mecanismos morfológicos favoráveis à alogamia, sendo polinizada principalmente por abelhas.

É uma espécie poliploide, apresentando $2n = 210$ cromossomos, enquanto outras do mesmo gênero possuem apenas $2n = 24$, em razão do número e do tipo de cromossomos, é de origem complexa, que incluiu eventos de poliploidização e rearranjo numérico (Freitas *et al.*, 2007).

Pode ser propagado pelas vias sexuada (sementes) e assexuada (estacas), entretanto, a propagação sexuada do guaranazeiro é dificultada em função de suas sementes apresentarem características de perder rapidamente a viabilidade, não suportando desidratação acentuada nem baixa temperatura, o que as classificam como sementes recalcitrantes (Atroch *et al.*, 2007).

Segundo Pereira (2005), a cultura do guaranazeiro apresenta melhor desenvolvimento em condições edafoclimáticas caracterizadas por clima quente e úmido, com temperatura média anual variando entre 23 e 28 °C, umidade relativa em torno de 80 % e precipitação anual entre 1.500 e 3.000 mm. Os solos recomendados são profundos, bem drenados e isentos de pedregosidade, sendo o cultivo possível tanto em áreas planas, desde que bem drenadas, quanto em terrenos inclinados.

3.2 Aspectos socioeconômicos e culturais do guaraná

Os povos indígenas Sateré-Mawé foram os responsáveis pela domesticação do guaranazeiro na região de Maués, no estado do Amazonas. Suas propriedades nutricionais, energéticas, medicinais e estimulantes despertaram o grande interesse pela cultura (Pinto *et al.*, 2020).

A primeira menção registrada do guaraná na literatura remonta a 1669, por meio do missionário João Filipe Betendorf, que descreveu o uso tradicional da planta pelos índios Andirás, referência aos Sateré-Mawé (Costa, 2017). Já naquela época, fazia-se o uso das propriedades do guaraná, considerado uma “planta milagrosa”, pois sua bebida conferia força física e alívio de enfermidades como febres, câimbras e dores de cabeça (Homma, 2014).

Segundo Lorenz (1992), em sua obra “Sateré-Mawé: os filhos do guaraná” esse povo indígena pode ser considerado o inventor da cultura do guaraná, por ter transformado uma trepadeira silvestre em arbusto cultivado, além de desenvolver o processo de beneficiamento da espécie, bem como a sua comercialização.

O conhecimento tradicional dos Sateré-Mawé foi essencial para a domesticação do guaranazeiro e, ao longo do tempo, tornou-se uma herança repassada também aos produtores não indígenas da região de Maués (Costa, 2017). Considerado um fruto sagrado e símbolo identitário, o *waraná*, nome original do guaraná na língua Sateré-Mawé, representa a história desse povo e está presente em diversos aspectos de sua tradição cultural (Alvarez, 2009).

Em estudos realizados por Tricaud, Pinton e Pereira (2016), os próprios agricultores reconhecem os Sateré-Mawé como detentores do conhecimento original sobre o guaraná, atribuindo a esse povo indígena a origem do cultivo da planta que cultivam e consomem atualmente.

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 (Silva *et al.*, 2018; Nina *et al.*, 2021).

O guaraná é rico em metilxantinas, como cafeína, teofilina e teobromina. As sementes podem ser utilizadas na elaboração de produtos comerciais com elevado teor de cafeína (2,5 a 6 %), superando outras espécies como café, chá e mate. Por

essa razão, o guaraná é descrito na literatura como a planta com o maior teor de cafeína conhecido (Heckman *et al.*, 2010; Schimpl *et al.*, 2014).

O Brasil é o único produtor em termos comerciais de guaraná do mundo, atendendo tanto à demanda nacional quanto internacional (Atroch; Nascimento Filho, 2018). É cultivado nos estados do Amazonas, Bahia, Mato Grosso, Rondônia, Pará, Acre, tendo produzido no ano de 2022, aproximadamente 2.721 toneladas de sementes secas em uma área colhida de 10.450 hectares, com produtividade média de 260 kg ha⁻¹ distribuídas entre 6.644 estabelecimentos rurais (IBGE, 2023).

O estado da Bahia é atualmente o maior produtor de guaraná do país, respondendo por mais de 60 % da produção nacional, com 1.815 toneladas em uma área colhida de 5.597 hectares, e com produtividade de 324 kg ha⁻¹. Essa elevada produtividade é atribuída às condições propícias da região e à adoção eficiente de tecnologias de cultivo. O Amazonas, por sua vez, ocupa a segunda posição, com produção de 686 toneladas em uma área colhida de 4.358 hectares, apresentando produtividade de 157 kg ha⁻¹ (IBGE, 2023).

O valor da produção nacional de guaraná foi de R\$ 48,6 milhões em 2022, aumentando para R\$ 55,2 milhões em 2023, o que evidencia uma tendência de valorização da cultura (IBGE, 2023).

O mercado do guaraná no estado do Amazonas tem demonstrado elevado potencial de crescimento. Em dezembro de 2023, o preço pago ao produtor alcançou R\$ 45,50/kg, representando um aumento de 19,7 % em relação ao mesmo período de 2022, quando era de R\$ 38,00/kg. Esse avanço foi ainda mais expressivo em 2024, com o produto cotado a R\$ 71,88/kg, o que corresponde a um aumento de 58,0 % em comparação a dezembro de 2023. Esses dados da CONAB (2024), refletem a valorização contínua da cultura, consolidando o guaraná como um mercado promissor na região Amazônica.

No Amazonas, a cultura do guaraná é cultivada em quinze municípios, com destaque para Maués, Presidente Figueiredo e Urucará como os principais produtores. Entre eles, o município de Maués se destaca como o maior produtor estadual (CONAB, 2019; IBGE, 2023).

A produção de guaraná possui grande relevância econômica e social para a região Amazônica, sendo predominantemente conduzida pela agricultura familiar (Soares *et al.*, 2019).

Do total dos produtores de guaraná, 88,7 % pertenciam à categoria de produtores familiares e 11,3 % a de produtores não familiares. Do total de produtores familiares, 71,1 % encontravam-se no estado da Bahia; 24,7 % no Amazonas e 0,8 % no Mato Grosso (CONAB, 2019).

3.3 Variabilidade e diversidade genética

Uma forma segura de se obter êxito em um Programa de Melhoramento está associada à variabilidade genética de suas populações base, sendo esta maximizada pelo inter cruzamento dos genótipos mais divergentes e selecionada por meio de avaliações fenotípicas das características agronômicas de interesse (Ertiro *et al.*, 2013).

É destacado por Silveira *et al.* (2014) que a variabilidade genética é importante para obter ganhos genéticos contínuos no desenvolvimento de novas cultivares.

O conhecimento sobre a diversidade genética e sua distribuição em uma espécie é útil para a conservação do germoplasma e identificação de materiais genéticos com características de interesse para serem incluídos em programas de melhoramento (Ferrão *et al.*, 2016). Fornecem parâmetros para identificação de linhagens parentais possibilitando maior efeito heterótico e maior segregação em recombinantes. A existência de variação genética para todos os caracteres de importância econômica aumenta a probabilidade de identificação de genótipos superiores nas progênies (Cabral *et al.*, 2018).

Além disso, a diversidade genética das espécies é uma importante forma de manter a capacidade natural de responder às mudanças climáticas e a todos os tipos de estresses bióticos e abióticos (Cruz; Ferreira; Pessoni, 2020).

A identificação da diversidade genética através de características morfoagronômicas é muito utilizada pelos melhoristas com a finalidade de identificar cruzamentos com potencial de se obter populações segregantes (Oliveira *et al.*, 2008).

A diversidade genética é de grande importância para o melhoramento, pois, adequadamente explorada, pode reduzir a vulnerabilidade da cultura a doenças e, ao mesmo tempo, acelerar o progresso genético para determinados caracteres (Cui *et al.*, 2001), visto que a perda de variabilidade genética pode resultar na diminuição da capacidade de resposta das espécies a alterações ambientais e, também, na diminuição do valor adaptativo (Cruz; Ferreira; Pessoni, 2020).

No guaranazeiro existe variabilidade genética suficiente para vários caracteres nas populações, o que permite a seleção de indivíduos superiores com maior número de atributos desejáveis, para uso direto pelos produtores ou para uso nos programas de melhoramento genético (Nascimento Filho; Atroch, 2002).

A variabilidade de vários caracteres vem sendo estudada em germoplasma cultivado tanto em áreas de produtores tradicionais como em áreas experimentais. A variabilidade de características qualitativas e quantitativas foi avaliada por Corrêa (1989), tanto em progênies de polinização aberta como em clones, resultando numa proposta de lista mínima de descritores potenciais para a caracterização morfológica de genótipos de guaranazeiro. Esta lista reúne observações morfo-anatômicas foliar (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 química (teor de cafeína na semente seca).

A análise multivariada é uma ferramenta eficiente para quantificar o grau de diversidade entre genótipos e integrar as informações de diferentes características por valor ou em gráficos, facilitando assim a comparação e classificação dos genótipos com base no conjunto dessas características avaliadas (Sultana; Ghafoor, 2009; Barth *et al.*, 2020).

A análise da divergência genética é importante para o conhecimento da variabilidade das populações, pois esta fornece parâmetros para escolha acertada de genitores que, ao serem transmitidos para progênie, aumentam as chances de obtenção de genótipos superiores em gerações segregantes (Cruz *et al.*, 2012).

Para estimar a divergência genética, entre indivíduos ou populações, são utilizados modelos biométricos, normalmente analisados por métodos estatísticos multivariados, com informações múltiplas de cada acesso, expressas em medidas de dissimilaridade (Sudré *et al.*, 2005).

Cruz, Ferreira e Pessoni (2020) indicaram que as medidas de dissimilaridade representam a diversidade existente no conjunto de acessos estudados, e os estudos são realizados a partir de informações das seguintes medidas: Medidas de dissimilaridade obtidas de variáveis quantitativas contínuas ou discretas; variáveis qualitativas binárias; e variáveis qualitativas multicategóricas.

As metodologias baseadas em modelos de agrupamentos dependem, fundamentalmente, das medidas de dissimilaridade previamente estimadas, que incluem a distância euclidiana e a generalizada de Mahalanobis, além de algoritmos como o de Gower, dentre outras (Cruz *et al.*, 2012).

Gower (1971) propôs uma técnica que permite a análise de dados quantitativos e qualitativos de forma simultânea. Tal método permite que os valores da matriz de distância fiquem compreendidos entre 0 e 1, sendo necessária a padronização das variáveis quantitativas e qualitativas. Trabalhos utilizando tal abordagem já foram relatados para tomate (*Solanum lycopersicum*) (Rocha *et al.*, 2010), soja (*Glycine max* (L.) Merrill) (Perini *et al.*, 2018) e guaraná (Ozorio; Atroch; Nascimento Filho, 2019).

3.4 Caracterização morfoagronômica

O emprego de critérios morfoagronômicos são de grande importância no programa de melhoramento, para a seleção de genótipos potencialmente úteis, para identificação de variedades que podem apresentar grande diversidade fenotípica de forma ligada à diversidade genética de uma espécie cultivada (Jarvis *et al.*, 2000).

Com o objetivo de garantir os direitos do melhorista sobre a cultura selecionada no ano de 1997, foi instituída no Brasil a Lei de proteção de cultivares (nº 9.456, de abril de 1997), a qual exige que para uma cultivar ser protegida, ela precisa atender a certos requisitos (Teramoto; Teixeira, 2008). Esses requisitos podem ser identificados a partir do teste denominado DHE (Distinguibilidade, Homogeneidade e Estabilidade), onde para se ter a caracterização e identificação das cultivares, avaliam-se as características morfológicas e agronômicas das mesmas (Silva, 2005).

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 - Ministério da Agricultura e Pecuária são: comprimento dos ramos, arquitetura da planta; forma da folha, 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 ráquis, forma dos rudimentos foliares na ráquis; densidade de frutos no racemo, comprimento do racemo; forma do fruto, coloração, superfície do pericarpo, tamanho, intensidade do brilho; teor de cafeína nas sementes e época de maturação dos frutos (BRASIL, 2010).

A caracterização morfoagronômica associada à análise multivariada constitui, portanto, uma ferramenta eficaz na estimativa da diversidade genética, permitindo identificar genótipos promissores e geneticamente distintos. Perini *et al.* (2018), demonstraram que a avaliação simultânea de descritores qualitativos e quantitativos, utilizando o coeficiente de Gower e o método de agrupamento UPGMA (*Unweighted Par Group Method with Arithmetic Mean*), foi eficiente na distinção de genótipos e na formação de grupos geneticamente divergentes para a soja. Resultados semelhantes foram observados em café robusta (*Coffea canephora*) por Ivoglo *et al.* (2008), que analisaram 21 progênies de meios-irmãos com base em 14 características morfoagronômicas e identificaram ampla variabilidade genética, evidenciando a importância de selecionar progênies divergentes para compor populações-base e gerar híbridos promissores.

Em estudo conduzido com dezoito cultivares de *P. cupana* var. *sorbilis*, Ozorio, Atroch e Nascimento Filho (2019) realizaram a caracterização morfoagronômica associada a métodos multivariados, o que permitiu identificar ampla variabilidade genética entre as cultivares. Esses resultados demonstram a importância da avaliação de características morfoagronômicas e da aplicação de análises multivariadas para conhecer a diversidade genética e orientar a seleção de genitores promissores.

3.5 Melhoramento genético do guaranazeiro

A Embrapa Amazônia Ocidental é a Instituição responsável pela Conservação dos Recursos Genéticos do Guaranazeiro no Brasil (Atroch, 2009).

O Programa de Melhoramento Genético do Guaranazeiro da Embrapa Amazônia Ocidental teve início em 1976, com a seleção fenotípica de matrizes

superiores, no Campo Experimental de Maués e em regiões produtoras no Amazonas (Atroch; Nascimento Filho, 2018).

O objetivo principal é 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 e maturação mais uniforme (Nascimento Filho; Atroch, 2002).

Entre 1999 e 2021, a Embrapa Amazônia Ocidental lançou 19 cultivares de guaranazeiro com alta produtividade, alto teor de cafeína, bem como resistência às principais doenças que afetam a cultura no estado do Amazonas. Das cultivares lançadas, 18 são clonais, propagadas pelo método de estaquia, entre elas BRS-Luzéia, BRS-Maués, BRS-Amazonas e BRS-Andirá. Recentemente, foi lançada a primeira cultivar de guaraná reproduzida por sementes, BRS-Noçoquém, oferecendo uma alternativa de menor custo para os produtores (Embrapa, 2023).

No guaranazeiro, o ciclo de melhoramento, que compreende a seleção de genitores, seleção de indivíduos para reprodução sexuada (progênes) e reprodução assexuada (clones), obtenção de sementes de polinização aberta e recomendação de clones para plantio em escala comercial, pode demorar de 20 a 30 anos. Assim, compreender a variabilidade fenotípica e genotípica, bem como a herança de caracteres, é crucial para escolher métodos de seleção adequados tanto na fase juvenil quanto na fase adulta (Atroch *et al.*, 2010).

No estado do Amazonas as pesquisas com progênes de guaranazeiro foram retomadas em 2003, após um período bem-sucedido de competição e recomendação de clones (Nascimento Filho; Atroch, 2002). Sendo o método de melhoramento empregado a seleção recorrente com teste de progênes de meios-irmãos (Atroch *et al.*, 2010).

Foram avaliadas pelo Programa de Melhoramento de Guaranazeiro da Embrapa Amazônia Ocidental 36 progênes para dez caracteres morfoagronômicos, incluindo resistência às principais doenças e produção de frutos, em três safras consecutivas. Os componentes de variância, parâmetros e valores genéticos e fenotípicos foram estimados via REML/BLUP (Máxima Verossimilhança Residual ou Restrita/Melhor Predição Linear não Viesada), revelando variabilidade fenotípica e genética entre as progênes para produção de frutos, com ganhos genéticos

superiores à seleção clonal (Atroch *et al.*, 2010). A seleção de indivíduos para produção de sementes e composição da população de melhoramento deram origem às progênies a serem avaliadas no presente trabalho.

É importante salientar que o uso da seleção recorrente constitui uma técnica de melhoramento que aumenta a frequência de alelos favoráveis numa população, por meio de repetidos ciclos de seleção, sem reduzir drasticamente a variabilidade da população, a qual é mantida por meio da recombinação em uma população selecionada com tamanho efetivo adequado (Borém, 1997).

Além disso, o sucesso do melhoramento genético está associado à capacidade de escolher os melhores indivíduos, que serão os genitores das próximas gerações (Cruz *et al.*, 2012). Uma das formas de identificar os melhores indivíduos é através do teste de progênies, definido por Allard (1971) como sendo a avaliação do genótipo dos genitores com base no fenótipo de seus descendentes.

A avaliação das progênies permite estimar parâmetros fenotípicos e genéticos, prever os valores genéticos em cruzamentos, as relações entre os caracteres, bem como, avaliar a eficiência dos métodos de seleção (Paludzyszyn Filho *et al.*, 2002).

Dentre as metodologias recomendadas para obtenção das estimativas dos parâmetros genéticos, destaca-se o (REML/BLUP), o qual confere maior acurácia e precisão nas estimativas, especialmente aquelas obtidas de ensaios desbalanceados, situação comum em espécies perenes e quando se dispõe de grande número de plantas (Resende, 2016), aspecto comum no melhoramento de espécies como o guaranazeiro (Atroch *et al.*, 2011).

O programa de melhoramento genético do guaranazeiro adotou essa técnica de análise a partir da década de 2000 em clones (Atroch; Resende; Nascimento Filho, 2004) e em progênies (Atroch *et al.*, 2010, 2011).

O procedimento BLUP ajusta os dados para os efeitos ambientais identificáveis (bloco, ano de medição, local de plantio etc.) e simultaneamente prediz os valores genéticos dos indivíduos (Resende, 2002). O método da REML é um dos mais difundidos para a estimativa de parâmetros genéticos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido na área do Campo Experimental de propriedade da Embrapa Amazônia Ocidental situada no km 29 da rodovia estadual AM-010, zona rural de Manaus, estado do Amazonas, Brasil com as seguintes coordenadas centroide $2^{\circ} 53' 36.42''$ S e $59^{\circ} 59' 29.45''$ W (Figuras 2 e 3).

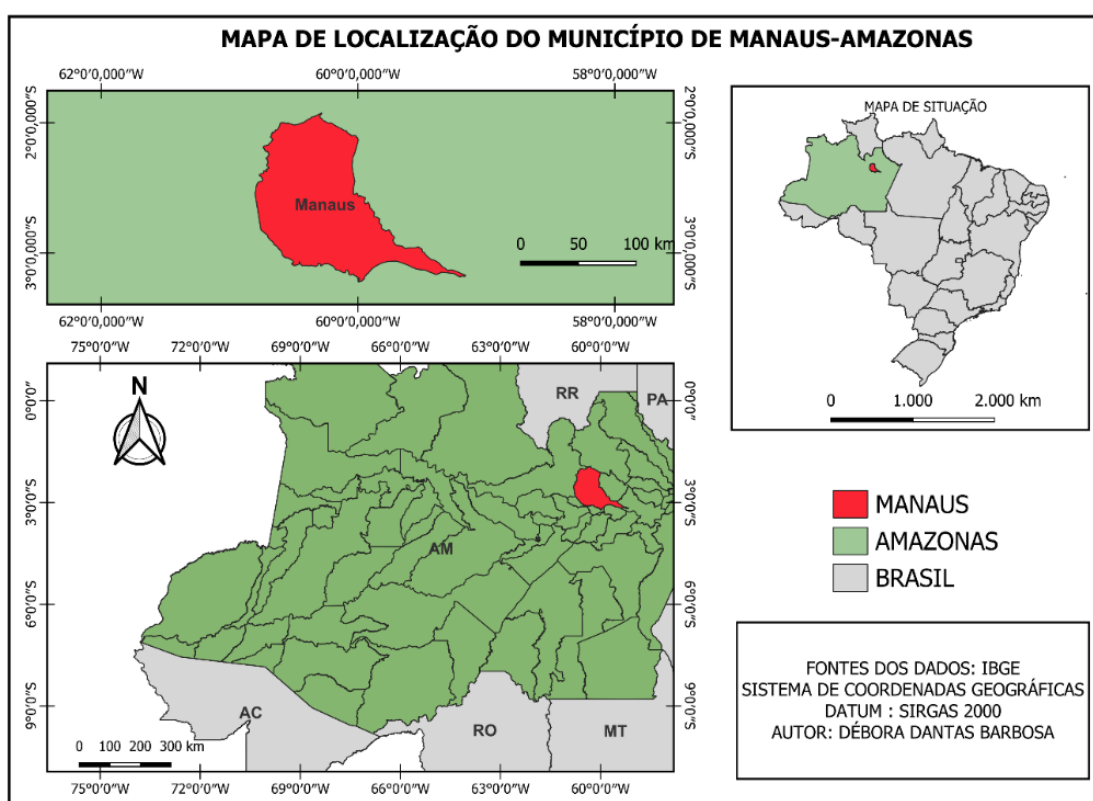


Figura 2 - Localização do Município de Manaus, Amazonas, Brasil, 2024

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Af: temperatura média do ar elevada, com média mensal superior a 18°C e alta pluviosidade.

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

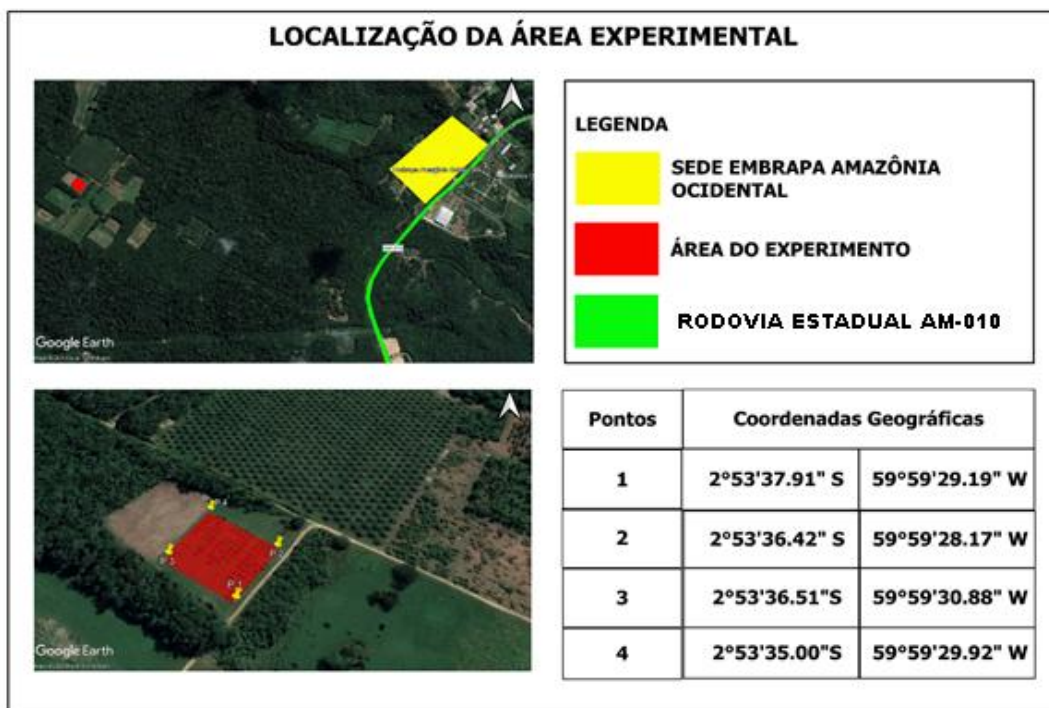


Figura 3 - Localização da área experimental: área de pesquisa da Embrapa Amazônia Ocidental, Rodovia AM-010, Km 29, Manaus-AM.

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.



Figura 4 - Área do Experimento de progênies da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM, 2024.

Foto: Débora Dantas, 2024.

4.2 Delineamento experimental

Foram avaliadas seis progênes 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 x 5 m, totalizando 144 plantas.

4.3 Obtenção das progênes

O experimento foi implantado na área de pesquisa da sede da Embrapa Amazônia Ocidental no mês de abril de 2014 e as progênes utilizadas neste trabalho foram identificadas como P64, P70, P207, P305, M319 (BRS-Noçoquém) e P382. As progênes de meios-irmãos foram obtidas de plantas provenientes de um ensaio de competição de progênes avaliado pela Embrapa Amazônia Ocidental durante dez anos no Campo Experimental de Maués, nos quais foram selecionadas como matrizes (genitor feminino) as melhores plantas individuais quanto à produção e resistência à antracnose.

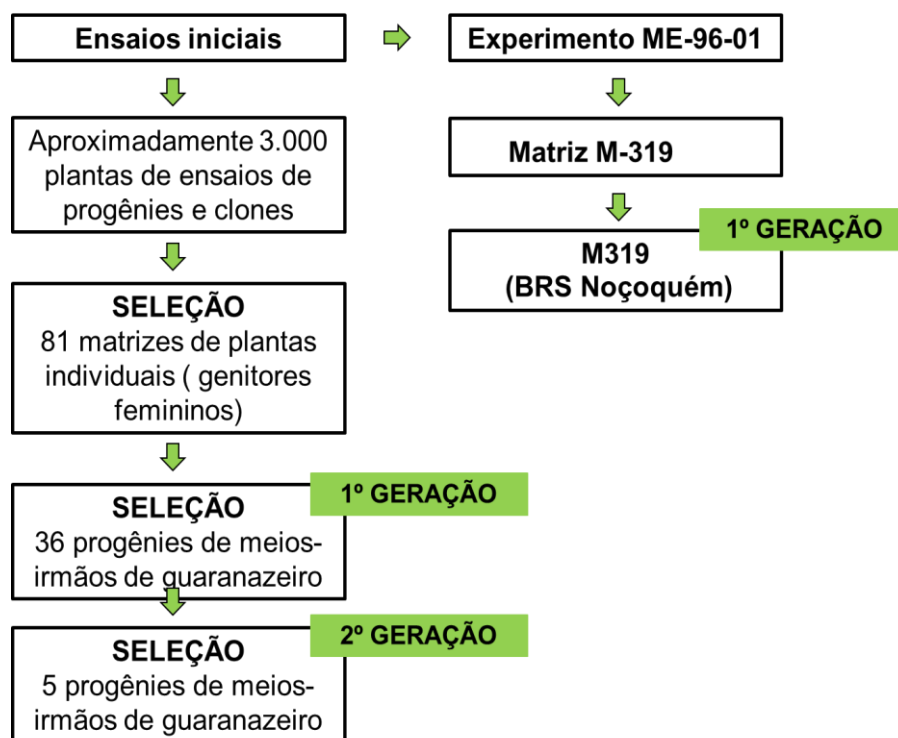


Figura 5 - Fluxograma do processo de seleção e melhoramento genético do guaranazeiro, mostrando a origem das progênes avaliadas.

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A BRS-Noçoquém é uma cultivar que foi selecionada dentro do mesmo experimento, entretanto, como progênie 29 e foi utilizada a planta matriz M-319 que se encontrava no experimento ME-96-01, planta 319 no Campo Experimental de Maués, sendo recomendada para plantio no estado do Amazonas e utilizada como testemunha do ensaio.

4.4 Descritores avaliados

Os caracteres de guaraná foram baseados em uma lista mínima de descritores para a caracterização morfológica (BRASIL, 2010; Fajardo *et al.*, 2019; Ozorio, Atroch, Nascimento Filho, 2019). O Serviço Nacional de Proteção de Cultivares por meio do Ato nº 10 de 30/12/2010, divulgou os vinte descritores da espécie *P. cupana* var. *sorbilis* publicado no Diário Oficial da União nº 251 de 31 de dezembro de 2010 (páginas 34-35) (BRASIL, 2010).

Foram avaliados e caracterizados 18 descritores neste trabalho. Os dados qualitativos utilizados foram avaliados e obtidos por meio da moda de cada descritor e a do descritor quantitativo baseado na média da produção ao longo de três anos.

1. Planta – Arquitetura da planta

O descritor compreende as seguintes classes: (3) ereta, (5) semi ereta e (7) decumbente.



Figura 6 - Descritor arquitetura da planta: a) ereta; b) semi ereta; c) decumbente.

Foto: Débora Dantas, 2024.

2. Folha – Forma do 3º folíolo da folha

O descritor compreende as seguintes classes: (1) oval, (2) elíptica, (3) oblonga.



Figura 7 - Descritor da forma do 3º folíolo da Folha: a) elíptica; b) oblonga

Foto: Débora Dantas, 2025.

3. Folha – Coloração da folha jovem

O descritor da cor da folha jovem apresenta as seguintes classes: (1) verde clara, (2) verde escura, (3) verde arroxeadada, (4) marrom, (5) púrpura.

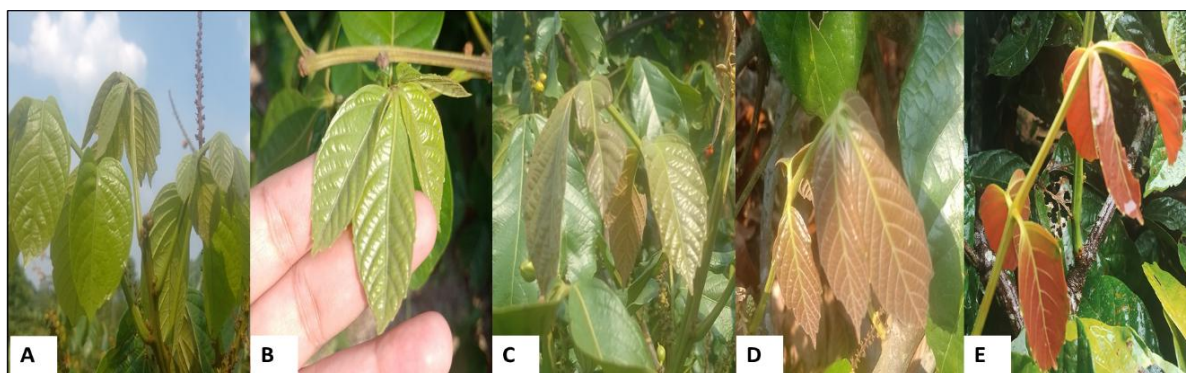


Figura 8 - Descritor Coloração da Folha Jovem: a) verde clara; b) verde escura; c) verde arroxeadada; d) marrom e) púrpura.

Foto: Débora Dantas, 2024.

4. Folha – Pigmentação antocianínica na folha jovem

O Descritor Pigmentação antocianínica na folha jovem, responsável pela coloração das folhas apresenta a seguinte classe: (1) ausente; (2) presente.

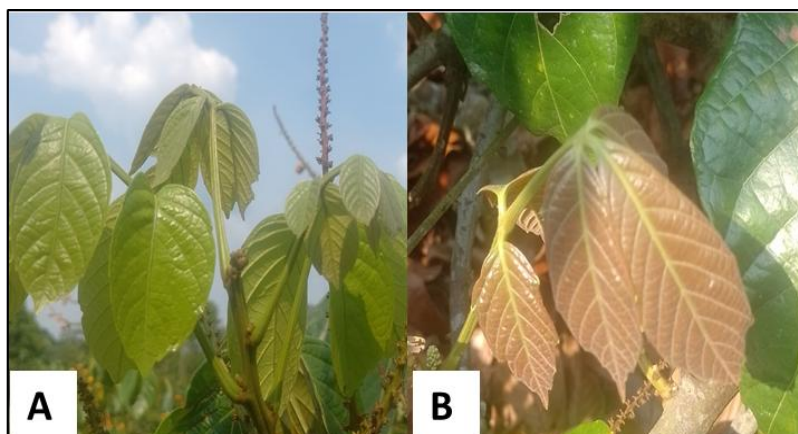


Figura 9 - Descritor Folha: Pigmentação antocianínica: a) ausente ; b) presente

Foto: Débora Dantas, 2024.

5. Folha – Coloração verde da folha

A coloração verde das folhas apresenta as seguintes classes: (1) clara, (2) média, (3) escura, (4) amarelada.

6. Folha – Intensidade da pigmentação antocianínica

O descritor: Intensidade da pigmentação antocianínica apresenta as seguintes classes: (3) baixa, (5) média, (7) alta.

7. Folha – Bulado da superfície da face superior do limbo foliar

O descritor representa o limbo, e é conhecido com bulado quando é rugoso, e excesso de parênquima entre as reticulações das nervuras. O bulado da superfície da face superior do limbo foliar : (3) fraco, (5) médio, (7) forte.

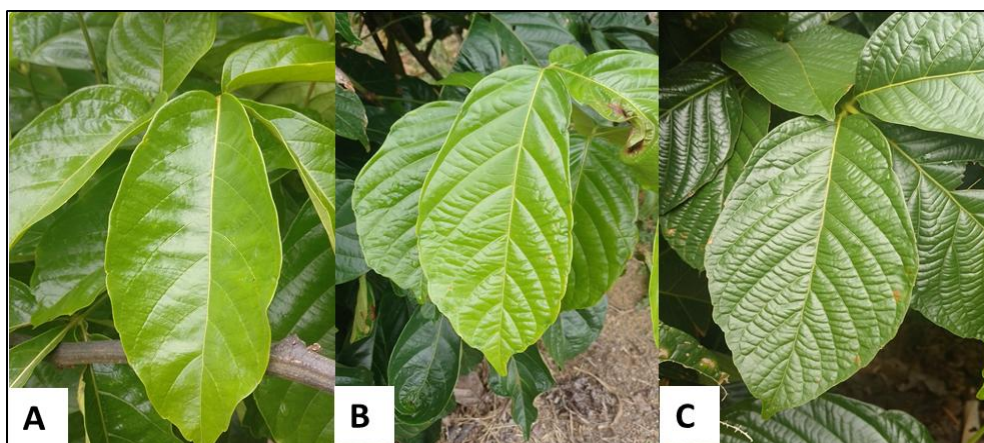


Figura 10 - Descritor bulado da superfície da face superior do limbo foliar: (a) fraco; (b) médio; c) forte.

Foto: Débora Dantas, 2024.

8. Folha – Brilho da face superior

O brilho da face superior apresenta as seguintes classes: (3) fraco, (5) médio, (7) forte.

9. Folha – Rudimentos foliares na raquis

A raquis consiste na parte do eixo da folha composta onde se inserem os folíolos e que está no prolongamento do pecíolo. As cultivares podem ou não apresentar rudimentos foliares nessas estruturas: (1) ausente, (2) presente.

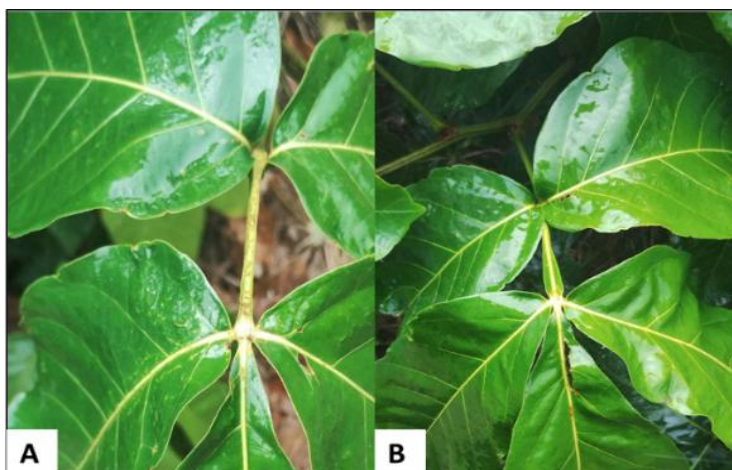


Figura 11 - Descritor Forma dos Rudimentos Foliares na Raquis: a) ausente; b) presente.

Foto: Débora Dantas, 2024.

10. Folha – Forma dos rudimentos foliares na raquis

Quanto aos rudimentos foliares presentes na raquis apresentam as seguintes classes: (1) alada, (2) marginada, (3) exalada.

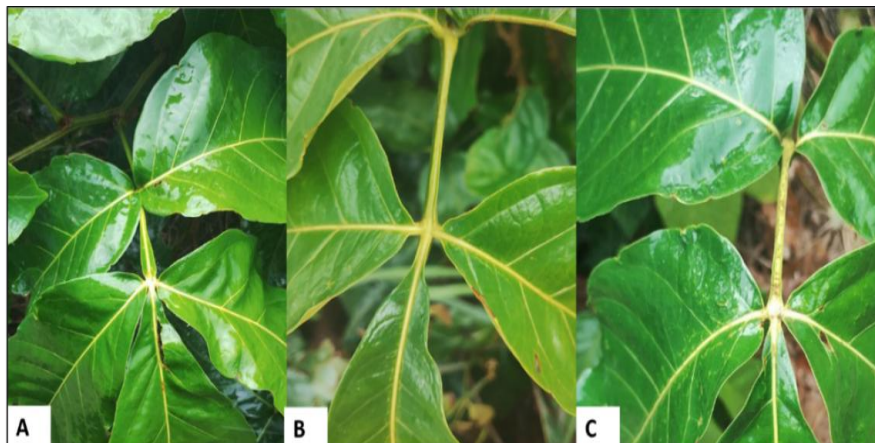


Figura 12 - Descritor Forma dos Rudimentos Foliares na Raquis: a) alada; b) marginada, c) exalada.

Foto: Débora Dantas, 2024.

11. Racemo – Densidade dos frutos

O descritor da densidade dos frutos no racemo apresenta as seguintes classes: (1) baixa, (2) média, (3) alta.

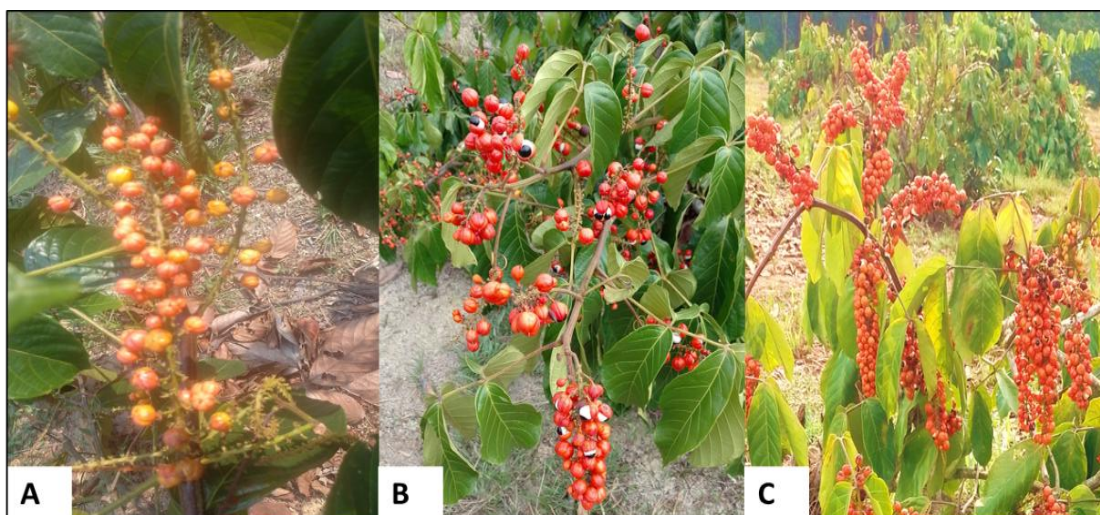


Figura 13 - Descritor Racemo Densidade dos Frutos: a) baixa; b) média; c) alta.

Foto: Débora Dantas, 2024.

12. Racemo – Comprimento

O descritor do comprimento do racemo apresenta as seguintes classes: (3) curto, (5) médio, (7) longo.

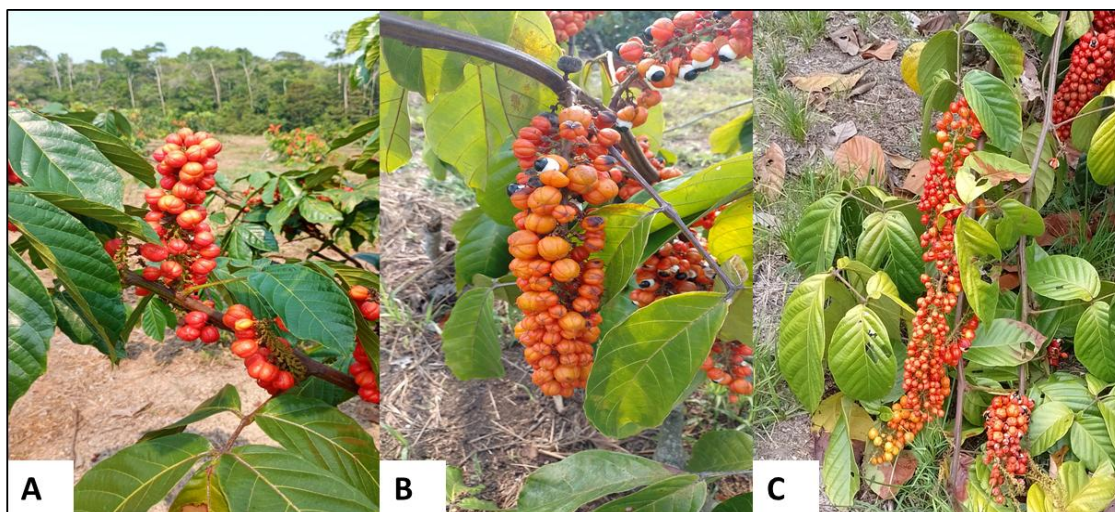


Figura 14 - Descritor comprimento do racemo: a) curto; b) médio; c) longo.

Foto: Débora Dantas, 2024.

13. Fruto – Forma

A forma dos frutos apresenta as seguintes classes: (1) elíptica, (2) obovada, (3) globosa.



Figura 15 - Descritor Fruto Forma: a) elíptica; b) obovada; c) globosa.

Foto: Débora Dantas, 2024.

14. Fruto – Coloração

O descritor de coloração dos frutos apresenta as classes: (1) amarela, (2) alaranjada, (3) amarela avermelhada, (4) vermelha amarelada, (5) vermelha alaranjada, (6) vermelha, (7) vermelha escura.

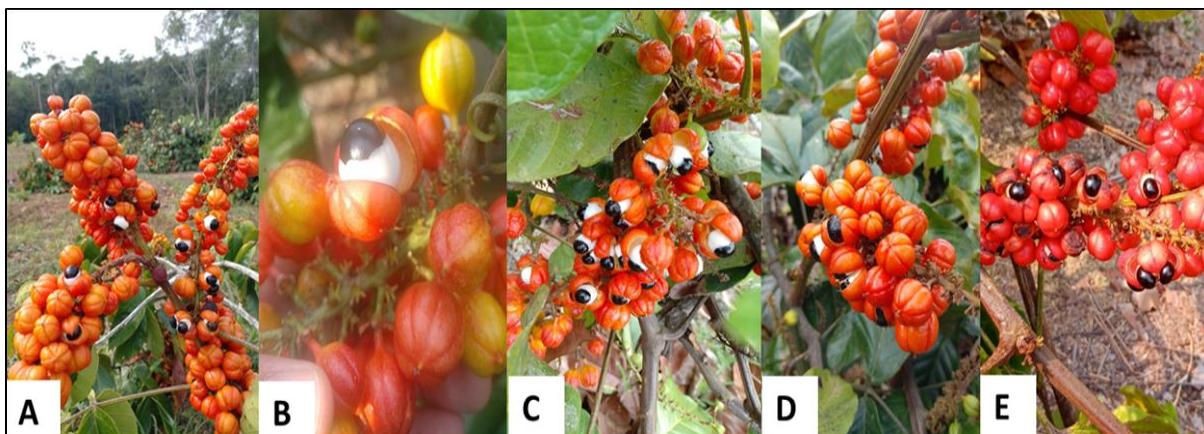


Figura 16 - Descritor de coloração dos frutos: a) alaranjada; b) amarela avermelhada; c) vermelha amarelada; d) vermelha alaranjada; e) vermelha.

Foto: Débora Dantas, 2024.

15. Fruto – Superfície do pericarpo

A superfície do pericarpo dos frutos apresenta as classes : (1) lisa, (2) rugosa.

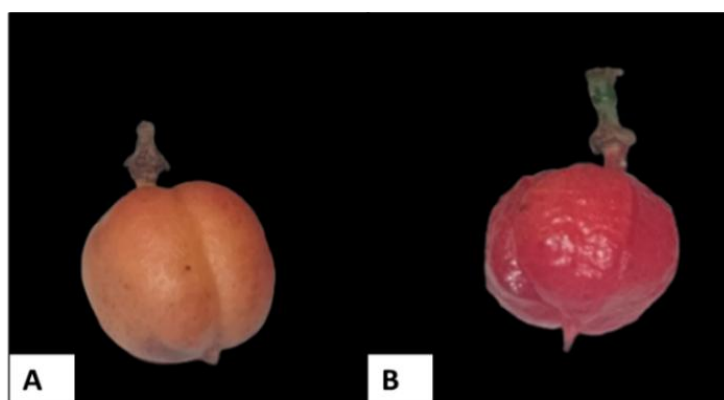


Figura 17 – Descritor superfície do pericarpo do fruto: a) lisa; b) rugosa.

Foto: Débora Dantas, 2024

16. Fruto – Tamanho

O descritor tamanho dos frutos apresenta as seguintes classes: (3) pequeno, (5) médio, (7) grande.

17. Fruto – Intensidade do brilho

O descritor de intensidade do brilho dos frutos apresenta as seguintes classes: (3) fraca, (5) média, (7) forte.

18. Produção

A avaliação da produção, ao nível de média por planta foi realizada utilizando os dados de 3 anos de colheita dos anos 2018, 2022 e 2023. Os dados referentes aos anos de 2018 e 2022 foram obtidos a partir do estudo conduzido por Silva (2023). O intervalo entre os anos de 2018 e 2022 ocorreu em função das restrições impostas pela pandemia da COVID-19, que impossibilitaram a realização das avaliações de campo nesse período.

4.5 Colheita dos frutos

Os frutos foram colhidos com auxílio de tesoura de poda, baldes plásticos e após a colheita realizada em cada planta, colocados em embalagens plásticas transparentes. Os dados obtidos em campo foram anotados e tabulados em planilha excel.



Figura 18 - Frutos de guaranazeiro colhidos de cada planta.

Foto: Débora Dantas, 2024.

4.6 Análise genético-estatística

4.6.1 Análise de variância

Para análise de variância dos dados de produção de frutos (g planta^{-1}), baseado na média da produção ao longo de três anos, foi utilizado nível de significância de 1 e 5 %, e as análises estatísticas foram realizadas no *software* R (R Development Core Team, 2024), utilizando o ambiente RStudio (Posit Team, 2025).

4.6.2 Análise dos parâmetros genéticos e componentes de variância

Foram estimados os componentes de variância, parâmetros genéticos e valores genéticos pelo procedimento REML/BLUP utilizando o programa Seleção Genética Computadorizada – SELEGEN (Resende, 2020) para a variável produção em $\text{g planta}^{-1} \text{ano}^{-1}$. Foram consideradas as produtividades individuais de cada planta, os resultados expressos em $\text{g planta}^{-1} \text{ano}^{-1}$.

O software Selegen - REML/BLUP utiliza modelos mistos e foi desenvolvido para otimizar a rotina dos programas de melhoramento de plantas (Resende, 2016). O modelo Estatístico utilizado $y = Xm + Za + Wp + Ts + e$, 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), s é vetor dos efeitos permanentes (aleatórios) e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). 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, medições e interação repetições x medições (Resende *et al.*, 2007).

4.6.3 Análise da distância genética

O nível de diversidade genética foi calculado utilizando o coeficiente geral de Gower (Gower, 1971). O método de Gower permite a análise simultânea de dados quantitativos e qualitativos padronizados na determinação da distância genética. A distância de Gower é calculada por meio da expressão:

$$S_{ijk} = \frac{\sum_{k=1}^v w_{ijk} C_{ijk}}{\sum_{k=1}^v w_{ijk}}$$

em que:

S_{ijk} : similaridade entre os indivíduos i e j , para a variável k ;

w_{ijk} : peso dado à comparação entre os indivíduos i e j , para a variável k , atribuindo valor 1 para as comparações válidas e 0 para as comparações inválidas pela falta de informação em pelo menos um indivíduo do par de comparação;

C_{ijk} : contribuição da variável k na similaridade entre os indivíduos i e j .

4.6.4 Análise do agrupamento

A análise de agrupamento tem por finalidade reunir, por algum critério de classificação, as unidades amostrais em vários grupos, com base nas medidas das características mensuradas. Este processo de agrupamento envolve basicamente duas etapas, onde a primeira relaciona-se com a estimativa de uma medida de similaridade (ou dissimilaridade) entre os materiais a serem amostrados e a segunda, com a adoção de uma técnica de agrupamento para a formação dos grupos (Cruz *et al.*, 2008).

As progênies foram agrupadas seguindo os critérios de dissimilaridade por meio do método hierárquico das médias aritméticas das medidas de dissimilaridades (UPGMA). Esse método agrupa as progênies em pares usando as médias aritmética das medidas de dissimilaridade e isso evita caracterizar a dissimilaridade por valores extremos (máximo ou mínimo) entre os genótipos considerados.

O método de Mojena (1977), que é baseado no tamanho relativo dos níveis de fusão do dendrograma, foi utilizado para indicação do ponto de corte no dendrograma. A validação dos agrupamentos foi determinada pelo coeficiente de correlação cofenética (Sokal; Rohlf, 1962).

O programa computacional R (R Development Core Team, 2024) foi utilizado para as análises de distância genética, agrupamentos hierárquicos, ponto de corte no

dendrograma e correlação cofenética. As análises multivariadas e o agrupamento hierárquico foram conduzidos com auxílio do pacote MultivariateAnalysis (Azevedo, 2021).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização dos descritores qualitativos

Observou-se predominância da forma decumbente, evidenciada em 84% das progênes avaliadas, enquanto 15 % apresentaram porte semi ereto e apenas 1 % foi classificado como ereto (Figura 19).

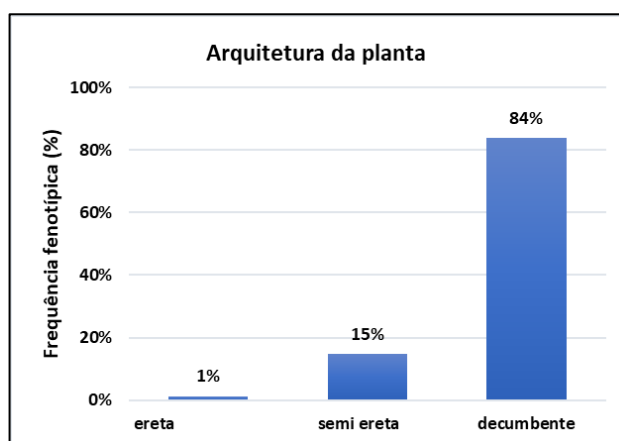


Figura 19 - Gráfico do descritor qualitativo arquitetura da planta das progênes de meios-irmãos de guaranazeiro.

A avaliação dos nove descritores foliares (Figura 20) é relatada a seguir: para o caráter forma do terceiro folíolo, não foram observadas plantas com folíolos ovais (0 %); por outro lado, verificou-se que 69 % apresentaram folíolos do tipo oblongos, enquanto 31% exibiram formato elíptico.

Quanto à cor da folha jovem, observou-se predominância da coloração verde arroxeada (58 %), seguida de verde clara (14 %), púrpura (10 %), verde escura (9 %), e marrom (9 %). A presença de pigmentação antocianínica na folha jovem foi registrada em 76 % das plantas, enquanto 24 % não apresentaram esse pigmento. Entre aquelas com pigmentação, a intensidade antocianínica variou, sendo classificada como baixa (39 %), média (38 %) ou alta (23 %), demonstrando diferenças expressivas no acúmulo de antocianinas.

A coloração verde da folha madura apresentou maior frequência na classe média (54 %), seguida pela coloração verde escura (38 %) e verde clara (8 %), não havendo registros de cor amarelada (0 %).

No que se refere ao caráter bulado da superfície da face superior do limbo foliar, a expressão fenotípica predominante foi o grau médio (53 %), seguido pelos graus fraco (24 %) e forte (23 %). Para o descritor brilho da face superior da folha, observou-se predominância do nível médio (65 %), enquanto 23 % apresentaram brilho forte e 12% brilho fraco.

O caráter rudimentos foliares na ráquis apresentou-se ausente em 77% das progênies, enquanto 23 % exibiram essa estrutura. Entre as plantas que apresentaram rudimentos, a forma exalada foi predominante (79 %), seguida das formas marginada (16 %) e alada (5 %), demonstrando maior representatividade da morfologia exalada.

Os resultados, quanto à densidade de frutos no racemo (Figura 21), apresentaram predominância da classe densidade baixa, correspondendo a 46 % seguida da densidade média (43 %) e alta (11 %). Em relação ao comprimento do racemo, 54% apresentaram racemos de comprimento médio, 42 % curto e apenas 4 % longo.

Para as características do fruto (Figura 22), a forma apresentou maior frequência de frutos globosos (79 %), seguida dos formatos elíptico (13 %) e obovado (8 %). A superfície do pericarpo indicou maior ocorrência de frutos rugosos (72 %), em comparação aos lisos (28 %).

Quanto ao tamanho dos frutos, verificou-se predominância de frutos de tamanho médio (90 %), enquanto frutos pequenos e grandes corresponderam a 7 e 3%, respectivamente. A coloração dos frutos, apresentou coloração vermelha alaranjada (49 %) e alaranjada (36 %), enquanto as colorações amarela avermelhada (7 %), vermelha amarelada (4 %) e vermelha (4 %) ocorreram em menores proporções. A intensidade do brilho apresentou maior frequência de frutos com brilho médio (54 %), seguida por brilho fraco (32 %) e forte (14 %).

De modo geral, os resultados obtidos evidenciam a ampla variabilidade fenotípica do guaranazeiro, expressa nos descritores avaliados, sendo compatível com o comportamento de uma espécie poliploide e alógama, cuja complexidade genômica favorece diferentes expressões fenotípicas, mesmo diante de uma base genética relativamente estreita, como observado no guaranazeiro (Atroch, 2009; Nascimento Filho, 2001).

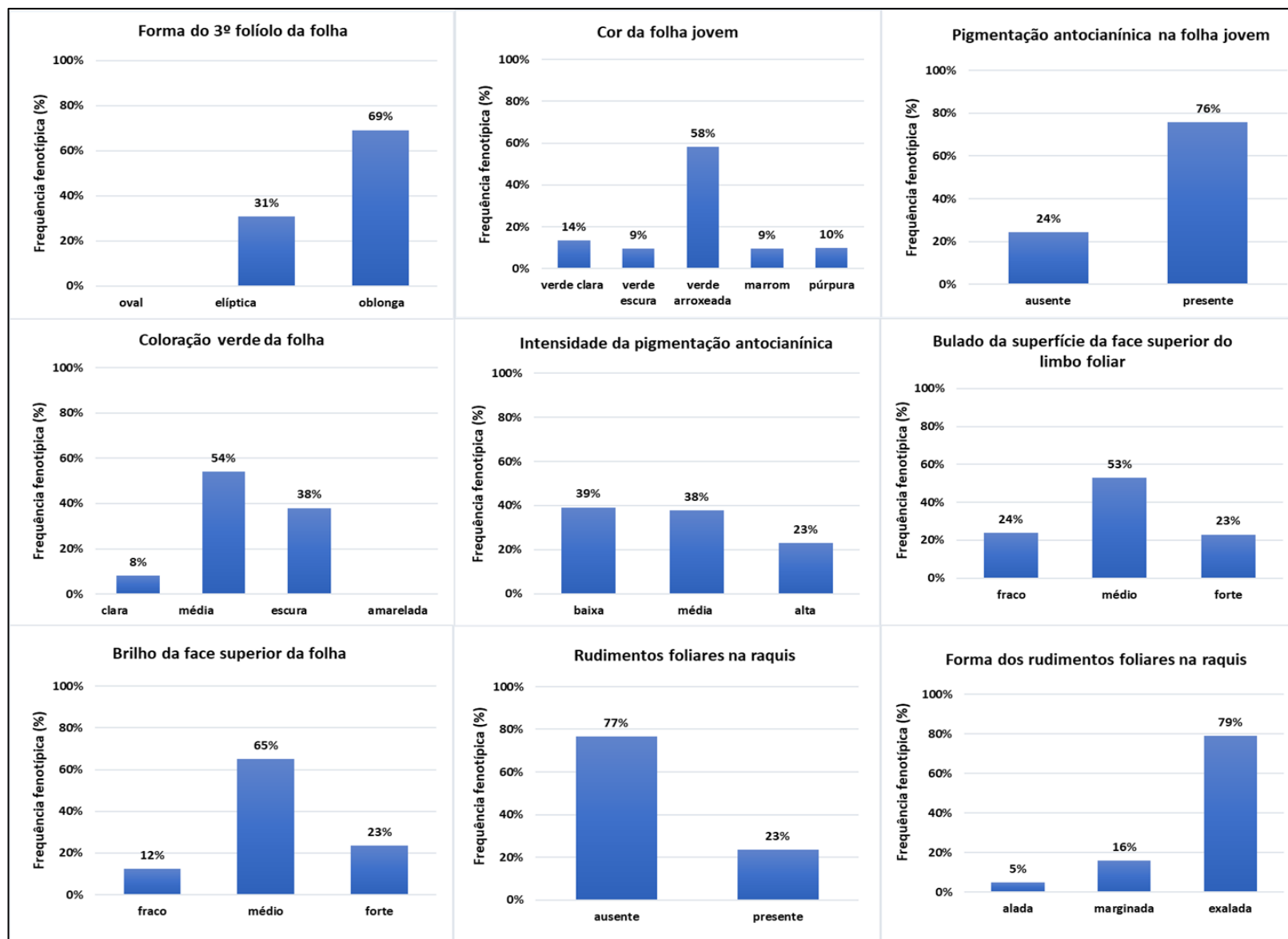


Figura 20 - Gráficos dos descritores qualitativos foliares em progênies de meios-irmãos de guaranazeiro: forma do 3º folíolo; coloração e pigmentação antocianínica em folhas jovens; coloração verde da folha; intensidade da pigmentação; bulado da superfície da face superior do limbo foliar; brilho da face superior; presença e a forma de rudimentos foliares na raquis.

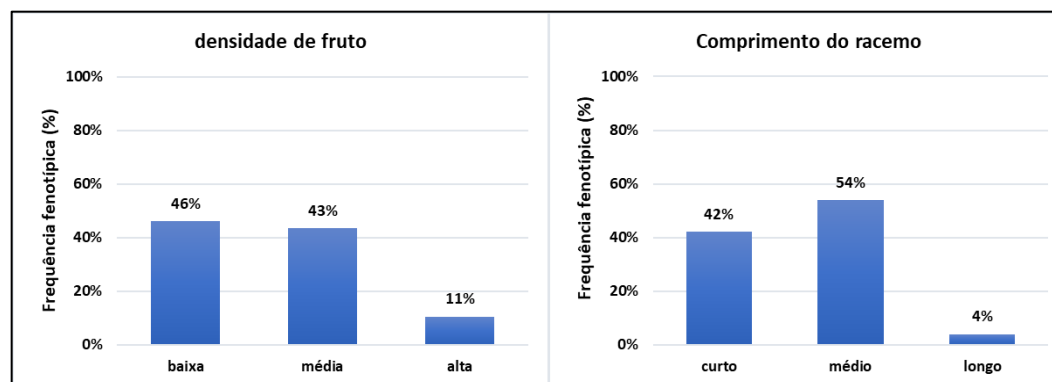


Figura 21 - Gráficos dos descritores qualitativos do racemo das progênes de meios-irmãos de guaranazeiro: densidade dos frutos e comprimento do racemo.

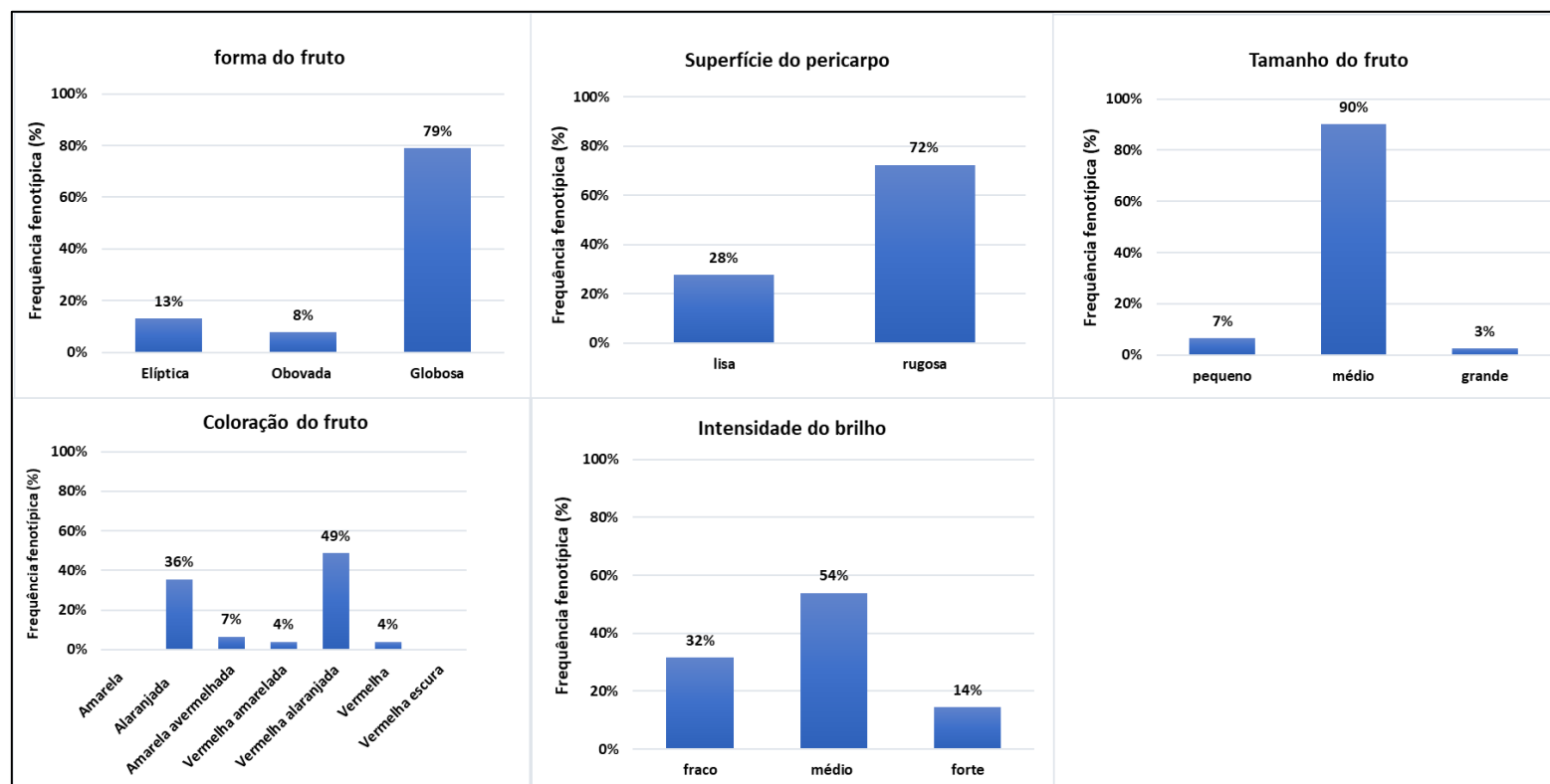


Figura 22 - Gráficos dos descritores qualitativos do fruto das progênes de meios-irmãos de guaranazeiro: forma, superfície do pericarpo, tamanho, coloração e intensidade do brilho.

5.2 Análise de variância (ANOVA)

A análise de variância (ANOVA) não indicou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os blocos para o caráter produção de frutos nas três safras avaliadas (Tabela 1), sugerindo uma relativa homogeneidade ambiental na área experimental. Da mesma forma, não foi observada diferença significativa entre as progênies ($p < 0,05$).

Tabela 1 - Análise de variância da produção de frutos de guaranazeiro nas safras de 2018, 2022 e 2023

Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	FC	Pr>Fc
Blocos	2	24622751	12311 375,5	0,7947	0,45299 ^{ns}
Anos	2	234608135	117 304 067,5	7,5718	0,00066 ^{**}
Progênies	5	91903573	18 380 714,6	1,1864	0,31665 ^{ns}
Anos x Progênies	10	343082183	34 308 218,3	2,2145	0,01791 [*]
Resíduo	225	3485764197	15 492 285,3		
Total	244	4179980839			
CV = 83,82 %					

*Significativo ao nível de 5 % de probabilidade

**Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

ns – não significativo

Por outro lado, a fonte de variação anos apresentou efeito altamente significativo ($p < 0,01$), assim como a interação entre progênies e anos ($p < 0,05$), evidenciando variação produtiva entre as safras de 2018, 2022 e 2023.

O coeficiente de variação (CV) foi de 83,82 %, sendo classificado como médio para a cultura do guaranazeiro, de acordo com a classificação proposta por Atroch e Nascimento Filho (2005). No cultivo do guaraná, a frutificação ocorre de forma desuniforme, o que exige a realização de múltiplas colheitas ao longo da safra para a obtenção da produção anual. Essa característica, associada aos erros inerentes ao manuseio durante a colheita, contribui para a elevação dos coeficientes de variação da produção, que frequentemente se apresentam superiores aos observados em outras culturas (Atroch; Nascimento Filho, 2005; Nascimento Filho, 2018). Além disso, de acordo com Resende (2002) em experimentos com plantas frutíferas o tamanho das parcelas é grande e o número de repetições geralmente é pequeno, o que reduz a precisão do experimento.

A Tabela 2 apresenta a produção média de frutos das progênies de guaranazeiro por safra, nos anos de 2018, 2022 e 2023. De acordo com o teste de Tukey, o ano de 2023 apresentou produtividade média significativamente superior (5.917,03 g planta⁻¹) em relação aos anos de 2018 (4.115,87 g planta⁻¹) e 2022 (3.724,20 g planta⁻¹), os quais não diferiram entre si.

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

Safra (ano)	Produção de frutos (g planta ⁻¹)	
2023	5917,03	a
2018	4115,87	b
2022	3724,20	b

*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

Esse comportamento, por sua vez, pode estar associado às diferenças nas condições de manejo ao longo do período experimental, conforme observado em estudos anteriores com o mesmo experimento por Silva (2023), a interrupção parcial dos tratos culturais nos anos de 2020 e 2021, decorrente das restrições da pandemia de COVID-19, bem como à posterior retomada do manejo a partir de 2022. Além disso, a ocorrência de interação genótipo × ambiente é comum na cultura do guaranazeiro (Nascimento Filho *et al.*, 2000; Nascimento Filho, 2003).

Os resultados obtidos na avaliação das progênies na Tabela 3, mostram que a progênie P207 apresentou a maior média de produção (5.519,25 g planta⁻¹), seguida pelas progênies P64 (5.065,88 g planta⁻¹) e P305 (4.765,21 g planta⁻¹). A progênie P70 apresentou o menor desempenho produtivo (3.442,19 g planta⁻¹).

Tabela 3 - Médias da produção de frutos de seis progênies de guaranazeiro nas três safras avaliadas nos anos de 2018, 2022 e 2023

Ordem Progênies	Progênies	Produção de frutos (g planta ⁻¹)
1	P207	5.519,25
2	P64	5.065,88
3	P305	4.765,21
4	M319	4.331,59
5	P382	4.267,22
6	P70	3.442,19

5.3 Componentes de variância (REML Individual)

Considerando os componentes de variância estimados pelo método REML (REML individual), a produção de frutos (g planta^{-1}) das progênes avaliadas, referente às safras de 2018, 2022 e 2023, apresentou média geral de $3.992,23 \text{ g planta}^{-1}$, valor superior ao encontrado por Silva (2023), que obteve média de $3.450,17 \text{ g planta}^{-1}$ em estudos relacionados à estimativa de componentes de variância pelo mesmo método.

Entretanto, essa média foi inferior à relatada por Atroch *et al.* (2013), que registraram produtividade média de $5.206,49 \text{ g planta}^{-1}$ em experimentos conduzidos com guaranazeiro. Contudo, destaca-se que as produtividades médias observadas em ensaios com clones de guaranazeiros variam entre 4.195 e $4.523 \text{ g planta}^{-1}$ (Atroch *et al.*, 2010), valores próximos à média obtida no presente estudo.

Além disso, de acordo com Atroch *et al.* (2013), a produtividade de referência para a seleção de genótipos superiores em programas de melhoramento genético do guaranazeiro da Embrapa Amazônia Ocidental está em $6.000 \text{ g planta}^{-1}$.

A variância genética aditiva (V_a) foi de 1.035.507,10; a variância ambiental entre parcelas (V_{parc}) foi de 37.852,74; a variância residual temporária (V_e) foi de 11.997.953,53 e a variância fenotípica individual (V_f), obteve o valor de 16.383.461,22 (Tabela 4).

Tabela 4 - Estimativas de componentes de variância (REML Individual) para produção de frutos de guaraná em três safras 2018, 2022 e 2023

Parâmetros	Estimativas
Variância genética aditiva – V_a	1.035.507,10
Variância ambiental entre parcelas – V_{parc}	37.852,74
Variância dos efeitos permanentes- V_{perm}	3.312.147,84
Variância residual temporária – V_e	11.997.953,53
Variância fenotípica individual – V_f	16.383.461,22
Herdabilidade individual entre progênes – h^2g	0,063204 +- 0,086
Coeficiente de determinação dos efeitos de parcela – c^2_{parc}	0,002310
Coeficiente de determinação dos efeitos permanentes – c^2_{perm}	0,202164
Repetibilidade individual – r	0,267679 +- 0,0884
Média geral	3.992,23

Amorin *et al.* (2008) ressaltaram que a produção de frutos é um caráter de herança quantitativa, governado por um grande número de genes de pequeno efeito cumulativo, sendo fortemente responsivo às variações ambientais. No presente estudo, a herdabilidade individual entre progênies (h^2g) para a produção de frutos foi de 0,063, caracterizando um valor baixo. Contudo, esse resultado encontra-se dentro do esperado para a característica produtividade, corroborando os resultados reportados por Atroch *et al.* (2010, 2011 e 2013), nos quais a maior parte da variação fenotípica observada para a produção de frutos é atribuída aos efeitos ambientais.

O coeficiente de determinação dos efeitos de parcela (c^2_{parc}) foi de 0,002310 sendo considerado baixo, o que indica que quase nenhuma variação ambiental permaneceu dentro das parcelas (Atroch *et al.*, 2010).

Em se tratando do coeficiente de determinação dos efeitos permanentes (c^2_{perm}) no valor de 0,202164 o resultado foi de baixa magnitude, ou seja, a variação ambiental permanente, de um ano para outro, não é importante.

Os índices de repetibilidade (r) apresentaram valor de 0,2677, indicando baixa regularidade produtiva dos genótipos ao longo dos anos avaliados. Esse parâmetro expressa a consistência do desempenho produtivo de um genótipo entre diferentes safras, sendo que valores mais elevados, próximos de 0,90, indicam maior estabilidade temporal da produção (Negreiros *et al.*, 2008). O valor observado neste estudo está em concordância com os resultados reportados por Atroch *et al.* (2013) e Nascimento Filho *et al.* (2009), que também verificaram baixos índices de repetibilidade para a produção de frutos em guaranazeiro, atribuídos à forte influência ambiental e à interação genótipo $\times$ ambiente.

5.4 Componentes de média (BLUP Individual)

Em relação aos componentes de médias (BLUP individual) para a seleção de genótipos (progênies) considerando todas as safras (2018, 2022 e 2023), destacaram-se as progênies P207 e P64. A seleção apenas da progênie P207 resultaria em uma produtividade média de 4.757,42 g planta⁻¹. Já a seleção conjunta das progênies P207 e P64 proporcionaria ganhos genéticos, elevando a média para 4.666,23 g planta⁻¹ (Tabela 5). Esse desempenho é de extrema relevância, uma vez que esses materiais

apresentam potencial para atingir produtividades aproximadamente três vezes superiores à média estadual, estimada em 1.200 g planta⁻¹ (Atroch, 2009).

Tabela 5 - Estimativas de componentes de médias (BLUP individual) para seleção de progênies de meios-irmãos de guaranazeiro em todas as safras

Ordem	Genitor	a	Ganho	Nova Média
1	P207	765,1959	765,1959	4.757,4255
2	P64	582,8070	674,0015	4.666,2310
3	P305	61,9228	469,9752	4.462,2048
4	M319	-85,1858	331,1850	4.323,4146
5	P382	-582,2649	148,4950	4.140,7246
6	P70	-742,4750	0,0000	3.992,2296
Média geral = 3.992,23				

5.5 Seleção de indivíduos

A produção média do melhor indivíduo, pertencente à progênie P207 (planta 33), apresentou valor fenotípico individual (f) de 14.594,33 g planta⁻¹. Corresponde a uma produtividade superior à média do estado do Amazonas e maior do padrão de 6.000 g planta⁻¹ estabelecido pela Embrapa Amazônia Ocidental para a seleção de materiais de alto desempenho.

De acordo com os critérios de seleção adotados, os três indivíduos superiores foram classificados com base no efeito genético aditivo predito (a). O indivíduo 33 destacou-se por apresentar efeito genético aditivo de 1.428,85 g planta⁻¹.

Considerando a seleção dos três melhores indivíduos (plantas 33-P207, 5-P64 e 105-P207), a produção média das progênies, inicialmente de 3.992,23 g planta⁻¹, aumentaria para 5.294,37 g planta⁻¹ (Tabela 6), representando um ganho de 32,6 % em relação à média do experimento. Este resultado é significativamente superior ao ganho de 12 % reportado por Silva (2023). Quanto à seleção dos melhores indivíduos, dois pertencem à progênie P207 e um à progênie P64.

Tabela 6 - Estimativas de componentes de média (BLUP Individual) com a seleção dos 3 melhores indivíduos para produção de frutos, em progênies de guaranazeiro, referente as safras de 2018, 2022 e 2023

Ordem	Progênie	Planta	Valor	Efeito	Valor	Ganho	Nova Média	Efeito de	Efeito
			fenotípico	genético	genético			dominância	genotípico
			individual (f)	aditivo (a)	aditivo ($\mu+a$)			predito (d)	predito (g)
1	207	33	14.594,3333	1.428,8508	5.421,0803	1.428,8508	5.421,0803	697,5019	2.126,3527
2	64	5	14.166,6667	1.298,8017	5.291,0312	1.363,8262	5.356,0558	671,5988	1.970,4004
3	207	105	14.441,5000	1.178,7879	5.171,0175	1.302,1468	5.294,3764	530,7933	1.709,5813
Média geral = 3.992,23									

5.6 Diversidade genética

A diversidade genética foi obtida a partir da matriz de dissimilaridade (Tabela 7), baseada no conjunto de 18 descritores morfoagronômicos. De acordo com a distância genética proposta por Gower (1971), as progênies mais similares foram P305 e P64 (0,1192), enquanto as menos similares foram M319 e P305 (0,3172), indicando maior divergência genética entre essas progênies.

De modo geral, os resultados indicaram que a progênie M319 apresentou os maiores valores de dissimilaridade em relação às demais progênies, evidenciando menor similaridade para os descritores avaliados. Esse comportamento foi confirmado na análise de agrupamento, uma vez que, no dendrograma, a progênie M319 não se agrupou com as demais. Essa maior divergência genética pode estar associada à sua origem distinta, uma vez que, entre as seis progênies avaliadas, cinco pertencem à segunda geração, oriundas de um mesmo experimento, enquanto a progênie M319 é de primeira geração, proveniente de matrizes de outro experimento, com relação genética mais distante.

Tabela 7 - Matriz de dissimilaridade genética entre seis progênies de meios-irmãos de guaranazeiro, estimada pelo coeficiente de Gower

Progênies	P64	P70	P207	P305	M319	P382
P64	0,0000	0,2379	0,1510	0,1192	0,2141	0,1603
P70	-	0,0000	0,1667	0,2298	0,3016	0,2443
P207	-	-	0,0000	0,1591	0,3095	0,1446
P305	-	-	-	0,0000	0,3172	0,1522
M319	-	-	-	-	0,0000	0,1684
P382	-	-	-	-	-	0,0000

O dendrograma formado pelo método hierárquico UPGMA (Figura 23) para os descritores qualitativos e quantitativos, obtido a partir da distância de Gower, apresentou correlação cofenética de 0,797, indicando boa concordância entre a matriz de dissimilaridade e a representação gráfica, sendo esta correlação significativa pelo teste de Mantel ($p = 0,006$). Pelo critério de corte de Mojena ($k = 1,25$), utilizando como ponto de corte o valor de 0,25; observou-se a formação de dois grupos.

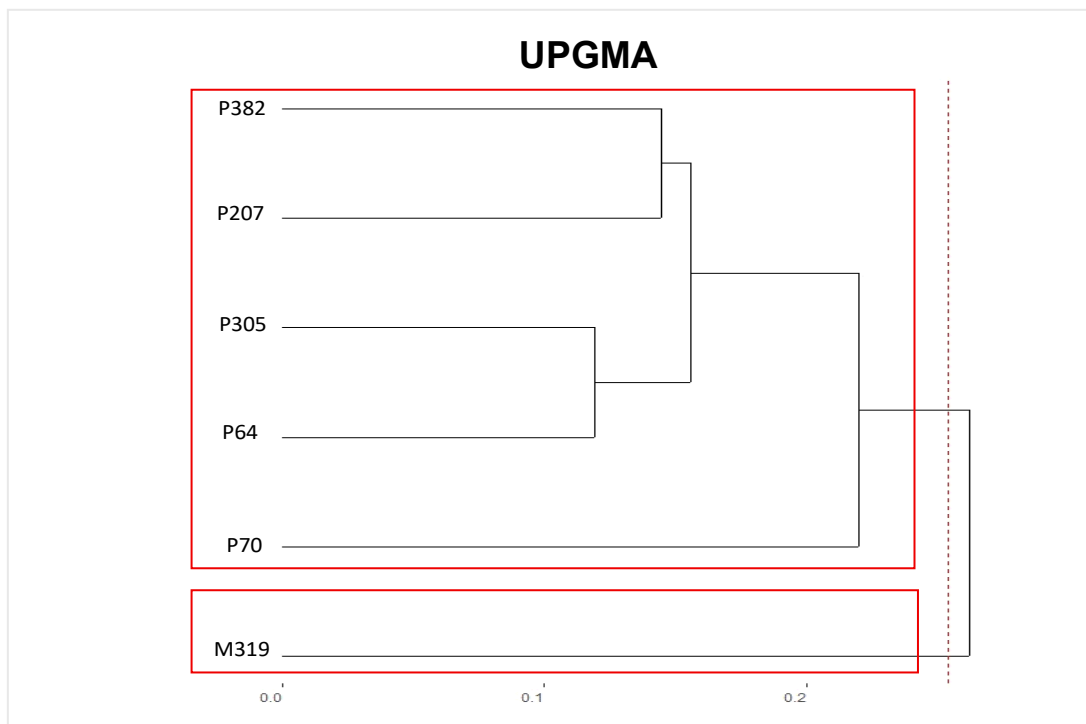


Figura 23 - Dendrograma de dissimilaridades genética entre 6 progênies de *Paullinia cupana* var. *sorbilis*, obtido pelo método hierárquico UPGMA, com base em 18 descritores morfoagronômicos, baseado na distância do Coeficiente de Gower.

Este resultado indica que a diversidade genética entre as seis progênies de meios-irmãos de guaranazeiro do presente estudo não é grande, pois um grupo foi formado com 5 progênies (P382, P207, P305, P64, P70) e o outro somente com a progênie M319 sugerindo que seja a mais distinta entre elas. Em estudos de Ozorio, Atroch e Nascimento Filho (2019), analisaram 18 cultivares de guaranazeiro com base na distância de Gower e no dendrograma UPGMA, identificando a formação de quatro grupos, sendo o método de Gower eficiente na discriminação dos grupos.

Nascimento Filho *et al.* (2001) e Atroch (2009) relataram que, embora o guaranazeiro apresente ampla variabilidade fenotípica, sua variabilidade genética é reduzida, em razão de sua domesticação recente como poliploide.

Essa limitação pode também estar associada ao curto intervalo de tempo desde a poliploidização, ainda insuficiente para permitir maior divergência entre alelos, o que é corroborado por estudos com marcadores RAPD, que evidenciam uma variabilidade genética restrita (Sousa, 2003). Além disso, trata-se de uma espécie com $2n = 210$ cromossomos, cuja origem é considerada complexa, envolvendo eventos de poliploidização e rearranjos numéricos (Freitas *et al.*, 2007). Essa complexidade

genômica, aliada à base genética estreita, é apontada como um dos fatores que explicam a resposta lenta da espécie aos processos de seleção.

Outro aspecto a ser considerado é o sistema reprodutivo da espécie. Por se tratar de uma espécie favorável a alogamia e pelo fato de as progênies avaliadas serem de meios-irmãos, ou seja, geneticamente aparentadas, há possibilidade de ocorrência de endogamia, o que pode resultar em baixos níveis de diversidade genética e maior homogeneidade entre os materiais avaliados (Borém; Miranda, 2009). Nascimento Filho et al. (2001), ao avaliarem 148 clones de guaranazeiro, constataram baixa diversidade genética, indicando reduzida divergência entre os genótipos.

Apesar disso, existe variabilidade genética suficiente nas populações para permitir a seleção de indivíduos superiores. Fajardo *et al.* (2019), ao avaliarem 36 progênies de guaranazeiro, verificaram a existência de diversidade genética suficiente para fins de seleção, evidenciando o potencial desses materiais para uso em programas de melhoramento genético. Essa constatação é reforçada por mais de 30 anos de estudos com a cultura, nos quais o guaranazeiro tem sido caracterizado e avaliado quanto à variabilidade morfométrica e à variabilidade genética molecular e quantitativa.

6 CONCLUSÃO

As estimativas dos componentes de variância da produção, maiores efeitos genéticos aditivos preditos e valores genéticos aditivos nas três safras demonstram que as progênies de guaranazeiro P207 e P64 se destacaram entre as seis progênies avaliadas;

As progênies P64 e P207 apresentam potencial para uso como variedades de polinização aberta e para a clonagem de indivíduos superiores utilizando os indivíduos 33, 5 e 105 e suas sementes para abrir progênies de terceira geração para avaliação.

A diversidade genética entre as seis progênies de meios-irmãos de guaranazeiro não é grande, resultando na formação de dois grupos.

REFERÊNCIAS

- ALBERTINO, S. M. F. *et al.* Enraizamento de estacas de cultivares de guaranazeiro com adubação de plantas matrizes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1449-1454, 2012.
- ALLARD, R.W. Princípios do melhoramento genético das plantas. São Paulo: **Edgard Blücher**, 1971.
- ALVAREZ, G. O. Satereria: tradição e política-Sateré-Mawé. **Valer Editora**, 2009.
- AMORIM, E.P. *et al.*, Correlações e análise de trilha em girassol. **Bragantia**, v. 67, p. 307-316, 2008.
- ÂNGELO, P. C. S. *et al.* Padrões de florescimento de clones de guaranazeiro. In: PEREIRA, J. C. R.; ARRUDA, M. R. (org.). **Pesquisa com guaranazeiro na Embrapa Amazônia Ocidental: status atual e perspectivas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2007.
- ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J. do. Melhoramento genético do guaranazeiro: seleção clonal no período de 1996 a 2010. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 59, 2024.
- ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J. Guaraná - *Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke. In: Exotic Fruits. **Academic Press**, p. 225-236. 2018.
- 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. *et al.* 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.
- ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J.; ATROCH, E. M. A. C. Diagnose precoce sobre produtividade do guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) por meio de caracteres de crescimento. **Boletim de pesquisa desenvolvimento. ISSN 1517-2457**. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Am. Dezembro. 2010.
- ATROCH, A. L. **Avaliação e seleção de progênies de meios-irmãos de guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) utilizando caracteres morfo-agronômicos**. 2009.
- ATROCH, A. L.; CRAVO, M. D. S. Enraizamento de estacas de clones de guaranazeiro tratados com ácido indol-3-butírico (AIB). 2007.
- ATROCH, A. L.; RESENDE, M. D. V.; NASCIMENTO FILHO, F. J. Seleção clonal em guaranazeiro via metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP). **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, p. 193-201, 2004.
- 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.

AZEVEDO, A. M.; AZEVEDO, M. A. M. Package 'MultivariateAnalysis'. **R package version 0.4**, v. 4, p. 2021.

BARTH, E. *et al.* Selection of experimental hybrids of strawberry using multivariate analysis. **Agronomy**, 10(4):598, 2020.

BENTES, J. L. S.; BARRETO, R. W. Taxonomic reevaluation of *Colletotrichum guaranicola* Albuq. causal agent of guarana anthracnose. 2004.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. Oficina de textos, 2021.

BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. Melhoramento de plantas. 5. ed.: Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2009.

BORÉM, A. 1997. **Melhoramento de Plantas**. VIÇOSA: UFV. 547P.

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.

CABRAL, P.D.S. *et al.* Investigação da diversidade genética de cultivares de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) usando marcadores moleculares. **Genetics and Molecular Research** , v. 17, n. 4, p. 1-11, 2018.

CERQUEIRA-SILVA, C. B. M. *et al.* Molecular genetic variability of commercial and wild accessions of passion fruit (*Passiflora* spp.) targeting ex situ conservation and breeding. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 15, n. 12, p. 22933-22959, 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Análise do mercado agropecuário e extrativista: histórico mensal guaraná, agosto, 2024.

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.

COSTA, L. F. B. da. Cultivadores de guaraná: um estudo do processo de monopolização do território pelo capital no município de Maués-AM. 2017.

CRUZ C.D, REGAZZI A.J.; CARNEIRO P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. **3º ed. Viçosa, UFV**. 2012

CRUZ, C. D. Programa GENES: Diversidade Genética. **Viçosa, MG: UFV**, 2008.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A.. Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética -2º ed. **Viçosa: UFV**, 2020.

CUI, Z. et al., Phenotypic diversity of modern Chinese and North American soybean cultivars. **Crop Science**, Madison, WI, n. 41, p. 1954-1967, 2001

DALLAKYAN, M. et al. Genetic diversity and traditional uses of aboriginal grape (*Vitis vinifera* L.) varieties from the main viticultural regions of Armenia. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 67, n. 4, p. 999-1024, 2020.

EMBRAPA. Brasil em 50 alimentos. Brasília, DF: **EMBRAPA**, 2023. p. 181-185.

ERTIRO, B.T et al. Genetic variability of maize stover quality and the potential for genetic improvement of fodder value. **Field Crops Research**, v.153, p.79-85, 2013.

FAJARDO, J. D. V. et al. Characterization and genetic diversity between guarana progenies. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 94, n. 2, p. 102-116, 2019.

Ferreira, C.B.B.; Lopes, M.T.G.; Lopes, R.; Cunha, R.N.V.; Moreira, D.A.; Barros, W.S.; Matiello, R.R. Diversidade genética molecular de progênies de dendezeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 2012.

FERRÃO, R.G. et al. Genética e melhoramento: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo. **Incaper em Revista** , v. 4, pág. 51-71, 2016.

FONSECA, A. F. A. Análises biométricas em café Conillon (*Coffea canephora* Pierre). 121 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – **Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, 1999.

FREITAS, D. V. et al. Karyotype with 210 chromosomes in guaraná (*Paullinia cupana Sorbilis*). **Journal of Plant Research**, v. 120, n. 3, p. 399-404, 2007.

GOWER J. C. **A general coefficient of similarity and some of its properties. Biometrics**, v.27, p.857-874, 1971.

HECKMAN, M. A.; WEIL, J. ; DE MEJIA, E. G.. Caffeine (1, 3, 7 trimethylxanthine) in foods: a comprehensive review on consumption, functionality, safety, and regulatory matters. **Journal of food science**, v. 75, n. 3, p. R77-R87, 2010.

HOMMA, A. K. O. Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação. 2014.

IBGE, **Produção Agrícola Municipal 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023

IKEGAYA, T.; SHIRASAWA, K.; FUJINO, K. Strategies to assess genetic diversity for crop breeding. **Euphytica**, v. 219, n. 6, p. 59, 2023.

IVOGLO, M. G. et al. Divergência genética entre progênies de café robusta. **Bragantia**, v. 67, p. 823-831, 2008.

JARVIS, D.I. Los caracteres agromorfológicos y la selección y el mantenimiento que da el agricultor. In: **Training Guide for in situ conservation on-farm**. Roma: IPGRI, 2000.

LORENZ, S. S. Sateré Mawé: os filhos do guaraná. São Paulo: **Centro de trabalho indigenista**, 1992.

MARQUES, L. L. M.; FERREIRA, E. D. F.; PAULA, M. N.; KLEIN, T.; MELLO, J. C. P. Paullinia cupana: uma planta multiuso – uma revisão. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 29, n. 1, p. 77–110. 2019.

MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, v. 20, n. 1, p. 359–363, 1977.

NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Recursos genéticos de guaraná. 2001.

NASCIMENTO FILHO, F. J. do. Seleção de clones de guaranazeiro para adaptabilidade e estabilidade no estado do Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, 2018.

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. 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.

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. do; ATROCH, A. L.; CRAVO, M. da S. Melhoramento genético do guaranazeiro: resultados de experimentos de avaliação de clones fase produtiva 1985 a 1994. Manaus: **Embrapa Amazônia Ocidental**, 2000.

NEGREIROS, J. R. da S.; SARAIVA, L. L.; OLIVEIRA, T. K. de; ÁLVARES, V. de S.; RONCATTO, G. Estimativas de repetibilidade de caracteres de produção em laranjeiras-doces no Acre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1763–1768, 2008.

NINA, N. V. dos S. et al. Phytochemistry divergence among guarana genotypes as a function of agro-industrial characters. **Crop science**, v. 61, n. 1, p. 443–455, 2021.

OLIVEIRA et al., Diversidade genética de populações de Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. (Arecaceae) no norte de estado de Minas Gerais. In: **simpósio nacional do cerrado, 9.; simpósio internacional savanas tropicais, 2., 2008. Brasília, DF. Anais...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

OZORIO, P. R. da S.; ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J. do. Agromorphological characterization and genetic diversity of *Paullinia cupana* var. *sorbilis*. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 94, n. 3, p. 166-178, 2019.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; FERNANDES, J. S. C.; RESENDE, M. D. V. Avaliação e seleção precoce para crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1719-1726, 2002.

PEREIRA, J. C. R. et al. **Avaliação da estabilidade fenotípica e da previsibilidade da resistência em clones de guaranazeiro a *Colletotrichum guaranicola***. 2005.

PERINI, L. J. et al. Diversidade genética entre acessos de soja tipo alimento com base no algoritmo de Gower. In: **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215. 2018.

PINTO, K. G. D. et al. Ácido indol-3-butírico melhora a qualidade do sistema radicular em estacas de guaraná. **HortScience horts**, v. 55 (10), 71p. 1670-1675, 2020.

POSIT TEAM. RStudio: Integrated Development Environment for R. Boston, MA: **Posit Software**, PBC, 2025.

RAO, A.V. et al. Genetic divergence among some brown planthopper resistant rice varieties. **Indian Journal of Genetic Plant Breeding**, v.41, p.179-185, 1981.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing** Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024.

RESENDE, M.D.V. **O Software SELEGEN-REML/BLUP**. Versão ano 2020.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, p. 330-339, 2016.

RESENDE, M. D. V. Software SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2007. 359 p.

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

ROCHA, M. C. et al. Uso do algoritmo de Gower na determinação da divergência genética entre acessos de tomateiro do grupo cereja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, p. 423-431, 2010.

SCHIMPL, F. C.; KIYOTA, E.; MAYER, J. L. S.; GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, J. F.; MAZZAFERA, P. Molecular and biochemical characterization of caffeine synthase and purine alkaloid concentration in guarana fruit. **Phytochemistry**, v. 105, p. 25-36, 2014.

SILVA, A. C. B. et al. A cadeia de valor do guaraná de Maués. Manaus: **IDESAM**, 2018.

SILVA, H. T. Descritores mínimos indicados para caracterizar cultivares/variedades de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Embrapa Arroz e Feijão-Documentos**, 2005.

SILVA, P. C. da. Teste de progênies na cultura do guaranazeiro *Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke no Estado do Amazonas. 2023.

SILVEIRA, R. D. D. Análise do transcriptoma de arroz de terras altas (*Oryza sativa* L.) cultivado sob condição de seca. 2014. 114 f. **Tese (Doutorado em Biologia) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas**, Goiás. 2014.

SOARES, D. O. P. et al. Period of weed interference in guarana crop. **Planta Daninha**, v. 37, p. e019192377, 2019.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, v. 11, n.2, p.33–40, 1962.

SUDRÉ, C. P. et al. Divergência genética entre acessos de pimenta e pimentão utilizando técnicas multivariadas. **Horticultura brasileira**, v. 23, p. 22-27, 2005.

SULTANA, T., GHAFOR, A. Botanical and molecular evidences of landraces from the germplasm exclusively collected from Baluchistan, a centre of diversity for *lens culinaris*. **African Journal of Biotechnology**, 8(20):5310-5315.2009.

TERAMOTO, J. R. S.; TEIXEIRA, J. V. Propriedade Intelectual e Proteção de Cultivares. **Série Tecnológica APTA. Manual Técnico DGE, Campinas**, 2008.

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.

WEIL, A. G.; WITKOSKI, A. C. A organização ancestral do trabalho na produção do guaraná em Maués/Amazonas. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, v. 45, n. 1, p. e69245-e69245, 2023.