

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

**DIVERGÊNCIA GENÉTICA, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE E GANHOS
DE SELEÇÃO PARA CARACTERES AGROINDUSTRIAIS DE GENÓTIPOS DE
GUARANAZEIRO**

NATASHA VERUSKA DOS SANTOS NINA

MANAUS-AM

2019

NATASHA VERUSKA DOS SANTOS NINA

**DIVERGÊNCIA GENÉTICA, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE E GANHOS
DE SELEÇÃO PARA CARACTERES AGROINDUSTRIAIS DE GENÓTIPOS DE
GUARANAZEIRO**

Tese de Doutorado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Agronomia Tropical da Universidade
Federal do Amazonas, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Doutora em Agronomia Tropical, área
de concentração Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Atroch

Co-orientadora: Prof. Dra. Flávia Camila Schimpl

MANAUS – AM

2019

Ficha Catalográfica

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

N714d Nina, Natasha Veruska dos Santos
Divergência genética, adaptabilidade e estabilidade e ganhos de seleção para caracteres agroindustriais de genótipos de guaranazeiro / Natasha Veruska dos Santos Nina. 2019
125 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: André Luiz atroch
Coorientadora: Flávia Camila Schimpl
Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Paullinia cupana (Guaraná). 2. Metabólitos secundários.. 3. Diversidade genética. 4. Índice de seleção. 5. Ganho de seleção. I. atroch, André Luiz II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

NATASHA VERUSKA DOS SANTOS NINA

DIVERGÊNCIA GENÉTICA, ADAPTABILIDADE E
ESTABILIDADE E GANHOS DE SELEÇÃO PARA
CARACTERES AGROINDUSTRIAIS DE GENÓTIPOS DE
GUARANAZEIRO

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

Aprovada em 21 de fevereiro de 2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. André Luiz Atroch, Presidente
Embrapa Amazônia Ocidental



Dr. Inocencio Junior de Oliveira, Membro
Embrapa Amazônia Ocidental



Dr. Ricardo Lopes, Membro
Embrapa Amazônia Ocidental



Profa. Dra. Sônia Maria Figueiredo Albertino, Membro
Universidade Federal do Amazonas



Dr. Everton Rabelo Cordeiro, Membro
Embrapa Amazônia Ocidental

*Aos meus pais **Luiz Guilherme e Marta**, meu esposo **Adamir Júnior**, meus sogros **Adamir e Maria Ney**, meus irmãos **Gelma, Guilherme Júnior, Domênico e Rebeca**, meus sobrinhos **Mirna, Mayra, Matheus, Rafael e Rayssa**,
E especialmente à minha filha muito amada **Luísa**.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Deus por estar presente em todos os momentos, por ter me carregado no colo por muitas vezes, ter se manifestado à mim em cada situação, e pelos sinais enviados através das coisas mais simples.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de Doutorado (2015/2019).

Ao Laboratório de Ciência de Plantas Daninhas-LCPD, da Universidade Federal do Amazonas-UFAM, na pessoa do Dr. José Ferreira da Silva.

Ao Laboratório de Purificação de Biomoléculas do Centro de Apoio Interdisciplinar – CAM na pessoa do Mestre Júlio Nino de Souza Neto.

Ao meu Orientador Dr. André Luiz Atroch por ter acreditado em mim e me dado todo o apoio para a realização desta Tese. E por ter me dado este projeto para ser realizado como presente para a minha realização pessoal, e por ser o orientador compreensivo, apoiador, extremamente competente, paciente e além de tudo ser uma pessoa de bom coração e humanidade.

Minha Co-orientadora Flávia Camila Schimpl, por acompanhar esta Tese com visão crítica e compartilhar todo seu conhecimento com seriedade, calma e responsabilidade.

Dr. Firmino por todo conhecimento partilhado por várias vezes sobre o guaraná.

Aos Pesquisadores da Embrapa Dr. Inocêncio Júnior de Oliveira e Dr. Everton Rabelo Cordeiro que contribuíram com esta Tese através das suas correções e observações.

À Professora Dra. Sônia Maria Figueiredo Albertino UFAM) por ter sido uma ótima professora para o PGATR e hoje uma coordenadora de curso preocupada com o crescimento do programa, e o desenvolvimento e amadurecimento científico dos alunos. E pela inspiração que foi para mim, eu agradeço!

À Professora Dra. Aline Ellen Duarte de Sousa (UFAM) por ter sido paciente em suas disciplinas quando estava com o pé imobilizado.

Aos meus pais Luiz Guilherme e Marta por terem me amado e apoiado em todas as minhas decisões. Ao meu pai pelas ligações diárias e por sempre tentar me animar nos momentos difíceis. À minha mãe por todas as orações, cuidados, conselhos e alegrias.

Ao meu esposo Dr. Adamir da Rocha Nina Júnior por termos dividido a vida com muito amor e companheirismo, e os nossos Doutorados simultâneos.

À minha filha Luísa por ter compreendido a mim e meu esposo por estarmos fazendo o Doutorado, e por vezes ter convivido com nossa ausência física, mas nunca emocional e afetiva.

Meus sogros por terem apoiado em todos os momentos do doutorado e à minha sogra por ter me ajudado a cuidar da minha filha Luísa principalmente durante o período de finalização da Tese.

Às pessoas que me apoiaram durante o período que fiquei com o pé imobilizado e impossibilitada de fazer as coletas das amostras em campo: Entre elas o Sr. Malcher (Embrapa) por ter colhido as últimas amostras do ano de 2016 e ter beneficiado o guaraná. E ao Orbélio (Embrapa) pelo apoio no campo.

Aos amigos de laboratório e Mestres Géssica Aline Nogueira dos Santos, Bruna Nogueira Leite, Half, Karla, Ajax, Monique, e Vilson, o Eng. Agrônomo Celso Scherer Filho e Eng^a. Agrônoma Milena Ribeiro Dantas. E aos amigos da Pós-Graduação e Mestres: Emanuel Silveira, André e Alexandre:

Os colegas da turma de doutorado de 2015: Dra. Alex-Sandra Farias de Almeida, Dr. Renato Epifânio de Sousa, Dra. Lais Alves da Gama e Dr. Fernando Gomes de Sousa, e futura Doutora: Ana Suzette da Silva Cavalcante Alves.

À Dra. Suelen Cristina de Sousa Lima, Dr. Francisco Martins de Castro, e Dra. Fabiana Rocha Pinto pela amizade nos momentos fáceis e difíceis. E à Dra. Catiele Vieira Borges por ter emprestado todos os seus livros.

Enfim, a todos que contribuíram, de forma direta ou indireta, para a realização desta Tese de doutorado, meus sinceros agradecimentos.

*“Tu, meu filho, tu serás a maior força da natureza.
Tu farás o bem a todos os homens.
Tu serás grande.
Tu livrarás os homens de uma moléstia e os curarás de outras”
(Onhiamuaçabê – A lenda do guaraná - Sateré-Mawé).*

RESUMO

O guaranazeiro é uma planta da Amazônia e possui grande potencial econômico por ter propriedades antioxidantes, energéticas e medicinais atribuídos às metilxantinas e aos polifenóis, sendo utilizados como alimentos funcionais, indústrias de cosméticos, de refrigerantes, alimentícia e de energéticos. O conhecimento do comportamento de genótipos de guaranazeiro em diferentes ambientes tem a finalidade de auxiliar o programa de melhoramento genético do guaranazeiro na busca de genótipos com maiores concentrações de metilxantinas e fenólicos, associado à produtividade. Este estudo teve como objetivo estimar as relações genéticas para selecionar genótipos de guaranazeiro com atributos desejáveis em relação aos caracteres agroindustriais em diferentes locais do Estado do Amazonas. As avaliações foram realizadas em oito genótipos e nove caracteres, em três locais e em dois anos. A teobromina, cafeína, teofilina, catequina e epicatequina foram quantificadas em extratos de sementes maduras de guaraná por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência-CLAE. Foi calculada a produtividade de sementes secas, e em função de cada metabólito. Foi avaliada variabilidade genética pela análise de variância e teste de médias de Tukey, dissimilaridade pela Distância Euclidiana Média, dendrograma pela Ligação Média entre Grupos (UPGMA) e correlação genética. Foi realizada a análise de variância, interação genótipo x ambiente, correlações fenotípicas, na análise REML/BLUP os componentes de média e variância, adaptabilidade e estabilidade, classificação de teores e tipologia do guaranazeiro, valores genéticos e índice de seleção de genótipos de Mulamba-Mock. Sementes maduras têm altos teores de catequina, epicatequina, cafeína, menores valores de teobromina. Plantas mais produtivas tiveram os maiores teores de cafeína e catequina. O metabolismo de cafeína parece ser mais estável que em outras espécies. No dendrograma houve a formação de dois grupos e seis sub-grupos. As metilxantinas e fenólicos podem ser utilizados como descritores para estudos de diversidade no guaranazeiro. Os genótipos foram separados em três grupos comerciais: “Guaraná energético e antioxidante” (CIR815, CIR904, CMA498), “Guaraná antioxidante” (BRS Maués, CMU874) e “Guaraná energético” (CMA831 e CMU952, BRS-CG372). A cafeína, catequina, epicatequina, produtividade de sementes e produtividades de cafeína, catequina e epicatequina são altamente influenciados pelo ambiente. O acúmulo de cafeína é maior em altas temperaturas e amplitude térmica, catequina e epicatequina variam de acordo com precipitação anual, teobromina tem baixíssima influência ambiental e alta influência genética. As produtividades de sementes secas, cafeína, catequina e epicatequina são parâmetros que podem ser utilizados para a seleção de genótipos de guaranazeiros. Os genótipos CIR815 e CIR904 são potenciais futuros cultivares comerciais de guaranazeiro. São propostos os cruzamentos com características interessantes para serem explorados no programa de melhoramento genético do guaranazeiro, como a variabilidade, na busca por maiores teores de metilxantinas e fenólicos. Cruzamentos propostos: CIR815 x BRS Maués, BRS Maués x CIR904, BRS-CG372 x CIR815, BRS-CG372 x CIR904, BRS Maués x BRS-CG372. Os genótipos com alta adaptabilidade e estabilidade e maiores ganhos foram a cultivar BRS Maués, CIR815, CIR904, e CMU874 sendo potenciais futuros cultivares.

Palavras-chaves: *Paullinia cupana*. Metabólitos secundários. Diversidade genética. Índice de seleção. Ganho de seleção.

ABSTRACT

Guarana is an Amazon plant that has great economic potential due their antioxidant, energy and medicinal properties attributed to methylxanthines and polyphenols, being used as functional foods, cosmetics, soft drinks, food and energy industries. The knowledge of the behavior of guaraná genotypes in different environments aim to assist the breeding programs in the search for genotypes with higher contents of methylxanthines and phenolics compounds, associated with productivity. This study aimed to estimate the genetic relationships to select guaraná genotypes with desirable attributes in relation to agroindustrial characters in three locations in the State of Amazonas. Nine characters were evaluated in 8 genotypes established in three different sites along two years. The theobromine, caffeine, theophylline, catechin and epicatechin contents were quantified in extracts of mature seeds of guarana by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Each metabolite yield was calculated in function of dry seeds mass. Genetic variability was assessed by analysis of variance and Tukey's mean test, the dissimilarity by Mean Euclidean Distance, the dendrogram by Mean Linkage between Groups (UPGMA) and genetic correlation. Were evaluated analysis of variance, genotype x environment interaction, phenotypic correlations, the REML / BLUP analysis, the mean and variance components, adaptability and stability, classification of guaraná contents and typology, genetic values and selection index of Mulamba- Rank. Mature seeds have high levels of catechin, epicatechin, caffeine, lower theobromine values. Caffeine metabolism appears to be more stable in guarana than in other species. More productive plants tend to have higher caffeine and catechin contents. In the dendrogram there were two groups and six subgroups. Methylxanthines and phenolics can be used as descriptors for diversity studies in guaraná. The genotypes were classified into three commercial groups: "energetic and antioxidant" (CIR815, CIR904, CMA498), "antioxidant" (BRS Maués, CMU874) and "energetic" (CMA831 and CMU952, BRS-CG372). The genotypes CIR815 and CIR904 are potential future commercial cultivars of guaraná. The crosses with interesting characteristics to be explored in the genetic improvement program of guaraná, such as variability, in the search for higher levels of methylxanthines and phenolics are proposed, such as: CIR815 x BRS Maués, BRS Maués x CIR904, BRS-CG372 x CIR815, BRS-CG372 x CIR904 and BRS Maués x BRS-CG372. The genotypes with high adaptability and stability and greater gains were the cultivar BRS Maués, CIR815, CIR904, and CMU874 that being potential commercial cultivars. The caffeine, catechin, epicatechin, seed productivity and caffeine, catechin and epicatechin productivities are highly influenced by the environment. The accumulation of caffeine is higher at high temperatures and thermal amplitude, catechin and epicatechin vary according to annual precipitation, theobromine has very low environmental influence and high genetic influence. The productivities of dried seeds, caffeine, catechin and epicatechin are parameters that can be used for the selection of guaranazeiros genotypes.

Keywords: *Paullinia cupana*. Secondary metabolites. Genetical diversity. Selection index. Selection gain.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I — DIVERGÊNCIA GENÉTICA ENTRE GENÓTIPOS DE GUARANAZEIRO EM FUNÇÃO DE CARACTERES AGROINDUSTRIAIS

Figura 1. Teste de Mantel, significativo a 1% de probabilidade e correlação cofenética – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.....	45
Figura 2. Dendrograma obtido pelo método da Distância Euclidiana Média, a partir da matriz de dissimilaridade entre oito genótipos e agrupamento pelo método da ligação média entre grupos (UPGMA) – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.	46
Figura 3. Tipologia do guaraná em função do teor de cafeína (CF %) e a relação cafeína/soma de catequinas (CF/(C+EC)) baseadas em oito genótipos de guaranazeiro – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.....	51

CAPÍTULO II — CARACTERES AGROINDUSTRIAIS: ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE GUARANAZEIRO

Figura 1. Temperatura máxima (°C), amplitude térmica (°C) precipitação anual (mm), por local e ano, e os caracteres cafeína CF (%), catequina C(%) e epicatequina em oito genótipos de guaranazeiro – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.....	82
---	----

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I — DIVERGÊNCIA GENÉTICA ENTRE GENÓTIPOS DE GUARANAZEIRO EM FUNÇÃO DE CARACTERES AGROINDUSTRIAIS

Tabela 1. Identificação dos oito genótipos de guaranazeiro do Banco Ativo de Germoplasma-BAG da Embrapa Amazônia Ocidental/AM – utilizados nos experimentos nos municípios de Rio Preto da Eva, Manaus e Maués, nos anos de 2015 e 2016.....33

Tabela 2. Análise de variância dos caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) em oito genótipos de guaranazeiro – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.37

Tabela 3. Médias dos caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) em oito genótipos de guaranazeiro, – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.....39

Tabela 4. Matriz de dissimilaridade entre oito genótipos de guaranazeiro para nove caracteres: Teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.....45

Tabela 5. Classificação em categorias dos valores dos caracteres: relação de cafeína e fenólicos ($CF/(C+EC)$), teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) em sementes secas de frutos maduros de guaranazeiro, baseadas em oito genótipos de guaranazeiro – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.49

CAPÍTULO II — CARACTERES AGROINDUSTRIAIS: INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBINETE, ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE GUARANAZEIRO

Tabela 1. Detalhamento das coordenadas geográficas e condições edafoclimáticas dos três campos experimentais da Embrapa Amazônia Ocidental (Locais), no Estado do Amazonas, para avaliação dos genótipos de guaranazeiro – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.....70

Tabela 2. Análise de variância para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) em oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos de avaliação – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.....77

Tabela 3. Interação Local x Ano para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (Sp), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), entre oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos (1) – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.....79

Tabela 4. Interação Genótipo X Ano para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) em oito genótipos de guaranazeiro, três locais e dois anos (1) – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.....83

Tabela 5. Interação Genótipo x local para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), entre oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos (1) – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.....86

Tabela 6. Correlação genética entre nove caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp)

avaliadas em oito genótipos de guaranazeiro, – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.....94

Tabela 7. Correlação fenotípica entre nove caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) avaliadas em oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.....95

Tabela 8. Estimativas dos componentes de média (BLUP individual) para seleção de genótipos para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.....97

Tabela 9. Estimativas dos componentes de média (BLUP individual) para seleção de genótipos por local dos caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, médias de dois anos de avaliação por local – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.....101

Tabela 10. Seleção de genótipos de guaranazeiro pelo método da Média Harmônica do Desempenho Relativo dos Valores Genéticos Preditos (MHPRVG), Valores Genotípicos da Média Harmônica dos Valores Genotípicos (MHVG), Desempenho Relativo dos Valores Genotípicos (PRVG) preditos para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.106

Tabela 11. Rank médio (Índice de Mulamba-Mock) referentes à nove variáveis fenotípicas: teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), com base na classificação dos 8 genótipos, em três locais e dois anos de avaliação – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.112

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	17
2. OBJETIVOS	22
2.1. Objetivo geral	22
2.2. Objetivos específicos	22
CAPÍTULO I — DIVERGÊNCIA GENÉTICA ENTRE GENÓTIPOS DE GUARANAZEIRO EM FUNÇÃO DE CARACTERES AGROINDUSTRIAIS	23
RESUMO	24
ABSTRACT	25
1 INTRODUÇÃO	26
2 MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1. Áreas dos experimentos	30
2.2. Genótipos de guaranazeiro	30
2.3. Produtividade de sementes secas	31
2.4. Preparação das amostras	32
2.5. Extração e quantificação de compostos do metabolismo secundário	32
2.6. Cálculo das produtividades de metabólitos secundários	33
2.7. Divergência genética	33
2.8. Classificação e tipologia de guaranazeiros em função dos caracteres agroindustriais	34
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.1. Análise de variância	35
3.2. Diversidade fitoquímica e genética	38
3.3. Divergência genética	41
3.4. Classificação e tipologia de guaranazeiros em função dos caracteres agroindustriais	45
3.5. Cruzamentos promissores	49
4 CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS	51
CAPÍTULO II — CARACTERES AGROINDUSTRIAIS: INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE, ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE GUARANAZEIRO	59
RESUMO	60
ABSTRACT	61
1 INTRODUÇÃO	62
2 MATERIAL E MÉTODOS	66
2.1 Áreas dos experimentos	66

2.2	Genótipos de guaranazeiro	67
2.3	Produtividade de sementes secas	67
2.4	Preparação das amostras	68
2.5	Extração e quantificação de compostos do metabolismo secundário	68
2.6	Cálculo das produtividades de metabólitos secundários	69
2.7	Análise de variância e Interações	69
2.8	Correlações genotípicas e fenotípicas.....	70
2.9	Adaptabilidade e estabilidade	70
2.10	Índice de seleção de genótipos	71
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
3.1	Análise de variância.....	72
3.2	Desdobramento das Interações	75
3.3	Correlações genotípica e fenotípica entre caracteres.....	90
3.4	Seleção de genótipos	93
3.5	Adaptabilidade e estabilidade	103
3.6	Índice de seleção.....	111
4	CONCLUSÃO.....	112
	REFERÊNCIAS	113
3.	CONCLUSÃO GERAL	120
	REFERÊNCIAS GERAIS.....	121

DIVERGÊNCIA GENÉTICA, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE, E GANHOS DE SELEÇÃO PARA CARACTERES AGROINDUSTRIAIS DE GENÓTIPOS DE GUARANAZEIRO

1. INTRODUÇÃO GERAL

O guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) é uma planta tropical nativa da Amazônia, adaptada ao clima quente e úmido, à baixa altitude. É uma trepadeira lenhosa pertencente à família Sapindaceae com vasta distribuição com cerca de 140 gêneros e 1.600 espécies (SOUZA E LORENZI, 2005; LUNGUINHO, 2007). No Brasil ocorrem 25 gêneros da família Sapindaceae e 411 espécies, sendo 187 endêmicas. O gênero *Paullinia* tem aproximadamente 200 espécies nas Américas Tropical e Subtropical (SOMMER, 2001). A espécie *Paullinia cupana* tem duas variedades botânicas; *Paullinia cupana* var. *typica* de ocorrência na Venezuela e Colômbia, não encontrada no Brasil, e *Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke, reclassificada por Kunth, em 1821 (FIGUEROA, 2016).

O guaraná foi domesticado e cultivado pela comunidade indígena “Sateré Mawé” na região de Maués, município do estado do Amazonas, em uma região antes chamada “Mundurucânia”, uma área delimitada pelo Rio Amazonas ao Norte, Rio Tapajós ao Leste, Rio Madeira à Oeste e Rio Jurema ao Sul (FIGUEROA, 2016; NASCIMENTO FILHO e ATROCH, 2009; PEREIRA, 1994).

O guaraná está no centro das explicações sobre a origem e organização social dos “Sateré Mawé” sendo o passado e o presente deste povo, autodenominados “filhos do guaraná”. Este foi o primeiro povo indígena brasileiro na história com um produto próprio, transformado e sistematicamente comercializado, em tempos coloniais e do Império sendo um produto puramente brasileiro (FIGUEROA, 2016).

Os Sateré Mawé a transformaram aquela que era trepadeira silvestre em arbusto cultivado introduzindo seu plantio e beneficiamento, e cultivaram o seu *Waraná*

extensivamente e incorporaram a planta em sua mitologia e cultura, sendo o marcador étnico por excelência do povo (FIGUEROA, 2016; ATROCH et al., 2009; PEREIRA, 1994; MONTEIRO, 1965).

O guaranazeiro é cultivado à pleno Sol nos plantios comerciais, e por alguns produtores em áreas já desmatadas conhecidas como área de capoeira. É economicamente explorado por grandes empresas, e por pequenos produtores da agricultura familiar. O município de Maués é o centro de cultivo da variedade *sorbilis*. E se tornou o centro de distribuição do guaraná, difundindo a produção e comercialização para outras regiões (FIGUEROA, 2016; SCHIMPL et al., 2013; ATROCH et al., 2009; LORENZ, 2000). DUCKE, 1937).

O Brasil é o único país produtor comercial de guaraná, atingindo 3.726 t/ano, com produção comercial nos Estados do Bahia, Amazonas, Mato Grosso, Rondônia, Pará e Acre. Os maiores produtores de guaraná são Taperoá (640 t/ano) e Ituberá (600 t/ano) na Bahia. (IBGE, 2017).

No Levantamento sistemático da produção Agrícola do IBGE (2017) a produção de guaraná foi maior na safra de 2009, com 4.604 t/ano, oscilou em 2010 e 2011, com queda discreta e gradativa até 2014. Em 2015 a produção voltou a crescer, alcançando 3.596 t/ano, em 2016 passou para 3.726 t/ano, com incremento de 3,61% na produção e aumento na área plantada de 2015 a 2016 em 35,71% (IBGE, 2017a).

O Estado do Amazonas é o segundo maior produtor e o município de Maués detém maior parte da área plantada do Estado (51,062%). Os municípios do Amazonas com maior produção são Maués (329 t/ano), Presidente Figueiredo (97 t/ano) e Urucará (50 t/ano) (IBGE, 2017). O preço pago aos produtores do Amazonas por quilograma de semente seca ou rama de guaraná, em janeiro de 2017, foi de R\$ 20,00, e na Bahia R\$11,67. O valor movimentado foi de mais de 13,6 milhões de reais, deste 6,7 milhões somente em Maués (CONAB, 2018; IBGE, 2017b). Isto demonstra a valorização na venda do guaraná do Amazonas principalmente o produzido em Maués, pois apesar de Maués ser o segundo maior produtor, tem o maior valor agregado para o guaraná.

O guaraná em rama é a principal forma de comercialização sendo, 90% da produção destinada ao mercado interno principalmente para as indústrias de refrigerantes e o restante são comercializados em pó, bastão e xaropes (MICHILES, 2010; SUFRAMA, 2003; ASHIHARA;

CROZIER, 2001). O guaraná foi introduzido no mercado dos suplementos alimentares (nutracêuticos, energéticos, ergogênicos, dietéticos) e cosméticos (FIGUEROA, 2016).

Segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e Bebidas Não Alcoólicas (ABIR), entre 2006 e 2010, o crescimento da produção de energéticos foi de 325% (ABIR, 2017). Este alto consumo de bebidas gaseificadas contendo extrato de guaraná, pode levar ao aumento de investimentos no mercado crescente mercado e o surgimento de novos produtos baseados em evidências dos benefícios à saúde humana causados pelas substâncias presentes, podendo levar à maior demanda por guaraná (SCHIMPL, 2013).

As sementes secas e o pó de guaraná têm alto teor de cafeína (2,3 a 6,8%), cerca de 2 a 5 vezes mais que as sementes de café (*Coffea arabica*) (SOUZA, 2010; ESCOBAR, COSTA e CORRÊA, 1985; LYRA, 1953; CABRAL, 1932) tendo mais cafeína que entre as plantas que acumulam metilxantinas como o chá (*Camellia sinensis*), mate (*Ilex paraguariensis*), e a cola (*Cola acuminata*) (SCHIMPL et al., 2014; SCHIMPL et al., 2013a; KOFINK et al., 2007; HENMAN, 1982; DUPUIS e RÉVEIL, 1874; LANGGAARD, 1865). E os teores de teobromina e teofilina encontrados no guaraná em menores proporções, abaixo de 0,3% (SCHIMPL et al., 2014).

As sementes de guaraná têm propriedades terapêuticas testadas em extrato de guaraná são atribuídos os efeitos energéticos (estimulantes, termogênico, redução da fadiga física e mental) e antioxidantes (redução da mortalidade celular, protetor contra a dano no DNA, antiproliferativo de células cancerígenas, aumento da sensibilidade à medicamentos para tratamento do câncer colorretal, regulação do gene p53 e de outros supressores tumorais quando há mutações somáticas), e ainda têm efeito antiinflamatório, redução do processo inflamatório no dano hepático, de proteção contra a toxicidade induzida por Mercúrio, alterações no metabolismo lipídico com redução do colesterol total e LDL (controla a transcrição dos genes), prevenção “in vitro” da formação de placas dentárias e promoção da remineralização de esmalte dentário (SALOMÃO-OLIVEIRA et al., 2018; RUCHEL et al., 2017; ARANTES et al., 2016; CADONÁ et al., 2016; RUCHEL et al., 2016; BITTENCOURT et al., 2013; CAMPOS et al., 2011; YAMAGUTI-SASAKI et al., 2007; MAJHENIČ et al., 2007; FUKUMASU et al., 2006; CAMPOS et al., 2005; LIMA et al., 2005).

As propriedades terapêuticas do guaraná são atribuídas às metilxantinas e aos polifenóis. Os efeitos atribuídos à cafeína são efeitos energéticos, neuroprotetor, estimulante, protetor neurocognitivos, termogênico, psicoativos, redução do risco de desenvolver o mal de

Alzheimer, antidepressivos, vasoconstritor, hipolipídico, cardioprotetor e afrodisíaco (MOUSTAKAS et al., 2015; OLIVEIRA CAMPOS et al., 2011; SCHOLEY E HASKELL, 2008; ARENDASH et al., 2006). A teobromina e a teofilina têm efeito estimulante, broncodilatador, relaxante muscular, diurético, protetor ao envelhecimento precoce, anti-inflamatórios, vasodilatadores (AMAECHI et al., 2014; DREYSE et al., 2005).

Os efeitos atribuídos ao fenólicos são principalmente antioxidantes e atribuídos principalmente às catequinas do guaraná (catequina e epicatequina) que são consideradas biodisponíveis. Estes efeitos antioxidantes são anticancerígenos, como controle do processo de metástase, nos efeitos anticancerígenos, redução da proliferação de células tumorais e aumento da morte de células cancerígenas por apoptose, controle do melanoma, atividade antienvhecimento, prevenção de trombose, atividade antimicrobiana, controle de doença cardiovascular e dos níveis de colesterol total e o LDL (colesterol ruim), e controlar a transcrição dos genes para redução do dano hepático (YONEKURA et al., 2016; ASOLINI et al., 2006).

Diversos estudos de diversidade em função dos teores de metilxantinas, de catequina e de epicatequina foram feitos com chá mate, café e cacau (FRIEDRICH et al., 2017; CARRILLO; LONDOÑO-LONDOÑO; GIL, 2014; NAKAMURA et al., 2009; IVOGLO et al., 2008; CAMPA et al., 2005; MAGOMA et al., 2000; NAGATA; SAKAI, 1985). Mas são inexistentes estudos de diversidade genética em função de caracteres agroindustriais, de metabólitos e produtividade de sementes do guaraná. A maioria dos estudos de diversidade do guaranazeiro vêm sendo realizados em função da produtividade, em caracteres morfológicos e em características agrônômicas (NASCIMENTO FILHO et al., 2001; NASCIMENTO FILHO; CRUZ; GARCIA, 1992).

Escobar, Costa e Corrêa (1985) ao avaliarem progênies de guaraná de polinização aberta relataram a importância de se conhecer a influência ambiental na expressão do caráter teor de cafeína na semente. É interessante avaliar a interação de genótipos de guaranazeiro em diferentes ambientes para estudos do comportamento dos metabólitos secundários e seus acúmulos, em função do clima, como a adaptabilidade e estabilidade.

Estudos de produtividade de genótipos de guaranazeiro foram realizados, assim como a interação genótipo ambiente, adaptabilidade estabilidade (ALBERTINO et al., 2012; NASCIMENTO FILHO et al., 2001; NASCIMENTO FILHO; CRUZ; GARCIA, 1992).

Estudos de vários métodos para estimar a adaptabilidade e estabilidade e interação genótipo x ambiente em guaranazeiros vêm sendo realizados em função da produtividade (PINTO et al., 2018; ATROCH; NASCIMENTO FILHO; RESENDE, 2013; NASCIMENTO FILHO et al., 2011; ATROCH et al., 2010; NASCIMENTO FILHO; ATROCH; CRUZ, 2009; NASCIMENTO FILHO et al., 2005; VALOIS; CORRÊA; VASCONCELOS, 1979). Mas são inexistentes as pesquisas realizadas em função dos metabólitos de sementes do guaraná voltadas para a seleção de genótipos para o melhoramento genético do guaraná.

Entre os objetivos do melhoramento genético do guaranazeiro, estão a seleção de cultivares com produtividade acima de 1,5 kg de sementes secas por planta/ano e alto teor de cafeína, dentre outros metabólitos nas sementes. Para isso, é interessante a quantificação das metilxantinas e fenólicos em sementes de guaranazeiro, bem como o estudo da diversidade genética para conhecer os genótipos mais divergentes, e com características interessantes, como maiores teores de cafeína (características energéticas), catequina e epicatequina (características antioxidantes), a maior produtividade de sementes, produtividade agroindustrial e consequentemente mais competitivas ao mercado.

O conhecimento do comportamento de genótipos de guaranazeiro em diferentes ambientes tem a finalidade de auxiliar o programa de melhoramento genético na busca de materiais com maiores concentrações de metilxantinas e compostos fenólicos, associados à produtividade, na utilização futura como matéria prima de qualidade para a indústria de refrigerantes, energéticos, medicamentos e fitoquímicos.

Existe necessidade de avaliação da diversidade genética em função de caracteres agroindustriais e produtividade, para auxiliar o programa de melhoramento genético do guaranazeiro na busca de genótipos com maiores concentrações dessas substâncias, para utilização futura como cruzamentos entre genótipos visando aumento das produtividades agrônômicas e industriais, simultaneamente.

2. OBJETIVOS

2.1.Objetivo geral

Estimar as relações genéticas para selecionar genótipos de guaranazeiro com atributos desejáveis em relação a caracteres agronômicos e industriais em três locais do Estado do Amazonas.

2.2.Objetivos específicos

- Quantificar teobromina, cafeína, teofilina, catequina e epicatequina em oito genótipos de guaranazeiro.
- Estimar a produtividade em sementes secas e teores de teobromina, cafeína, teofilina, catequina e epicatequina em oito genótipos de guaranazeiro.
- Estimar a diversidade e divergência genética dos genótipos de guaranazeiro em relação aos caracteres agroindustriais.
- Fazer as correlações genéticas e fenotípicas entre os caracteres avaliados.
- Estimar componentes dos componentes de variância de caracteres agroindustriais de oito genótipos de guaranazeiro em três locais, em dois anos.
- Estimar a adaptabilidade e a estabilidade em função de caracteres agroindustriais de oito genótipos de guaranazeiro em três locais, em dois anos.
- Selecionar os genótipos potenciais de maiores produtividades agronômicas e industriais, simultaneamente, para futuros cruzamentos.
- Avaliar a interação genótipo x ambiente e suas influências nos caracteres agroindustriais de guaranazeiros.
- Realizar classificação e tipologia para genótipos de guaranazeiros em função de nove caracteres agroindustriais.

**CAPÍTULO I — DIVERGÊNCIA GENÉTICA ENTRE GENÓTIPOS DE
GUARANAZEIRO EM FUNÇÃO DE CARACTERES AGROINDUSTRIAIS**

RESUMO

O guaranazeiro é uma planta da Amazônia e tem propriedades antioxidantes, energéticas e medicinais, sendo utilizado como alimentos funcionais, nas indústrias de cosméticos, de refrigerantes, alimentícia e de energéticos. O interesse industrial se deve às metilxantinas e catequinas que são responsáveis pelos principais benefícios do guaraná. O objetivo deste estudo foi estimar a diversidade genética entre genótipos de guaranazeiro baseados em caracteres agroindustriais, propondo possíveis cruzamentos entre eles. Avaliações de nove caracteres foram realizadas em oito genótipos de guaranazeiro, oriundos de três locais, nos anos 2015 e 2016. A teobromina, cafeína, teofilina, catequina e epicatequina foram quantificadas em extratos de sementes maduras por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência-CLAE. Foi avaliada variabilidade genética pela análise de variância e teste de médias de Tukey, dissimilaridade pela Distância Euclidiana Média, dendrograma pela Ligação Média entre Grupos (UPGMA). Sementes maduras têm altos teores de catequina, epicatequina, cafeína e menores valores de teobromina. As metilxantinas e os fenólicos podem ser utilizados como descritores para estudos de diversidade no guaranazeiro. A teofilina não foi detectada e em 39,88% das amostras de todos os genótipos não foi encontrada teobromina. O metabolismo de cafeína no guaranazeiro, parece ser mais estável que em outras espécies. Plantas mais produtivas tendem a ter maiores teores de cafeína e catequina em suas sementes. No dendrograma houve a formação de dois grupos e seis sub-grupos. Os genótipos foram separados em três grupos comerciais: “Guaraná energético e antioxidante” (CIR815, CIR904, CMA498), “Guaraná antioxidante” (BRS Maués, CMU874) e “Guaraná energético” (CMA831, CMU952, BRS-CG372). Os genótipos CIR815 e CIR904 possuem potencial como futuros cultivares comerciais de guaranazeiro. Cruzamentos com características interessantes para serem explorados no programa de melhoramento genético do guaranazeiro, como a variabilidade, na busca por maiores teores de Metilxantinas e fenólicos, foram propostos. Os cruzamentos promissores foram: CIR815 x BRS Maués, BRS Maués x CIR904, BRS-CG372 x CIR815, BRS-CG372 x CIR904 e BRS Maués x BRS-CG372.

Palavras-chave: *Paullinia cupana*. Diversidade genética. Metabólitos secundários. Polifenóis.

GENETIC DIVERGENCE AMONG GUARANA GENOTYPES AS A FUNCTION OF AGROINDUSTRIAL CHARACTERS

ABSTRACT

Guarana is amazonian plant and has antioxidant, energy and medicinal properties, being used as functional food, cosmetic, soft drink, and with food and energy industries applicability. The industrial interest is due to the methylxanthines and catechins that are responsible for the main benefits of guarana. The objective of this study was to estimate the genetic diversity among guarana genotypes based on agroindustrial characters, proposing possible crosses of the genotypes. The evaluations were carried out in eight genotypes and nine characters, in three sites and in the years 2015/2016. The theobromine, caffeine, theophylline, catechin and epicatechin contents were quantified in mature seed extracts by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Genetic variability was assessed by analysis of variance and Tukey's mean test, the dissimilarity by Mean Euclidean Distance, the dendrogram by Unweighted Pair Group Method Using Arithmetical Averages (UPGMA) and genetic correlation. Mature seeds have high contents of catechin, epicatechin, caffeine. Methylxanthines and phenolics compounds can be used as descriptors for diversity studies in guarana. The theophylline was not detected in the samples and in 39.88% of the samples of all genotypes no theobromine was found. Caffeine metabolism in guarana appears to be more stable than in other species. More productive plants tend to have higher caffeine and catechin contents. In the dendrogram there were two groups and six subgroups. The genotypes were classified into three commercial groups: "energetic and antioxidant Guarana" (CIR815, CIR904, CMA498)," antioxidant Guarana" (BRS Maués, CMU874) and "energetic Guarana"(CMA831 and CMU952, BRS-CG372). The CIR815 and CIR904 genotypes are potential future commercial cultivars of guarana. The crosses with interesting characteristics to be explored in the genetic improvement program of guarana, such as variability, in the search for higher levels of methylxanthines and phenolics are proposed, such as: CIR815 x BRS Maués, BRS Maués x CIR904, BRS-CG372 x CIR815, BRS-CG372 x CIR904 and BRS Maués x BRS-CG372.

Index terms: *Paullinia cupana*. Genetic diversity. Secondary metabolites. Polyphenols.

1 INTRODUÇÃO

O guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke - Sapindaceae) é uma trepadeira lenhosa nativa da Amazônia, sendo o pó das sementes economicamente explorado. As plantas de guaraná são adaptadas à baixa altitude e ao clima quente e úmido típico da região Amazônica. Acredita-se que o centro de origem filogenética seja no Baixo Amazonas e Amazônia Central, e que existe ocorrência subespontânea na região de Maués, no Estado do Amazonas, na região entre os rios Tapajós e baixo Madeira e na Amazônia Central Brasileira. A ocorrência no alto rio Negro e no alto rio Orinoco, pode ter sido devido à dispersão pelos índios da Amazônia Central. O guaraná foi domesticado e cultivado pela comunidade indígena *Sateré-Mawé* e está ligado à origem e à identidade deste povo (FIGUEROA, 2016; SCHIMPL et al., 2013; ATROCH et al., 2009; DUCKE, 1937).

O guaraná está entre as muitas espécies amazônicas com potencial econômico. A maior parte da produção é destinada ao mercado interno, com 90% comercializado na forma de rama, sendo 71,4% para a indústria de refrigerantes e o restante, comercializado na forma de pó, bastão e xaropes. O guaraná foi introduzido no mercado dos suplementos alimentares (nutracêuticos, energéticos, ergogênicos, dietéticos, bebidas não alcoólicas) e cosméticos (FIGUEROA, 2016; MICHILES, 2010; SUFRAMA, 2003; ASHIHARA; CROZIER, 2001).

O Brasil é o único produtor comercial de guaraná com 3.726 t/ano com produção comercial nos Estados do Acre, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Bahia, sendo o segundo maior produtor Amazonas, e o município de maués o maior produtor do Estado com 51,062% da área plantada. A produção de guaraná teve seu maior valor na safra de 2009 com 4.604 t/ano, com oscilação da produção em 2010 e 2011, e uma queda discreta e gradativa até 2014, e em 2015 a produção voltou a crescer para 3.596 t/ano e a safra de 2016 foi de 3.726 t/ano, incremento de 3,61%, e aumento da área plantada de 35,71% de 2015 a 2016 (IBGE, 2017a).

O preço pago aos produtores no Amazonas em janeiro de 2017 foi de R\$ 20,00 o quilograma e na Bahia R\$11,67. O valor movimento do foi de mais de 13,6 milhões de reais, sendo só em Maués 6,7 milhões. Isso demonstra a valorização na venda do guaraná do Amazonas, e de Maués. Apesar do Amazonas ser o segundo maior produtor mundial de

guaraná, e Maués tem maior valor agregado, pois é o primeiro em valor de produção. Tudo isso fez do guaraná um produto puramente brasileiro (CONAB, 2018; IBGE, 2017b).

O guaraná tem sido estimado por suas propriedades energéticas e estimulantes (SCHIMPL, 2013; SMITH E ATROCH, 2010; KOFFK et al., 2007; HENMAN, 1982, 1986). O guaraná tem em suas sementes os maiores teores de cafeína entre as plantas que acumulam metilxantinas, com teores entre 2,3 a 6,2%, TB e TF são encontrados em menores proporções (abaixo de 0,3%) ainda assim são valores elevados quando comparados com outras espécies (SPOLADORE; BOAVENTURA; SÁES, 1987; ESCOBAR; COSTA; CORRÊA, 1985; SCHIMPL et al., 2014).

As metilxantinas teobromina (3,7-dimetilxantina), cafeína (1,3,7-trimetilxantina) e teofilina (1,3-dimetilxantina) (ASHIHARA et al., 2017) são alcalóides de purina, e suas estruturas baseiam-se nos esqueletos da (4) xantina. As principais ordens de plantas angiospermas que acumulam alcaloides de xantina são Ericales (chá - *Camellia sinensis*), Gentianales (café - *Coffea arabica*), Aquifoliales (mate - *Ilex paraguariensis*), Malvales (cacau - *Theobroma cacao* e Cola - *Cola acuminata*) e sapindales (guaraná - *Paullinia cupana* e *Citrus*) (ASHIHARA et al., 2017). A cafeína se acumula nas partes aéreas do cafeeiro, folhas de chá e mate, em flores de *Citrus* spp., quase exclusivamente no androceu e nas sementes de cola e de guaraná (PICHERSKY; LEWINSOHN, 2011).

Os compostos bioquímicos também importantes no guaraná são (+)- Catequina (2R,3S-3,5,7,3',4'-pentahydroxyflavan) e (-)- Epicatequina (2R,3R-3,5,7,3',4'-pentahydroxyflavan) (HOLLMAN; ARTS, 2000). Suas estruturas são formadas pela polimerização de flavan-3-ol monoméricos. Algumas fontes são fontes conhecidas como a pera, maçã, hortelã, ameixa preta, cereja, uva-passa, vinho tinto e branco, folhas de chá verde (SANTANA; MACEDO, 2018; GULATI et al., 2009; BALASUNDRAM; SUNDRAM; SAMMAN, 2006; HOLLMAN; ARTS, 2000; KING; YOUNG, 1999) mas o guaraná é fonte de metilxantinas e catequinas.

Dentre as propriedades curativas do guaraná estão os efeitos estimulantes, energéticos, antioxidante e neuroprotetor, possuindo ação antiinflamatória e microbiana, atuar como antiproliferativo celular de células cancerígenas, diminuir a mortalidade celular, o dano ao DNA, o LDL (colesterol ruim), o colesterol total, controlar a transcrição dos genes para redução do dano hepático, e distúrbios cognitivos, proteção contra a toxicidade induzida por mercúrio. Estas propriedades terapêuticas, atribuídas às metilxantinas e aos polifenóis, (SALOMÃO-

OLIVEIRA et al., 2018; RUCHEL et al., 2017, 2016; ARANTES et al., 2016; CADONÁ; MACHADO; AZZOLIN, 2016; BITTENCOURT et al., 2013; SCHIMPL et al., 2013; SCHOLEY; HASKELL, 2008; MAJHENIČ; ŠKERGET; KNEZ, 2007; SMITH; ATROCH, 2007).

Os efeitos atribuídos aos fenólicos catequina e epicatequina são antioxidante, antimicrobiana e antiinflamatória, diminuindo a mortalidade celular, o dano ao DNA, redução de proliferação de células cancerígenas, controla a transcrição dos genes para redução do dano hepático, e distúrbios cognitivos, proteção contra a toxicidade induzida por mercúrio, entre outras (PEIXOTO et al., 2017; RUCHEL et al., 2017, 2016; ARANTES et al., 2016; CADONÁ; MACHADO; AZZOLIN, 2016; BITTENCOURT et al., 2013; SCHIMPL et al., 2013; SCHOLEY; HASKELL, 2008; MAJHENIČ; ŠKERGET; KNEZ, 2007; SMITH; ATROCH, 2007).

Os vários estudos apontam as mais variadas utilizações do extrato de sementes de guaraná e das metilxantinas em medicamentos para utilização futura. Como a utilização em terapia coadjuvante no tratamento de hiperlipidemia e distúrbios cognitivos devido o guaraná em pó ser uma fonte de fitoquímicos promissores como as à presença de metilxantinas (RUCHEL et al., 2017; RUCHEL et al., 2016) e como aditivo natural em indústrias de alimentos, cosméticos e farmacêuticos, devido à atividade antioxidante (MAJHENIČ et al., 2007).

Em estudos de diversidade em função dos teores de metilxantinas no chá mate café e cacau e diversidade em função dos teores de catequina e epicatequina no chá, mate, café e cacau (FRIEDRICH et al., 2017; CARRILLO; LONDOÑO-LONDOÑO; GIL, 2014; NAKAMURA et al., 2009; IVOGLO et al., 2008; CAMPA et al., 2005; MAGOMA et al., 2000; NAGATA; SAKAI, 1985). Mas são inexistentes as pesquisas realizadas em função dos metabólitos em sementes do guaraná voltadas para estudos de diversidade em genótipos para o melhoramento genético.

Estudos de divergência genética foram realizados em cafeeiros, cana-de-açúcar, trigo, feijão, manga, pinhão manso, soja e pimentas em função de caracteres de qualidade, agroindustriais, produtividade e rendimento, (REIS et al., 2015; SANGHERA et al., 2015; VAL et al., 2014; GUEDES et al., 2013; FARIA et al., 2012; SILVA et al., 2012; IVOGLO et al., 2008; SILVA et al., 2011; COELHO et al., 2007; ELIAS et al., 2007; BERTAN et al., 2006).

Para estudos de diversidade genética, as medidas de dissimilaridade são muito importantes. O método de dissimilaridade pela Distância Euclidiana Média foi proposto para caracteres quantitativos, sendo sensível à correlação, e útil, mesmo quando os caracteres não são correlacionados. Entre as técnicas de agrupamento o *Unweighted Pair Group Method Using Arithmetical Averages*–UPGMA, utiliza médias aritméticas (não ponderadas) das medidas de dissimilaridade para a construção do dendrograma, baseada em uma matriz simétrica de dissimilaridade, sendo considerado um método hierárquico, baseado nas ramificações obtidas, ou seja, os grupos formados (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011).

No guaranazeiro, estudos de diversidade vêm sendo realizados em função da produtividade, em caracteres morfológicos e em características agronômicas (NASCIMENTO FILHO et al., 2001; NASCIMENTO FILHO; CRUZ; GARCIA, 1992). Mas, são inexistentes estudos de diversidade genética do guaranazeiro em função de caracteres agroindustriais. Para Marques et al. (2018), o desenvolvimento de novas cultivares de guaranazeiro, entre outros fatores, vai incrementar gradativamente o cultivo dessa espécie, as demandas de exportação e a indústria nacional.

Entre os objetivos do programa de melhoramento genético do guaranazeiro estão a seleção de cultivares com produtividade acima de 1,5 kg de sementes secas por planta/ano e alto teor de cafeína e outros metabólitos nas sementes. Para isso, é interessante a quantificação das metilxantinas (teobromina, cafeína e teofilina) e fenólicos (catequina e epicatequina) em sementes de genótipos de guaraná, e o estudo da diversidade genética para conhecer os genótipos mais divergentes, e com características interessantes como maiores teores de cafeína (características energéticas), catequina e epicatequina (características antioxidantes), a maior produtividade de sementes, produtividade agroindustrial e consequentemente mais competitivas ao mercado.

Existe necessidade de avaliação da diversidade genética em função de caracteres agroindustriais e produtividade, para auxiliar o programa de melhoramento genético do guaranazeiro na busca de genótipos com maiores concentrações dessas substâncias, para a utilização futura como matéria prima de qualidade para a indústria de refrigerantes, energéticos, medicamentos e fitoquímicos, visto que o guaraná é uma fonte promissora. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a diversidade genética entre genótipos de guaranazeiro baseados em caracteres agroindustriais, propondo possíveis cruzamentos dos genótipos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Áreas dos experimentos

Com a finalidade de minimizar as influências ambientais nos estudos de diversidade dos genótipos de guaraná, foram coletadas amostras em safras de dois anos consecutivos, em plantas de três campos experimentais da Embrapa Amazônia Ocidental, com localização diferente, sendo: 1 - no município de Rio Preto da Eva, no Distrito Agropecuário Suframa (DAS) localizado no km 54 da Rodovia BR-174 (02°25'54" S latitude e 59°33'49" W longitude), 2 - em Manaus, localizado no km 29 da Rodovia AM010 (02°53'25" S latitude e 59°38'06" W longitude), e 3 - em Maués, localizado na Estrada dos Moraes, 3060 (03°23'56" S latitude e 53°40'24" W longitude). O solo em todos os três locais do cultivo, é classificado como Latossolo Amarelo, profundos, com teores elevados de alumínio trocável, textura argilosa a muito argilosa, ácidos, com pH variando de 3,5 a 4,7, e com baixos teores de cálcio, potássio e fósforo, além de alta saturação de alumínio. Os plantios foram realizados em 2007, no início da estação chuvosa, de dezembro a março, em espaçamento de 5m x 5m e foram conduzidos com as adubações e os tratos culturais usuais para a cultura, de acordo com as recomendações do Sistema de Produção de Guaraná desenvolvido pela Embrapa (TAVARES et al., 2005).

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com oito (8) tratamentos (genótipos), em quatro (4) repetições, de uma (1) planta por parcela, em (3) locais e (2) anos (2015 e 2016), configurando vinte e quatro (24) plantas avaliadas por genótipo, sem considerar efeito ambiental para se ter um padrão de cada genótipo.

2.2. Genótipos de guaranazeiro

Os genótipos mais produtivos do experimento ME - 2007 foram avaliados (Tabela 1). Todos fazem parte do Banco Ativo de Germoplasma-BAG da Embrapa, e do experimento ME

2007 (BRS-CG372, BRS Maués, CMA498, CIR815, CMA831, CMU874, CIR904 e CMU952).

Os genótipos BRS Maués e CMU874 são meio-irmãos. BRS Maués e BRS-CG372 foram lançados como cultivares em 1999 e 2000, respectivamente, e recomendados para o Estado do Amazonas. O BRS Maués é tolerante a antracnose e ao superbrotamento. O BRS-CG372 é tolerante a antracnose e os outros genótipos ainda estão em fase de estudo (NASCIMENTO FILHO et al., 2000, 1999).

Tabela 1. Identificação dos oito genótipos de guaranazeiro do Banco Ativo de Germoplasma-BAG da Embrapa Amazônia Ocidental/AM – utilizados nos experimentos nos municípios de Rio Preto da Eva, Manaus e Maués, nos anos de 2015 e 2016.

Identificação dos genótipos	Procedência	Origem	Ano de introdução no BAG
BRS-CG372	Embrapa	Manaus	1983
BRS Maués	Samasa	Maués	1986
CIR815	Embrapa	Irاندوبا	1986
CIR904	Embrapa	Irاندوبا	1986
CMA498	Embrapa	Manaus	1986
CMA831	Embrapa	Manaus	1986
CMU874	Samasa	Maués	1986
CMU952	Embrapa	Maués	1986

2.3. Produtividade de sementes secas

A produtividade de sementes secas (PROD) foi calculada com base na quantidade de sementes secas, em gramas (g), obtida através da biomassa fresca dos frutos maduros (incluindo a ráquis, o pericarpo e as sementes com arilo), pela conversão de 6:1 para biomassa de sementes secas (SMYTH; CRAVO, 1989). Foram consideradas as produtividades individuais de cada planta/genótipo/local/ano/repetição, os resultados expressos em g.planta⁻¹.

2.4. Preparação das amostras

Foram colhidos frutos maduros com coloração amarela ou avermelhada, de acordo com as características de cada genótipo e com abertura da cápsula. As sementes foram retiradas dos frutos e separadas do arilo, e realizada a limpeza em água corrente, e selecionadas as de coloração marrom escuro a preto. Foram descartadas as sementes imaturas, abortadas ou de maturação incompleta e com injúrias como quebras, podridão, ataques de pragas e rompimento do envoltório seminal (casquilho).

As amostras das sementes foram acondicionadas separadamente em sacos de papel *kraft*, devidamente identificados, de cada planta e secas em estufa do modelo ETC 45, marca Nova ética e temperatura de 45°C, com circulação forçada de ar até peso constante, no laboratório de solos da Embrapa. As amostras foram trituradas separadamente em moedor de café até a formação de um pó fino e, armazenadas no Laboratório Ciências e Plantas Daninhas – LCPD da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA-UFAM).

2.5. Extração e quantificação de compostos do metabolismo secundário

Para extração e quantificação de compostos do metabolismo secundário (cafeína, teobromina, teofilina, catequina e epicatequina), a metodologia utilizada foi adaptada de Schimpl et al. (2014) e Machado et al. (2018). Cerca de 100 mg de amostras de sementes secas de cada unidade amostral foram trituradas, peneiradas e homogeneizadas com 5 mL de metanol a 80% em tubos de vidro com tampa rosqueada e mantidas em banho térmico a 50° C durante 2h, onde foi feita uma agitação a cada 15 minutos com o auxílio de um agitador de tubos *vortex*. Após resfriamento em temperatura ambiente, foi coletado aproximadamente 1,2 mL da solução e colocados em micro tubos tipo *ependorfs*. Os extratos foram centrifugados a 14.000g durante 20 min e 100µL do sobrenadante foi diluído em água ultrapura Milli-Q, na proporção de 1:9 (v/v) e depositados em *vials* para cromatografia.

A quantificação de metilxantinas foi realizada no Laboratório de Purificação de Biomoléculas do Centro de Apoio Interdisciplinar (CAM-UFAM). Com os extratos de cada unidade amostral foram realizadas às análises de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência-

CLAE cromatógrafo HPLC com detector de diodo (*Shimadzu Inc.*, Kyoto, Japão) operando em 272nm (para metilxantinas) e 280nm (para fenólicos). A separação foi feita em coluna de fase reversa C18 (25 cm x 4,6 mm, 5 µm) *Allcrom®*, sendo a fase móvel (A) água com ácido acético a 1% e (B) metanol, sob um fluxo de 1,2 mL.min⁻¹. O gradiente utilizado foi de: 0 min 20% B, 13 min 45% B, 23 min 100% B e 30 min 20% B, com base no método de Schimpl et al. (2014) e Machado et al. (2018). Para quantificação das metilxantinas e polifenóis foram construídas curvas com quantidades conhecidas de soluções com padrões comerciais de cafeína, teobromina, teofilina, catequina e epicatequina (*Sigma-Aldrich®*), a partir da curva foi gerada uma equação linear para calcular as concentrações das metilxantinas e polifenóis nas amostras de guaraná.

2.6. Cálculo das produtividades de metabólitos secundários

Foram calculadas as produtividades de teobromina (TBp), cafeína (CFp), catequina (Cp), epicatequina (ECp) pela multiplicação do teor pela produtividade de sementes secas (PROD) de cada unidade amostral (planta/genótipo/local/ano/repetição), expressas em g.planta⁻¹. Foi estimada a variabilidade genética pela análise de variância ANOVA e teste de médias de Tukey pelo programa *Statistical Analysis System – SAS*, versão 9.2 (SAS, 2008).

Com os resultados do teste de médias foi realizada a divisão por classes de valores dos teores médios em sementes secas de frutos maduros, baseadas em oito genótipos de guaranazeiro para teobromina (TB), cafeína (CF), teofilina (TF), catequina (C), epicatequina (EC) expressas em %, e produtividades de sementes secas (PROD), teobromina (TBp), cafeína (CFp), catequina (Cp), epicatequina (ECp), sendo as produtividades expressas em g.planta⁻¹.

2.7. Divergência genética

A matriz de dissimilaridade genética foi construída com base nas Distâncias Euclidianas Médias entre os pares, dos oito genótipos de guaranazeiro para todas os caracteres e o dendrograma foi construído com base na matriz de dissimilaridade pelo Método de Agrupamento da Ligação Média Entre Grupos - UPGMA, levando-se em consideração a

consistência do dendrograma, pelo teste de Mantel (SMOUSE; LONG; SOKAL, 1986; MANTEL, 1967) e correlação cofenética (CARGNELUTTI FILHO; RIBEIRO; BURIN, 2010). O ponto de corte foi realizado conforme Mojena (1977).

2.8. Classificação e tipologia de guaranazeiros em função dos caracteres agroindustriais

Em função dos caracteres para os genótipos de guaranazeiro: teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), relação de cafeína e fenólicos ($CF/(C+EC)$), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) foi criada uma classificação em categorias dos valores em sementes secas com valores baseados no teste de médias e em classes de valores proporcionais. De acordo com os resultados encontrados propôs-se separar as classes de valores em: Muito baixa (Classe 1), baixa (Classe 2), média (Classe 3), alta (Classe 4) e muito alta (Classe 5).

Baseada na diversidade encontrada no acúmulo de metilxantinas e fenólicos dentro da espécie (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) com diferenças suficientes para a separação dos genótipos em 3 tipos comerciais (Tipologia do guaraná), em função do teor de cafeína (CF %) e a relação cafeína/soma de catequinas ($CF/(C+EC)$), “Guaraná energético”, “Guaraná energético e antioxidante” e “Guaraná antioxidante”.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise de variância

Oito genótipos de guaranazeiro foram avaliados quanto aos aspectos agroindustriais. Todos os caracteres tiveram diferenças altamente significativas entre os genótipos pelo teste F ($p \leq 0,01$) (Tabela 2), a CF teve o CV (%) mais baixo em comparação com os outros caracteres, podendo indicar um metabolismo mais estável. Os Quadrados médios (QM) dos caracteres CF, C e EC foram próximos aos encontrados por Cherotich et al. (2013), em clones de chá cultivados na África Oriental, e os Coeficientes de Variação CV (%), inferiores para CF e C e próximos para EC.

Tabela 2. Análise de variância dos caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) em oito genótipos de guaranazeiro – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.

Caracteres	QM		CV (%)	Média geral	Mínimo	Máximo
	Genótipos	Erro				
TB	0,004 **	0,00007	106,8	0,008	0	0,06
CF	5,17 **	0,28	9,8	5,41	3,23	7,35
C	0,75 **	0,14	27,7	1,36	0,20	3,57
EC	6,31 **	0,22	35,8	1,30	0,09	4,22
PROD	5552164,45 **	1095812,60	65,4	1601,23	48	5130,00
TBp	0,09 **	0,11	125,0	0,11	0	0,97
CFp	23048,34 **	3466,91	66,6	88,41	2,47	269,98
Cp	1689,31 **	375,63	82,7	23,44	0,50	138,68
ECp	3359,41 **	447,12	92,6	22,82	0,32	135,00

TB (%), CF (%), C (%), EC (%), PROD (g.planta⁻¹), TBp (g.planta⁻¹), CFp (g.planta⁻¹), Cp (g.planta⁻¹), ECp (g.planta⁻¹).

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Em 39,88% das amostras, de todos os genótipos, foram encontrados valores zero. O que apresentou maior número de amostras com valor nulo foi CMU874. Este é considerado tardio,

com colheita se estendendo até o mês de janeiro (período chuvoso). Pode haver alguma relação da precipitação com a redução do valor da teobromina, em alguns genótipos, podendo ser estudado mais profundamente o metabolismo em genótipos considerados tardios.

Os valores amostrais mais altos (Tabela 2) já encontrados para PROD foi 5.130 g.planta⁻¹ no genótipo CIR815, sendo superior à três vezes o esperado para seleção de cultivares pelo programa de melhoramento genético do guaranazeiro, e na média superior em 1.000g. Estes resultados são superiores ao encontrados em Nascimento Filho et al. (2009) e Pinto et al. (2018).

As plantas que apresentaram TB, tiveram médias muito baixas (0,001 e 0,014 %) (Tabela 3). Não foi detectada TF em nenhuma amostra avaliada. Os valores de teofilina em sementes de guaraná, quando detectados são muito baixos (SCHIMPL et al., 2014). Não se sabe ainda qual a relação da TF no metabolismo de CF em guaraná, em outras espécies de planta, é o produto da degradação de cafeína e rapidamente é convertida em ureídeos, não se acumulando nos tecidos vegetais (ASHIHARA et al., 2017).

Os genótipos com PROD superiores à 2.500 g.planta⁻¹ foram nos CIR815 e CIR904, seguidos por BRS-CG372, CMA498 e BRS Maués, que tiveram valor médio de PROD próximo ao encontrado por Nascimento Filho et al. (1999) de 1.550 g.planta⁻¹ e superior à BRS-CG372 em Nascimento Filho et al. (2000), de 1.490 g.planta⁻¹.

Os genótipos BRS Maués e CMU874 apresentaram valores (Tabela 3) muito próximos para todos os caracteres avaliados exceto CF e PROD, e as maiores médias para C e EC, Cp e ECp. Os genótipos CIR815 e CIR904 apresentaram as maiores médias para os caracteres CF, PROD, CFp. Estes genótipos com altos teores de CF podem servir de matéria prima para substituir a cafeína sintética, utilizada na indústria. Os genótipos BRS-CG372, CMA831 e CMU952 apresentaram as maiores médias para os caracteres TB e a BRS-CG372 a maior média para TBp.

Os genótipos CIR815, CIR904, BRS-CG372, CMA498, BRS Maués tiveram médias de PROD superiores à 1.500 g.planta⁻¹ que é o valor utilizado para seleção de materiais mais produtivos pelo programa de melhoramento genético do guaranazeiro. A BRS Maués teve neste estudo resultados para PROD semelhantes ao de Nascimento Filho et al. (1999).

Tabela 3. Médias* dos caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) em oito genótipos de guaranazeiro, – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.

Genótipos	TB (%)	CF (%)	C (%)	EC (%)	PROD (g.planta ⁻¹)	TBp (g.planta ⁻¹)	CFp (g.planta ⁻¹)	Cp (g.planta ⁻¹)	ECp (g.planta ⁻¹)
BRS-CG372	0,013 ab	5,70 abc	1,21 bc	0,72 c	1854,40 ab	0,230 a	105,78 abc	22,69 ab	13,52 bcd
BRS Maués	0,005 bc	4,65 d	1,56 ab	2,08 a	1655,90 ab	0,077 b	77,32 bc	27,97 ab	38,11 a
CIR815	0,006 abc	6,05 a	1,34 abc	1,28 b	2588,70 a	0,134 ab	152,48 a	35,06 a	31,31 abc
CIR904	0,002 c	5,87 ab	1,23 bc	1,36 b	1911,30 ab	0,048 b	111,40 ab	24,53 ab	26,63 abcd
CMA498	0,007 abc	5,61 abc	1,47 abc	1,29 b	1815,90 ab	0,114 ab	103,45 abc	28,37 ab	24,83 abcd
CMA831	0,014 a	5,25 c	1,22 bc	0,79 c	997,50 b	0,128 ab	53,06 c	12,42 b	7,95 d
CMU874	0,001 c	5,19 c	1,61 a	1,95 a	1387,00 b	0,006 b	75,11 bc	27,99 ab	33,02 ab
CMU952	0,010 ab	5,36 bc	1,19 c	0,95 bc	1124,30 b	0,124 ab	64,22 bc	14,36 b	11,21 d

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

Os genótipos CIR815, CIR904, BRS-CG372, CMA498, BRS Maués tiveram valores de PROD superiores aos encontrados por Atroch et al. (2013) ao estudarem progênes de guaranazeiro, e progênes de meios-irmãos em Atroch et al. (2010). Os caracteres CFp, Cp e ECp levam em consideração a produtividade de sementes secas e o teor de cada substância de cada planta, e por serem valores expressos em g.planta⁻¹, facilitam a mensuração, uniformizam as unidades e facilitam a comparação e interpretação dos resultados. O uso dessas produtividades deve facilitar a comparação dos caracteres entre genótipos de guaranazeiros, ser utilizadas pelas indústrias, e talvez até em outras culturas.

Resultado semelhante foi encontrado por Sabhapondit et al. (2012) em chá preto no nordeste da Índia, para diferenças para a CF, C e EC, estas grandes variabilidades genéticas são importantes para a discriminação de variedades, e foram usadas para diferenciar as três principais variedades e posterior elucidação do metabolismo das catequinas no chá.

3.2. Diversidade fitoquímica e genética

Ao avaliar a diversidade fitoquímica e genética, as relações e a identificação em mate (*Ilex paraguariensis* A.ST.-HIL.), Friedrich et al. (2017) obtiveram o teor médio de cafeína de 0,01 a 1,38% e teobromina de 0,10 a 0,85%. E em Nakamura et al. (2009), cafeína (0,226-1,377%), teobromina (0,176-0,831%), observaram correlação negativa entre teobromina e cafeína, e que elas compartilham a mesma via biossintética, na qual a cafeína é sintetizada a partir da xantosina -> 7 metilxantosina -> 7-metilxantina -> teobromina->cafeína, em que o doador de metila é a S-adenosilmetionina (SAM). E sugeriram que diversos fatores poderiam influenciar esta variabilidade, a variação genética e parcialmente as respostas à adaptação ambiental.

Os maiores valores de CF (Tabela 3) foram das sementes de CIR815 e CIR904. E nenhuma amostra teve valor de CF inferior à 3,23% confirmando a alta concentração de cafeína nas sementes de guaraná por Schimpl et al. (2013). Os menores valores amostrais de CF abaixo de 4% foram encontrados apenas nos genótipos BRS Maués (3,23%) e CMU874 (3,54%). Estes valores são muito próximos ao encontrado por Schimpl et al. (2014) de (3,3%) para a BRS Maués. Os genótipos BRS Maués e CMU874 possuem os valores mais baixos de cafeína

encontrados entre todos genótipos já estudados. O BRS Maués (CMU871) teve teor médio de cafeína (4,65%), muito próximo ao encontrado por Nascimento Filho et al. (1999) de (4,04%).

Os valores amostrais mais altos já encontrados para CF foram 7,35% e 7,08% em sementes dos genótipos CIR815 e CIR904, respectivamente. Esses valores são maiores do que qualquer outro descrito anteriormente para guaraná, os maiores valores anteriormente relatados foram de 6,98% Lyra (1953) e 6,2% em Escobar; Costa; Corrêa (1985). Schimpl et al. (2014) verificaram o teor de cafeína e outras metilxantinas em sementes de cinco genótipos de guaraná pelo mesmo método analítico utilizado neste trabalho, e os valores de cafeína encontrados foram entre 3,3 a 5,8%.

Campa et al. (2005) encontraram uma grande diversidade no teor de cafeína em espécies selvagens de *Coffea* (0-2,64%), com alto poder discriminatório (variância entre grupo/dentro do grupo) devido à alta contribuição dos genes no controle do conteúdo de cafeína e separaram espécies selvagens de *Coffea* em classes de acordo com o acúmulo do teor de cafeína. Magoma et al. (2000) também separaram os genótipos de chá em grupos e subgrupos em função dos teores de catequina e epicatequina, e em proporções das catequinas, e mostraram que os agrupamentos separaram as plantas de chá de origens diferentes, mesmo se tiverem conteúdos semelhantes de catequina.

Nagata; Sakai (1985) ao testarem o cruzamento de *Camellia sinensis*, espécie de chá com acúmulo de cafeína em folhas com as espécies *C. sasanqua* e *C. japonica*, que não produzem cafeína, verificaram que os híbridos apresentaram cafeína, *C. sasanqua* x *C. sinensis* de 0,08 a 2,84%, *C. sinensis* x *C. japonica* de 0,25 a 0,58%, *C. japonica* x *C. sinensis* de 0,21. Além disso, no cruzamento *C. sasanqua* x *C. sinensis* verificaram a variação de teores de 0,01 a 0,22% para catequina e de 0,1 a 2,9% para epicatequina, sendo que a *C. sasanqua* não contém catequina e tem baixos teores de epicatequina, evidenciando que a capacidade de sintetizar cafeína é uma característica dominante e que a grande variação no conteúdo de cafeína, catequina e epicatequina são inerentes aos caracteres.

No café, os teores de cafeína variam entre as espécies *Coffea canefora* (0,40-2,36%) e *Coffea arabica* (0,62-1,21%) (ANTHONY; CLIFFORD; NOIROT, 1993; MAZZAFERA; CARVALHO, 1991) e entre as suas variedades, sendo encontrado até o café descafeinado em *C. arabica* (SILVAROLLA; MAZZAFERA; FAZUOLI, 2004). Niemenak et al. (2008) encontraram variabilidade em sementes de Cola para cafeína (0,7 a 1,4%) em *C. nitida*, *Cola*

acuminata e *C. anomala*, e teobromina (0,04 a -,06%), e Belliardo et al. (1985) na teobromina (1,4-2,2%). As metilxantinas estão em maiores quantidades nas folhas secas de mate, a CF não foi detectada em algumas espécies e a teobromina (0,5% a 0,9%) (ASHIHARA et al., 2017). Os *Citrus* têm estreita relação a *Paullinia*, *Camellia* e *Coffea* pelo acúmulo de metilxantinas, no entanto desenvolveram uma via diferente catalisada por enzimas do tipo XMT, e catalisam a mesma via usando diferentes enzimas (HUANG et al., 2016).

Ao verificar a qualidade de variedades triplóides de espécies de *Camellia* (DAS et al., 2013) verificaram melhoria quantitativa nos teores de cafeína (incremento de 42% em relação ao melhor progenitor) e catequina. Algumas das progênies apresentaram melhor desempenho que seus pais diploides e mostraram heterose para cafeína, catequina e epicatequina, no entanto a variação dos teores foi alta, cafeína (1,27–6,08%), catequina (0,082-3,10%) e epicatequina (0,007-1,86%). Ashihara; Kubota (1986) também não detectaram teofilina e teobromina em sementes de plantas de chá (*Camellia sinensis* L. cv. Yabukita).

De acordo com Ashihara et al. (2017) a cafeína pode ter um papel chave no mecanismo de defesa das plantas. A cafeína tem a função de proteger os tecidos moles e jovens, com o efeito tóxico para patógenos e herbívoros, e função alelopática (SANO et al., 2013; ANEJA; GIANFAGNA, 2001; ASHIHARA; CROZIER, 1999; FUJIMORI et al., 1991; FRISCHKNECHT et al., 1986). Kim e Sano (2008) observaram que plantas transgênicas, produtoras de cafeína, expressaram genes relacionados à defesa e que a cafeína atua como sinalizadora na ativação do sistema de defesa preparando a planta para lidar com diferentes estresses abióticos (ASHIHARA et al., 2017; SANO; KIM; CHOI, 2013).

As relações filogenéticas entre ordens estudadas mostram múltiplas origens da biossíntese de cafeína. A cafeína evoluiu de forma convergente em cinco espécies de plantas de angiospermas utilizando diferentes combinações de genes e vias. Huang et al. (2016) demonstraram como as enzimas ancestrais sustentam a hipótese cumulativa com a evolução de múltiplos passos de uma via podem evoluir simultaneamente como nos gêneros *Paullinia*, *Theobroma* e *Camellia* da antiga linhagem CS (Cafeína sintase) e os gêneros *Citrus* e *Coffea* da antiga linhagem XMT (3-xantina metiltransferase). De acordo com (PICHERSKY; LEWINSOHN, 2011) a biossíntese de cafeína evoluiu pelo menos duas vezes de forma independente, mas reiterou que a via e a linhagem enzimática utilizada por uma planta não é previsível somente a partir do parentesco filogenético. Caso contrário, as rotas biossintéticas do

guaraná e do citrus seriam semelhantes, visto que ambas são da ordem Sapindales (ASHIHARA et al., 2017).

Curiosamente, o gênero *Theobroma* é o maior acumulador de teobromina (ASHIHARA et al., 2017) e a *Paullinia cupana* acumuladora de cafeína (SCHIMPL et al., 2014) principalmente nas sementes maduras. Uma hipótese para estas semelhanças podem ser a da origem geográfica. Os centros de origem do gênero *Theobroma* é em toda a América tropical (CLEMENT et al., 2010) e a de *Paullinia* na região noroeste e central da Amazônia (ZARRILLO et al., 2018; DUCKE, 1938). Este fato pode ter resultado na adaptação das espécies ao longo do tempo devido à semelhança aos fatores climáticos da região equatorial. O guaraná é uma cultura de domesticação recente e por isso não têm estruturação genética apesar das informações disponíveis sobre a origem e domesticação serem razoavelmente sólidas (CLEMENT et al., 2010; CLEMENT, 1989).

Em relação ao gênero *Paullinia*, Weckerle et al. (2003) encontraram valores de cafeína (4,28%) e teobromina (0,015%) nas sementes de *Paullinia cupana*. Na *P. yoco* encontraram valores de cafeína (0,025 a 0,449%) e teobromina (0,006 a 0,053%) em tecidos exceto nos frutos e sementes, e não sendo detectada teofilina em nenhum tecido, nesse estudo. Encontraram também uma espécie que continha metilxantinas, a *P. pachycarpa* apresentou apenas teobromina principalmente nas folhas e não detectada em sementes e pericarpo, cafeína e teofilina não foram detectadas em nenhum tecido.

3.3. Divergência genética

A diversidade genética obtida através da matriz de dissimilaridade (Tabela 4), baseada no conjunto de caracteres explica a diversidade. Baseado nas distâncias teve a consistência demonstrada pelo teste de Mantel (Figura 1) e obtido o dendrograma (Figura 2) (SMOUSE; LONG; SOKAL, 1986; MANTEL, 1967) com alta confiabilidade pela correlação cofenética de 0,8236 (CARGNELUTTI FILHO; RIBEIRO; BURIN, 2010), considerada alta de acordo com Rohlf; Fisher (1968); Sokal; Rohlf (1962), com valor de correlação consistente.

Tabela 4. Matriz de dissimilaridade entre oito genótipos de guaranazeiro para nove caracteres: Teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.

Genótipos	BRS-CG372	BRS Maués	CMA498	CIR815	CMA831	CMU874	CIR904	CMU952
BRS-CG372	0,000	0,706	0,465	0,529	0,464	0,708	0,481	0,436
BRS Maués	–	0,000	0,358	0,553	0,623	0,192	0,470	0,583
CMA498	–	–	0,000	0,301	0,459	0,316	0,234	0,405
CIR815	–	–	–	0,000	0,678	0,541	0,304	0,610
CMA831	–	–	–	–	0,000	0,594	0,454	0,085
CMU874	–	–	–	–	–	0,000	0,420	0,554
CIR904	–	–	–	–	–	–	0,000	0,378
CMU952	–	–	–	–	–	–	–	0,000

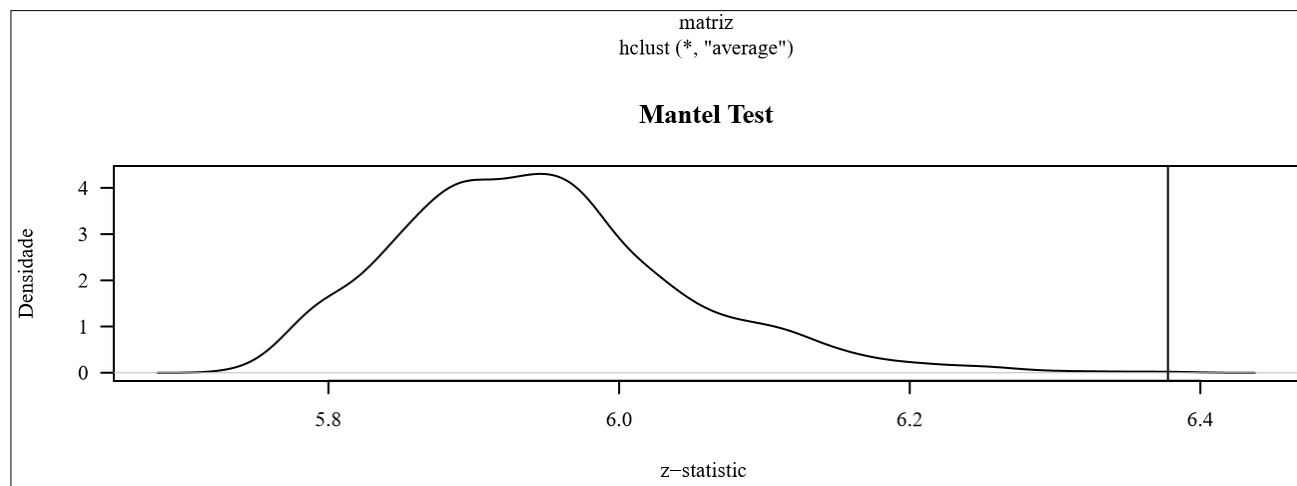


Figura 1. Teste de Mantel, significativo a 1% de probabilidade – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.

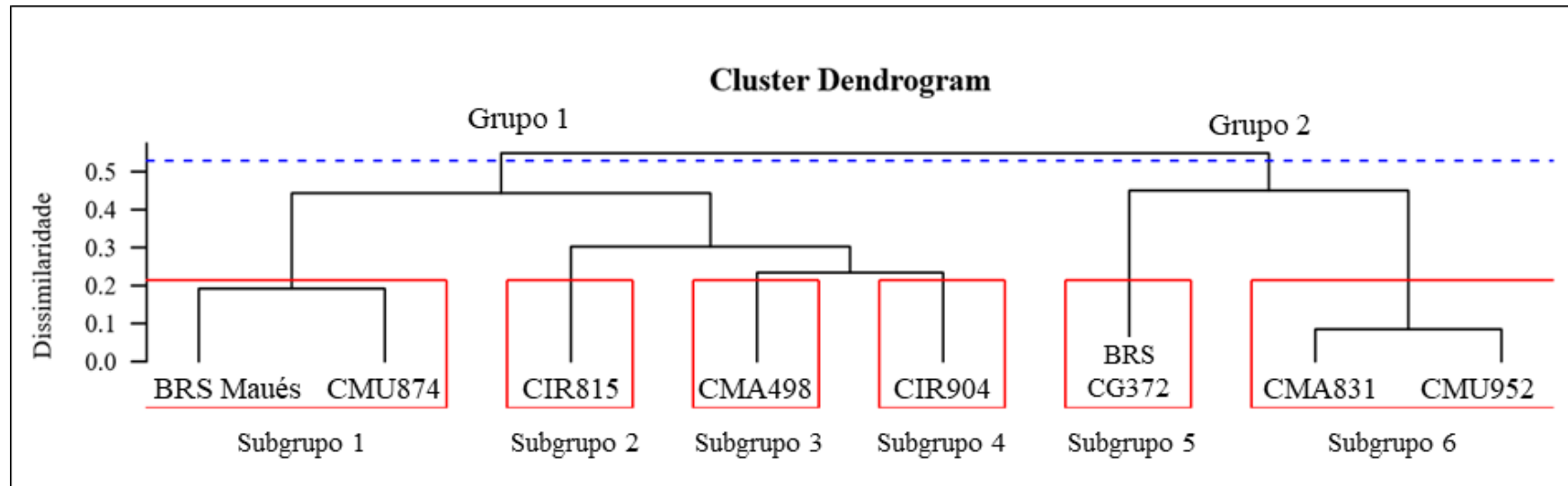


Figura 2. Dendrograma obtido pelo método da Distância Euclidiana Média, a partir da matriz de dissimilaridade entre oito genótipos e agrupamento pelo método da ligação média entre grupos (UPGMA) – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.

A partir dos caracteres agroindustriais avaliados foi possível agrupar os genótipos de guaranazeiro por meio do dendrograma (Figura 2). O ponto de corte foi calculado segundo Mojena (1977) com a separação de dois grupos e seis subgrupos, sendo a diversidade genética de genótipos de guaranazeiro em função de nove caracteres agroindustriais.

No dendrograma (Figura 2) foram formados 2 grupos e 6 subgrupos. Os genótipos BRS Maués e CMU874 (meio irmãos) ficaram no mesmo subgrupo, têm a mesma procedência (Maués) (Tabela 1), assim como CIR815 e o CIR904 procedência (Irاندوبا), e no mesmo grupo BRS-CG372 e CMA831 (Manaus). As maiores distâncias genéticas foram entre os genótipos do sub-grupo 5 (BRS-CG372) e os genótipos do sub-grupo 1 (BRS Maués e CMU874), seguido pelo sub-grupo 2 (CIR815) e sub-grupo 6 (CMA831 e CMU952), sub-grupo 1 (BRS Maués e CMU874) e sub-grupo 6 (CMA831 e CMU952). A maioria dos genótipos apresentaram variabilidade genética para todos os caracteres agroindustriais avaliados, e por isso podem ser utilizados como descritores para estudos de diversidade em genótipos de guaranazeiros.

Os genótipos BRS Maués e CMU874 estão no mesmo grupo por serem geneticamente próximos, pois são meio irmãos, demonstrando que é baixa a variabilidade genética entre eles, podendo ser observada a distância genética entre os dois genótipos (0,192), na matriz de dissimilaridade (Tabela 4). No entanto, Atroch et al. (2010) detectaram variabilidade genética entre progênies de meios-irmãos para a produção de frutos. Nascimento Filho et al. (2001) estudaram três (3) caracteres morfológicos e produtividade de sementes secas em 148 clones de guaranazeiro e concluíram que a divergência genética entre eles, não é grande, pois a maioria se concentrou em dois grupos.

Foi também observado entre CMA831 e CMU952, baixa variabilidade genética entre eles, ficando no mesmo subgrupo 6, mesmo sendo de procedência diferente. Assim, pode haver maior variabilidade dentro da população do que entre populações. O mesmo foi observado em Atroch et l. (2000). Os genótipos de guaranazeiro podem ter adquirido mudanças genéticas em suas populações ao longo de muitas gerações como forma de adaptação, que podem ter resultado em genótipos que respondem com intensidade diferente no acúmulo de metabólitos secundários, sendo observado semelhanças em genótipos de mesma procedência. Estas informações serão úteis para o programa de melhoramento genético do guaraná, com uso de genótipos discrepantes nos cruzamentos pode trazer os benefícios da heterose, na busca de aumento da produtividade e teores de metilxantinas e fenólicos.

3.4. Classificação e tipologia de guaranazeiros em função dos caracteres agroindustriais

Tendo em vista o interesse comercial das metilxantinas e compostos fenólicos em sementes de guaraná os parâmetros o efeito da produtividade associada ao conteúdo desses compostos os parâmetros CFp, Cp, ECp podem ser utilizados pelas empresas para a seleção e comparação de genótipos de guaraná mais produtivos, com o auxílio das classes (Tabela 5) e auxiliar o produtor na escolha de genótipos para a área de cultivo, bem como ter um parâmetro de estimativa para a venda e destinação do guaraná.

Tabela 5. Classificação em categorias dos valores dos caracteres: relação de cafeína e fenólicos (CF/(C+EC)), teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) em sementes secas de frutos maduros de guaranazeiro, baseadas em oito genótipos de guaranazeiro – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.

Classes	TB	CF	C	EC	CF/(C+EC)	PROD	TBp	CFp	Cp	ECp
	(%)					(g.planta ⁻¹)				
1	0	<3,0	<0,5	<0,5	<1,5	<500	0	<75	<15	<15
2	< 0,01	3,0-4,0	0,5-1,0	0,5-1,0	1,5-2,0	500-1000	< 0,10	75-100	15-20	15-20
3	0,01-0,02	4,0-5,0	1,-1,5	1,-1,5	2,0-2,5	1000-1500	0,10-0,20	100-125	20-25	20-25
4	0,02-0,03	5,0-6,0	1,5-2,0	1,5-2,0	2,5-3,0	1500-2000	0,20-0,30	125-150	25-30	25-30
5	>0,03	>6,0	>2,0	>2,0	>3,0	>2000	>0,30	>150	>30	>30

O genótipo CIR815 teve os valores classificados como “muito alto” para CF, EC, PROD, CFp, Cp e ECp. BRS Maués: muito alto (EC e ECp) e alto (CF, C e Cp). CMU874: muito alto (ECp) e alto (CF, C, EC e Cp). CIR904: alto (CF, PROD, CFp e ECp). CMA498: alto (CF e Cp). BRS-CG372: alto (CF, PROD). CMA831 e CMU952.

A relação CF/(C+EC) variou entre os genótipos, sendo em ordem decrescente: Classe 4 (alta) - BRS-CG372 (2,95), CMA831 (2,61), CMU952 (2,50); Classe 3 (média) - CIR815 (2,31), CIR904 (2,27), CMA498 (2,03); Classe 1 (baixa)- CMU874 (1,46), BRS Maués (1,28).

A partir da diversidade dentro da espécie (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) no acúmulo de metilxantinas e fenólicos encontrada neste estudo foi possível observar que os teores de CF, C e EC exibem grande variação entre os genótipos, podendo ser marcadores para diferenciar as variedades de guaranazeiro, pois diferem no potencial de acúmulo desses metabólitos. Sabhapondit et al. (2012) também observaram diferenças entre os genótipos para estes caracteres ao avaliar diversidade de catequina e epicatequina, e outros fenólicos, em cultivares de chá preto do nordeste da Índia. E mostraram a importância de diferenciar as três principais variedades de chá pelo uso de catequina como marcador. E Cherotich et al. (2013) mostrou que a catequina e epicatequina, juntamente com a cafeína são importantes para a discriminação de variedade de chá, devido a grandes variabilidades genéticas.

As diferenças encontradas com a utilização da relação cafeína/soma de fenólicos (CF/(C+EC)) foram suficientes para separar os genótipos em 3 tipos comerciais (Figura 3). O primeiro tipo é de genótipos com a menor (Tabela 5), da classe 1, o “Guaraná antioxidante” com genótipos acumuladores de catequina e epicatequina, (BRS Maués, CMU874). O segundo com valores da relação (CF/(C+EC)) das classes de 3 “Guaraná energético e antioxidante” (CIR815, CIR904, CMA498). O terceiro tipo é de genótipos com os maiores valores da relação (CF/(C+EC)), classe 4, o “Guaraná energético” com a valores de cafeína da classe 4 (BRS-CG372, CMA831 e CMU952).

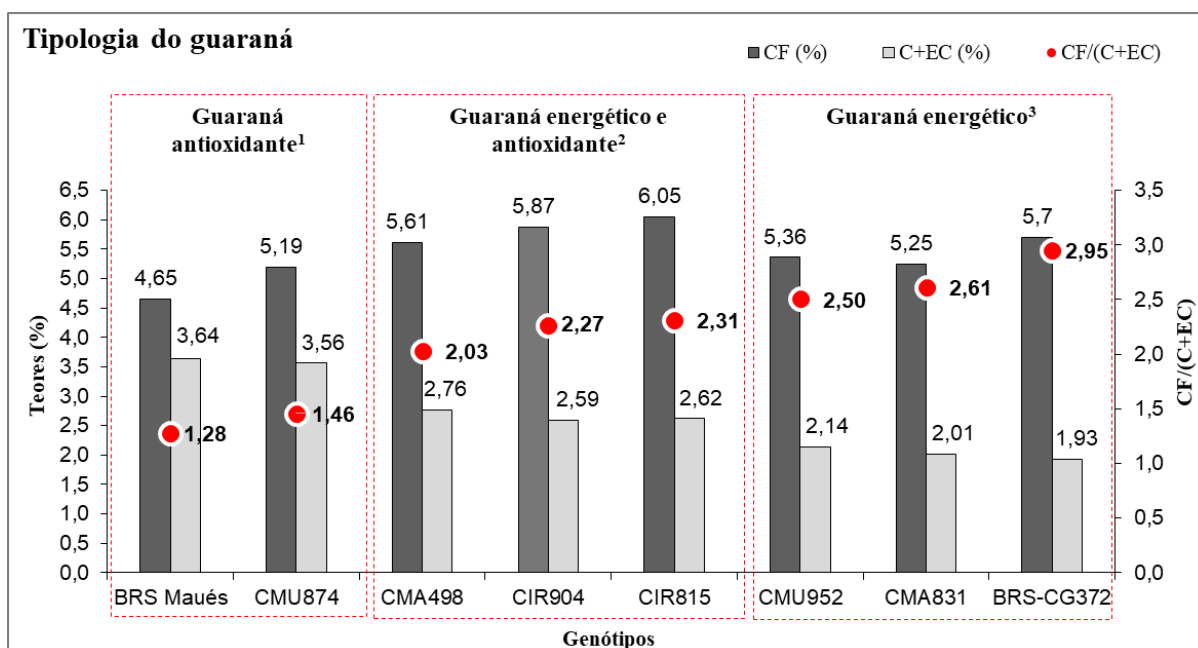


Figura 3. Tipologia do guaraná em função do teor de cafeína (CF %) e a relação cafeína/soma de catequinas (CF/(C+EC)) baseadas em oito genótipos de guaranazeiro – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.

¹Relação (CF/(C+EC)) <2,0. ²Relação (CF/(C+EC)) de 2,0 à 2,5. ³Relação (CF/(C+EC)) até >2,5. – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. Fonte: (NINA, 2019).

Brunetto et al. (2007) mostraram que existe uma relação entre o conteúdo em metilxantinas e genótipos do cacau. E estudos como os de Elwers et al. (2009) permitiram a classificação no cacau “Forastero”, “Trinitario” e “Criollo”, e em Carrillo; Londoño-Londoño; Gil (2014) com os resultados baseados na relação TB/CF, no cacau na Colômbia, e também observaram que os genótipos com maiores teores de epicatquina tinham também maiores atividades antioxidantes, eram diferenciados por variedade e classes. E utilizaram o teor de cafeína e a relação teobromina /cafeína para estabelecer uma classificação de cacau de acordo com a área geográfica das regiões de cultivo de cacau.

Ao estudar espécies de *Coffea* Campa et al. (2005) separaram as espécies de café em clusters para conteúdo de cafeína (%) em quatro classes agrupando de acordo com vestígios de cafeína e as outras entre intervalos de valores observados nas espécies entre baixo, médio e alto, com o intuito de ser usado para investigar, para identificar e caracterizar genes envolvidos na diferenciação entre classes e no acúmulo de cafeína. Estas informações ajudam também na classificação de genótipos para futuros cruzamentos e para poder identificar os mais promissores e atender os objetivos do melhoramento genético.

Pesquisas mostram a importância de se ter informações precisas da diversidade disponível do chá em função da concentração de metabólitos como as catequinas para dar suporte à seleção de chá de alta qualidade (SABHAPONDIT et al., 2012; GULATI et al., 2009; LIMA et al., 2009; CARDOZO JR et al., 2007) ao quantificar metilxantinas e compostos fenólicos em progênies de erva-mate encontraram diferenças significativas nos teores totais de metilxantinas (cafeína e teobromina) entre progênies de mate de acordo com a origem e localização. E Cardozo Junior et al. (2010) ao realizarem análise genética quantitativa de metilxantinas e compostos fenólicos observaram que a cafeína e teobromina variaram significativamente nas progênies de erva mate de diferentes origens geográficas. A variação química com base no local de cultivo também pode ser identificada em sementes de guaraná, havendo uma estreita relação do conteúdo fenólico e de metilxantinas com a origem geográfica (SILVA et al., 2017, 2016).

3.5. Cruzamentos promissores

Alguns genótipos estudados têm potencial para cruzamentos promissores por serem mais divergentes e terem valores diferentes para os caracteres avaliados. A BRS Maués já é uma cultivar, tem altos valores de C, EC e ECp, pertencente ao subgrupo 1 do grupo 1, já foi muito testada em campo e já se tem conhecimento da adaptabilidade e estabilidade (NASCIMENTO FILHO et al., 2011; NASCIMENTO FILHO et al., 2009; NASCIMENTO FILHO et al., 2005) e ter a maior produtividade em outras avaliações em comparação com outros genótipos avaliados anteriormente (PINTO et al., 2018). O CIR815 pertencente ao subgrupo 2 do grupo 1, tem os maiores valores de CF, PROD, CFp e Cp. A BRS-CG372 é uma cultivar, a única pertencente do subgrupo 5 do grupo 2, e tem valores médios para os caracteres estudados. O CIR904 pertencente ao subgrupo 4 do grupo 1, com altos valores para CF, PROD e CFp.

Os cruzamentos recíprocos propostos de genótipos divergentes e com alta produtividade são: CIR815 x BRS Maués, BRS Maués x CIR904, BRS-CG372 x CIR815, BRS-CG372 x CIR904, e BRS Maués x BRS-CG372. Estes cruzamentos têm características agroindustriais interessantes para serem utilizadas no programa de melhoramento genético do guaranazeiro para exploração da variabilidade e potencial produtivo, na busca por maiores teores de metilxantinas e fenólicos.

4 CONCLUSÃO

Foi detectada variabilidade para oito genótipos de guaranazeiro, com a formação de dois grupos e seis sub-grupos. Todos os nove caracteres avaliados podem ser utilizados como descritores para estudos de diversidade no guaranazeiro.

Sementes de guaranazeiro têm altos teores de cafeína, catequina e epicatequina, e baixos teores de teobromina. Plantas mais produtivas têm maiores produtividade de cafeína, produtividade de catequina e produtividade de epicatequina.

Os genótipos CIR815 e CIR904 tiveram os maiores valores de produtividade de sementes secas, produtividade de cafeína e teores de cafeína. E os genótipos BRS Maués e CMU874 os maiores teores de catequina e epicatequina. Os genótipos CIR815, CIR904 e CMU874 tem potencial para serem futuros cultivares.

Há diversidade no acúmulo de metilxantinas e fenólicos e na produtividade dentro da espécie (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) sendo possível a utilização da separação em classes de valores.

As diferenças encontradas com a utilização da relação cafeína/soma de fenólicos foram suficientes para separar os genótipos em 3 grupos comerciais: O “Guaraná energético e antioxidante” acumuladores de cafeína, catequina e epicatequina (CIR815, CIR904, CMA498), “Guaraná antioxidante” acumuladores de catequina e epicatequina (BRS Maués, CMU874), e terceiro “Guaraná energético” com valores médios de cafeína e valores mais baixos de fenólicos (BRS-CG372, CMA831 e CMU952).

São propostos cruzamentos de genótipos divergentes e com alta produtividade para serem utilizadas no programa de melhoramento genético do guaranazeiro na busca por maiores teores de metilxantinas e fenólicos: CIR815 x BRS Maués, BRS Maués x CIR904, BRS-CG372 x CIR815, BRS-CG372 x CIR904, e BRS Maués x BRS-CG372.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. B.; BRAGAGNOLO, N.; BRAGAGNOLO, N. Determinação simultânea de teobromina, teofilina e cafeína em chás por cromatografia líquida de alta eficiência. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 38, n. 2, p. 237–242, 2002.
- ANEJA, M.; GIANFAGNA, T. Induction and accumulation of caffeine in young, actively growing leaves of cocoa (*Theobroma cacao* L.) by wounding or infection with *Crinipellis pernicios*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 59, n. 1, p. 13–16, 2001.
- ANTHONY, F.; CLIFFORD, M. N.; NOIROT, M. Biochemical diversity in the genus *Coffea* L.: chlorogenic acids, caffeine and mozambioside contents. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 40, n. 2, p. 61–70, 1993.
- ANTONELLI-USHIROBIRA, T. M. et al. Controle de Qualidade de Amostras de *Paullinia cupana* H. B.K. var . *sorbilis* (Mart.) Ducke. **Acta Farmacêutica Bonaerense**, v. 23, n. 3, p. 383–386, 2004.
- ARANTES, L. P. et al. Guarana (*Paullinia cupana* Mart.) attenuates methylmercury-induced toxicity in *Caenorhabditis elegans*. **Toxicology Research**, v. 5, n. 6, p. 1629–1638, 2016.
- ASHIHARA, H. et al. Xanthine Alkaloids: Occurrence, Biosynthesis, and Function in Plants. **Progress in the Chemistry of Organic Natural Products**, v. 107, p. 1–88, 2017.
- ASHIHARA, H.; CROZIER, A. Biosynthesis and metabolism of caffeine and related purine alkaloids in plants. **Advances in botanical research**, v. 30, p. 117–205, 1999.
- ASHIHARA, H.; CROZIER, A. Caffeine: a well known but little mentioned compound in plant science. **Trends in plant science**, v. 6, n. 9, p. 407–413, 2001.
- ASHIHARA, H.; KUBOTA, H. Patterns of adenine metabolism and caffeine biosynthesis in different parts of tea seedlings. **Physiologia Plantarum**, v. 68, n. 2, p. 275–281, 1986.
- ASOLINI, F. C. et al. Antioxidant and Antibacterial Activities of Phenolic Compounds from Extracts of Plants Used as Tea. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 3, p. 209–215, 2006.
- ATROCH, A. L. et al. Domesticação e melhoramento do guaranazeiro. In: LOPES, M. T. G.; CLEMENT, C. R. (Eds.). **Domesticação e Melhoramento de Plantas: Espécies Amazônicas**. UFV ed. Viçosa: [2009.]. p. 337–365.
- 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. Avaliação e seleção de progênies de meios-irmãos de guaranazeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 53, n. 2, p. 123–130, 2010.
- ATROCH, A. L.; SOARES, A. A.; RAMALHO, M. A. P. Adaptabilidade e estabilidade de

linhagens de arroz de sequeiro testadas no Estado de Minas Gerais. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 24, n. 3, p. 541–548, 2000.

BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, v. 99, n. 1, p. 191–203, 2006.

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

BELLIARDO, F.; MARTELLI, A.; VALLE, M. G. HPLC determination of caffeine and theophylline in *Paullinia cupana* Kunth (Guarana) and *Cola* spp. samples. **Z Lebensm Unters Forsch**, v. 180, n. 5, p. 398–401, 1985.

BERTAN, I. et al. Comparação de métodos de agrupamento na representação da distância morfológica entre genótipos de trigo. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 12, n. 3, p. 279–286, 2006.

BITTENCOURT, L. S. et al. The protective effects of guaraná extract (*Paullinia cupana*) on fibroblast NIH-3T3 cells exposed to sodium nitroprusside. **Food and Chemical Toxicology**, v. 53, p. 119–125, 2013.

BRUNETTO, M. DEL R. et al. Determination of theobromine, theophylline and caffeine in cocoa samples by a high-performance liquid chromatographic method with on-line sample cleanup in a switching-column system. **Food Chemistry**, v. 100, n. 2, p. 459–467, 2007.

CADONÁ, F. C.; MACHADO, A. K.; AZZOLIN, V. F. Guaraná a Caffeine-Rich Food Increases Oxaliplatin Sensitivity of Colorectal HT-29 Cells by Apoptosis Pathway Modulation. **Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry**, v. 16, n. 8, p. 1055–1065, 2016.

CAMPA, C. et al. Diversity in bean Caffeine content among wild *Coffea* species: Evidence of a discontinuous distribution. **Food Chemistry**, v. 91, n. 4, p. 633–637, 2005.

CARDOZO JR, E. L. et al. Methylxanthines and phenolic compounds in mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) progenies grown in Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 20, p. 553–558, 2007.

CARDOZO JUNIOR, E. L. et al. Quantitative genetic analysis of methylxanthines and phenolic compounds in mate progenies. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 2, p.171-177, 2010.

CARGNELUTTI FILHO, A.; RIBEIRO, N. D.; BURIN, C. Consistência do padrão de agrupamento de cultivares de feijão conforme medidas de dissimilaridade e métodos de agrupamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 1, p. 236–243, 2010.

CARRILLO, L. C.; LONDOÑO-LONDOÑO, J.; GIL, A. Comparison of polyphenol, methylxanthines and antioxidant activity in *Theobroma cacao* beans from different cocoa-growing areas in Colombia. **Food Research International**, v. 60, p. 273–280, 2014.

CHEROTICH, L. et al. Variation in catechin composition of popularly cultivated tea clones in East Africa (Kenya). **American Journal of Plant Sciences**, v. 4, n. 3, p. 628–640, 2013.

- CLEMENT, C. R. A Center of Crop Genetic Diversity in Western Amazonia: A new hypothesis of indigenous fruit-crop distribution. **BioScience**, v. 39, n. 9, p. 624–631, 1989.
- CLEMENT, C. R. et al. Origin and domestication of native Amazonian crops. **Diversity**, v. 2, n. 1, p. 72–106, 2010.
- COELHO, C. M. M. et al. Diversidade genética em acessos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Rural**, v. 37, n. 5, p. 1241–1247, 2007.
- CONAB. **Guaraná: Análise mensal**. CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento, 2017.
- CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271–276, 2013.
- CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. 1º ed. Viçosa: UFV, 2011.
- DAS, S. K. et al. Biochemical evaluation of triploid progenies of diploid × tetraploid breeding populations of *camellia* for genotypes rich in catechin and caffeine. **Biochemical Genetics**, v. 51, n. 5–6, p. 358–376, 2013.
- DUCKE, A. Diversidade dos guaranás. **Rodriguésia**, v. 3, n. 10, p. 155–159, 1937.
- DUCKE, A. Plantes nouvelles ou peu connues de la region amazonienne. **Revista Archivos do Instituto de Biologia Vegetal**, v. 4, n. 1, p. 46–47, 1938.
- ELIAS, H. T. et al. Variabilidade genética em germoplasma tradicional de feijão-preto em Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1443–1449, 2007.
- ELWERS, S. et al. Differences between the content of phenolic compounds in Criollo, Forastero and Trinitario cocoa seed (*Theobroma cacao* L.). **European Food Research and Technology**, v. 229, n. 6, p. 937–948, 2009.
- ESCOBAR, J. R.; COSTA, P. R. C. DA; CORRÊA, M. P. F. **Variação do teor de cafeína na sementes de guaraná em progênes de polinização aberta**: Boletim de pesquisa, n. 5. Manaus, 1985.
- FARIA, P. N. et al. Métodos de agrupamento em estudo de divergência genética de pimentas. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 428–432, 2012.
- FIGUEROA, A. L. G. Guaraná, a máquina do tempo dos *Sateré-Mawé*. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi: Ciencias Humanas**, v. 11, n. 1, p. 55–85, 2016.
- FRIEDRICH, J. C. et al. Genetic and Phytochemical Analysis to Evaluate the Diversity and Relationships of Mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) Elite Genetic Resources in a Germplasm Collection. **Chemistry and Biodiversity**, v. 14, n. 3, 2017.
- FRISCHKNECHT, P. M.; ULMER-DUFEK, J.; BAUMANN, T. W. Purine alkaloid formation in buds and developing leaflets of *Coffea arabica*: expression of an optimal defence strategy. **Phytochemistry**, v. 25, n. 3, p. 613–616., 1986.
- FUJIMORI, N.; SUZUKI, T.; ASHIHARA, H. Seasonal variations in biosynthetic capacity for

the synthesis of caffeine in tea leaves. **Phytochemistry**, v. 30, n. 7, p. 2245–2248., 1991.

GUEDES, M. et al. Divergência genética entre cafeeiros do germoplasma Maragogipe. **Bragantia**, v. 72, n. 2, p. 127–132, 2013.

GULATI, A. et al. Catechin and catechin fractions as biochemical markers to study the diversity of Indian tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) germplasm. **Chemistry and Biodiversity**, v. 6, n. 7, p. 1042–1052, 2009.

HOLLMAN, P. C. H.; ARTS, I. C. W. Flavonols, flavones and flavanols - Nature, occurrence and dietary burden. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 7, p. 1081–1093, 2000.

HUANG, R. et al. Convergent evolution of caffeine in plants by co-option of exapted ancestral enzymes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 38, p. 10613–10618, 2016.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**, Tabela 1613. 2017a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613> Acesso em: 24 dez. 2018.

IBGE, I. B. DE G. E E. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. 2017. **Estatística da Produção Agrícola**, v. 29, n. 12, p. 1–82, 2017b.

IVOGLIO, M. G. et al. Divergência genética entre progênies de café robusta. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 823–831, 2008.

IZQUIERDO, A. M. et al. Changes in biomass allocation and phenolic compounds accumulation due to the effect of light and nitrate supply in *Cecropia peltata* plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 6, p. 2135–2147, 2011.

KIM, Y.-S.; SANO, H. Pathogen resistance of transgenic tobacco plants producing caffeine. **Phytochemistry**, v. 69, n. 4, p. 882–888, 2008.

KING, A.; YOUNG, G. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 99, n. 2, p. 213–218, 1999.

LEE, J.-E. et al. Geographical and Climatic Dependencies of Green Tea (*Camellia sinensis*) Metabolites: A ¹H NMR-Based Metabolomics Study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 19, p. 10582–10589, 2010.

LI, Z. X. et al. Developmental changes in carbon and nitrogen metabolism affect tea quality in different leaf position. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 106, p. 327–335, 2016.

LIMA, J. D. et al. Chá: aspectos relacionados à qualidade e perspectivas. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1270–1278, 2009.

LYRA, M. B. Aspectos bromatológicos do guaraná. **Arquivos de Bromatologia**, v. 1, p. 33–45, 1953.

MACHADO, K. N. et al. A rapid simultaneous determination of methylxanthines and proanthocyanidins in Brazilian guaraná (*Paullinia cupana* Kunth.). **Food Chemistry**, v. 239, p. 180–188, 2018.

- MAGOMA, G. N. et al. The use of catechins as biochemical markers in diversity studies of tea (*Camellia sinensis*). **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 47, n. 2, p. 107–114, 2000.
- MAJHENIČ, L.; ŠKERGET, M.; KNEZ, Ž. Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. **Food Chemistry**, v. 104, n. 3, p. 1258–1268, 2007.
- MANTEL, N. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. **Cancer Research**, v. 27, p. 209–220, 1967.
- MARQUES, L. L. M. et al. *Paullinia cupana*: a multipurpose plant – a review. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, n. 2017, 2018.
- MAZZAFERA, P.; CARVALHO, A. Breeding for low seed caffeine content of coffee (*Coffea* L.) by interspecific hybridization. **Euphytica**, v. 59, n. 1, p. 55–60, 1991.
- MICHILES, R. J. **A cadeia produtiva do guaraná: Um estudo com o Guaraná no Município de Maués**. [Tese de Doutorado.] Universidade Federal do Amazonas, 2010.
- MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, v.20, n.4, p.359-363, 1977.
- NAGATA, T.; SAKAI, S. Caffeine, flavanol and amino acid contents in leaves of hybrids and species of the section Dubie in the genus *Camellia*. **Japanese Journal of Breeding**, v. 35, n. 1, p. 1–8, 1985.
- NAKAMURA, K. L. et al. Genetic variation of phytochemical compounds in progenies of *Ilex paraguariensis* St . Hil . **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, n. June, p. 116–123, 2009.
- NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Adaptabilidade e estabilidade de clones de guaraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1138–1144, 2009b.
- NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. **Clones de guaranazeiro para o estado do Amazonas. Comunicado técnico: Comunicado Técnico 01**. Manaus.: Embrapa., 1999.
- NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Comportamento de clones de guaraná em três localidades. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 53, n. 1, p. 38–45, 2011.
- NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Divergência genética entre clones de guaranazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 501–506, 2001.
- NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Interação de clones de guaraná por locais. In: **Seminário sobre pesquisas com o guaranazeiro na Amazônia**. Embrapa Am ed. Manaus: 2005. p. 202–211.
- NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. **Novos Clones de Guaranazeiro para o Estado do Amazonas. Comunicado técnico: (Comunicado Técnico 08)**. Manaus.: Embrapa., 2000.
- NASCIMENTO FILHO, F. J.; CRUZ, C. D.; GARCIA, T. B. Divergência genética em plantas jovens de guaranazeiro e possibilidade de melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 12, p. 1571–1577, 1992.

- NIEMENAK, N. et al. Purine alkaloids and phenolic compounds in three *Cola* species and *Garcinia kola* grown in Cameroon. **South African Journal of Botany**, v. 74, n. 4, p. 629–638, 2008.
- PELOZO, M. I. DE G.; CARDOSO, M. L. C.; MELLO, J. C. P. DE. Spectrophotometric Determination of Tannins and Caffeine in Preparations from *Paullinia cupana* var . sorbilis. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 3, p. 447–451, 2008.
- PICHERSKY, E.; LEWINSOHN, E. Convergent Evolution in Plant Specialized Metabolism. **Annual Review of Plant Biology**, v. 62, n. 1, p. 549–566, 2011.
- PINTO, C. E. D. L. et al. Seleção de clones de guaranazeiro para adaptabilidade e estabilidade no Estado do Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, p. 1–7, 2018.
- POMPELLI, M. F. et al. The effect of light and nitrogen availability on the caffeine, theophylline and allantoin contents in the leaves of *Coffea arabica* L. **AIMS Environmental Science**, v. 1, n. 1, p. 1–11, 2013.
- REIS, M. V. M. et al. Variabilidade genética e associação entre caracteres em germoplasma de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L .) **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 412–420, 2015.
- RIBEIRO, B. D.; COELHO, M. A. Z.; BARRETO, D. W. Obtenção de extratos de guaraná ricos em cafeína por processo enzimático e adsorção de taninos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 3, p. 262–270, 2012.
- ROHLF, J. F.; FISHER, D. R. Tests for Hierarchical Structure in Random Data Sets. **Systematic zoology**, v. 17, n. 4, p. 407–412, 1968.
- RUCHEL, J. B. et al. Hypercholesterolemia and Ecto-enzymes of Purinergic System: Effects of *Paullinia cupana*. **Phytotherapy Research**, v. 30, n. 1, p. 49–57, 2016.
- RUCHEL, J. B. et al. Guarana (*Paullinia cupana*) ameliorates memory impairment and modulates acetylcholinesterase activity in Poloxamer-407-induced hyperlipidemia in rat brain. **Physiology and Behavior**, v. 168, p. 11–19, 2017.
- SABHAPONDIT, S. et al. Diversity of catechin in Northeast Indian Tea cultivars. **The Scientific World Journal**, v. 2012, n. Figure 1, 2012.
- SALOMÃO-OLIVEIRA, A. et al. Benefits and Effectiveness of Using *Paullinia cupana* : A Review Article. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 6, n. 8, p. 497–503, 2018.
- SANGHERA, G. S. et al. Genetic divergence among elite sugarcane clones (*Saccharum officinarum* L.) based on cane yield and quality traits from Northern India. **Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences**, v. 3, n. 2, p. 184–190, 2015.
- SANO, H.; KIM, Y.-S.; CHOI, Y.-E. Like cures like: caffeine immunizes plants against biotic stresses. **Advances in Botanical Research**, v. 68, p. 273–300, 2013.
- SANTANA, Á. L.; MACEDO, G. A. Health and technological aspects of methylxanthines and polyphenols from guarana: A review. **Journal of Functional Foods**, v. 47, n. March, p. 457–468, 2018.

SAS. **Statistical Analysis System Institute user's guide: introduction to statistical modeling with SAS/Stat software SAS/Stat® 9.2 (book excerpt)** Cary , 2008.

SCHIMPL, F. C. et al. Guarana: Revisiting a highly caffeinated plant from the Amazon. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 150, n. 1, p. 14–31, 2013.

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

SCHOLEY, A.; HASKELL, C. Neurocognitive effects of guaraná plant extract. **Drugs of the Future**, v. 33, n. 10, p. 869–874, 2008.

SILVA, D. F. P. DA et al. Diversidade genética entre cultivares de mangueiras, baseada em caracteres de qualidade dos frutos. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 225–232, 2012.

SILVA, G. S. DA et al. ¹H quantitative nuclear magnetic resonance and principal component analysis as tool for discrimination of guarana seeds from different geographic regions of Brazil. **Proceedings of the XIII International Conference on the Applications of Magnetic Resonance in Food Science**, n. December, p. 21, 2016.

SILVA, G. C. et al. Divergência genética entre genótipos de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 52–58, 2011.

SILVA, G. S. et al. Chemical profiling of guarana seeds (*Paullinia cupana*) from different geographical origins using UPLC-QTOF-MS combined with chemometrics. **Food Research International**, v. 102, n. June, p. 700–709, 2017.

SILVAROLLA, M. B.; MAZZAFERA, P.; FAZUOLI, L. C. Plant biochemistry: A naturally decaffeinated arabica coffee. **Nature**, v. 429, p. 826, 2004.

SMITH, N.; ATROCH, A. L. Guaraná's journey from regional tonic to aphrodisiac and global energy drink. **Evidence-based Complementary and Alternative Medicine**, v. 7, n. 3, p. 279–282, 2007.

SMOUSE, P. E.; LONG, J. C.; SOKAL, R. R. Multiple Regression and Correlation Extensions of the Mantel Test of Matrix Correspondence. **Systematic zoology**, v. 35, n. 4, p. 627–632, 1986.

SMYTH, T. J.; CRAVO, M. S. **Resposta do guaranazeiro a níveis de N, P, K e Mg**: Relatório de Projeto. Manaus: [s.n.].

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

SONG, R. et al. Correlation between leaf age, shade levels, and characteristic beneficial natural constituents of tea (*Camellia sinensis*) grown in Hawaii. **Food Chemistry**, v. 133, n. 3, p. 707–714, 2012.

SOUSA, S. A. et al. Determinação de taninos e metilxantinas no guaraná em pó (*Paullinia cupana* Kunth , Sapindaceae) por cromatografia líquida de alta eficiência. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 20, n. 6, p. 866–870, 2010.

SPOLADORE, D. S.; BOAVENTURA, M. A. M.; SÁES, L. A. Teor de cafeína em sementes matrizes do guaranazeiro. **Bragantia**, v. 46, n. 2, p. 425–429, 1987.

SUFRAMA. **Projeto potencialidades regionais: Estudo da viabilidade econômica - Guaraná**. Superintendência da Zona Franca de Manaus - Suframa, Manaus, 2003.

TAVARES, A. M. et al. **Sistema de produção 2. Cultura do guaranazeiro no Amazonas. Embrapa Amazônia Ocidental**. Manaus., 2005.

VAL, B. H. P. et al. Diversidade genética de genótipos de soja por meio de caracteres agromorfológicos. **Ciência & Tecnologia**, v. 6, n. 1, p. 72–83, 2014.

WANG, L. Y. et al. Seasonal climate effects on flavanols and purine alkaloids of tea (*Camellia sinensis* L.). **Eur Food Res Technol**, v. 233, p. 1049–1055, 2011.

WECKERLE, C. S.; STUTZ, M. A.; BAUMANN, T. W. Purine alkaloids in *Paullinia*. **Phytochemistry**, v. 64, n. 3, p. 735–742, 2003.

YONEKURA, L. et al. Bioavailability of catechins from guaraná (*Paullinia cupana*) and its effect on antioxidant enzymes and other oxidative stress markers in healthy human subjects. **Food and Function**, v. 7, n. 7, p. 2970–2978, 2016.

ZARRILLO, S. et al. The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. **Nature Ecology and Evolution**, v. 2, p. 1879–1888, 2018.

ZHANG, L. Q. et al. Accumulation of catechins and expression of catechin synthetic genes in *Camellia sinensis* at different developmental stages. **Botanical Studies**, v. 57, n. 1, 2016.

**CAPÍTULO II — CARACTERES AGROINDUSTRIAIS: INTERAÇÃO
GENÓTIPO X AMBIENTE, ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E SELEÇÃO
DE GENÓTIPOS DE GUARANAZEIRO**

RESUMO

O guaraná é uma das espécies de maior potencial econômico da Amazônia pelo mais alto teor de cafeína já encontrado, e pelos efeitos terapêuticos, energéticos e antioxidantes, atribuídos às metilxantinas e aos polifenóis. O conhecimento do comportamento de genótipos de guaranazeiro em diferentes ambientes tem a finalidade de auxiliar o programa de melhoramento genético do guaranazeiro na busca de genótipos com maiores concentrações de metilxantinas e fenólicos, associado à produtividade. O objetivo deste estudo foi a seleção de genótipos de guaranazeiro pela adaptabilidade e estabilidade de oito genótipos de guaranazeiro em três locais no Estado do Amazonas, em função de caracteres agroindustriais e produtividade de sementes secas. As avaliações foram realizadas em oito genótipos, nove caracteres, em três locais nos anos 2015 e 2016. E teobromina, cafeína, teofilina, catequina e epicatequina foram quantificadas em extratos de sementes maduras por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência-CLAE. Foi calculada a produtividade de sementes secas, e em função de cada metabólito. Foi realizada a análise de variância, interação genótipo x ambiente, correlações fenotípicas, adaptabilidade e estabilidade, e índice de seleção de genótipos de Mulamba-Rank. A cafeína, catequina, epicatequina, produtividade de sementes e produtividades de cafeína, catequina e epicatequina são altamente influenciados pelo ambiente. Sementes maduras de guaraná têm altos teores de cafeína, catequina, epicatequina e baixos de teobromina. O acúmulo de cafeína é maior em altas temperaturas e amplitude térmica, catequina e epicatequina variam de acordo com precipitação anual, teobromina tem baixíssima influencia ambiental e alta influencia genética. As produtividades de sementes secas, cafeína, catequina e epicatequina são caracteres que podem ser utilizados para a seleção de genótipos de guaranazeiros. Os genótipos com alta adaptabilidade e estabilidade e maiores ganhos foram os genótipos BRS Maués, CIR815, CIR904, e CMU874 sendo potenciais futuros cultivares.

Palavras-chaves: *Paullinia cupana*. Metabólitos secundários. Produtividade. Índice de seleção. Ganho de seleção.

INDUSTRIAL CHARACTERS: GENOTYPE INTERACTION X ENVIRONMENT ADAPTABILITY, STABILITY AND SELECTION OF GUARANÁ GENOTYPES

ABSTRACT

Guarana is one of the highest potential economic species in the Amazon, with the highest caffeine content ever found and for the therapeutic, energetic and antioxidant effects attributed to methylxanthines and polyphenols. The knowledge of the behavior of guaraná genotypes in different environments aim assist the guaraná breeding program in the search for genotypes with higher contents of methylxanthines and phenolics, associated with productivity. The objective of this study was the selection of guaraná genotypes for the adaptability and stability of eight guaraná genotypes in three locations in the state of Amazonas in function of agroindustrial characters and dry seed yield. Evaluations were carried out in eight genotypes, nine characters and in three sites during 2015/2016 years. Theobromine, caffeine, theophylline, catechin and epicatechin contents were quantified in mature seed extracts by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). The dry seed yield was calculated, and in function of each metabolite. We performed the analysis of variance, genotype x environment interaction, phenotype correlations, REML / BLUP analysis, mean and variance components, adaptability and stability, genetic values and selection index of Mulamba-Rank genotypes. Caffeine, catechin, epicatechin, seed productivity and caffeine, catechin and epicatechin productivities are highly influenced by the environment. Mature seeds of guarana have high levels of caffeine, catechin, epicatechin and low theobromine. The accumulation of caffeine is higher at high temperatures and thermal amplitude, catechin and epicatechin vary according to annual precipitation and the theobromine has very low environmental influence and high genetic influence. The productivities of dried seeds, caffeine, catechin and epicatechin are characters that can be used for the selection of guaranazeiros genotypes. The genotypes with high adaptability and stability and greater gains were genotypes BRS Maués, CIR815, CIR904, and CMU874 being potential future cultivars.

Keywords: *Paullinia cupana*. Secondary metabolites. Inheritability. selection index. Selection gain.

1 INTRODUÇÃO

O guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke), da família Sapindaceae, é uma trepadeira lenhosa nativa da Amazônia, sendo domesticado e cultivado pela comunidade indígena Sateré-Mawé. É cultivado à pleno sol nos plantios comerciais, e alguns produtores o cultivam na capoeira. É economicamente explorado por grandes empresas, e por pequenos produtores da agricultura familiar.

O guaraná está entre as muitas espécies potenciais da Amazônia, sendo a maior parte da produção destinada ao mercado interno, com 90% comercializado na forma de rama, sendo 71,4% para a indústria de refrigerantes e o restante são comercializados na forma de pó, bastão e xaropes. O guaraná foi introduzido no mercado dos suplementos alimentares (nutracêuticos, energéticos, ergogênicos, dietéticos) e cosméticos bebidas não alcoólicas (FIGUEROA, 2016; MICHILES, 2010; SUFRAMA, 2003; ASHIHARA; CROZIER, 2001).

O Brasil é o único produtor comercial de guaraná com 3.726 t/ano com produção comercial nos Estados do Acre, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Bahia, sendo o segundo maior produtor o Amazonas, e o município de Maués o maior produtor do Estado com 51,062% da área plantada. A produção de guaraná teve sua maior safra em 2009 com 4.604 t/ano, com oscilação da produção em 2010 e 2011, e uma queda discreta e gradativa até 2014, e em 2015 a produção voltou a crescer para 3.596 t/ano e a safra de 2016 foi de 3.726 t/ano, incremento de 3,61%, e aumento da área plantada de 35,71% entre 2015 e 2016 (IBGE, 2017a).

O preço pago aos produtores no Amazonas em janeiro de 2017 foi de R\$ 20,00 o quilograma e na Bahia R\$11,67. O valor da produção de foi de mais de 13,6 milhões de reais, sendo só em Maués 6,7 milhões. Isso demonstra a valorização na venda do guaraná do Amazonas, e de Maués. Apesar do Amazonas ser o segundo maior produtor nacional de guaraná, e Maués tem maior valor agregado, pois é o primeiro em valor de produção. Tudo isso fez do guaraná um produto puramente brasileiro (CONAB, 2017; IBGE, 2017b).

As sementes de guaraná são conhecidas pelos efeitos terapêuticos atribuídos às metilxantinas e aos polifenóis, como o efeito estimulante, energéticas, antioxidante, neuroprotetor, ação antiinflamatória e microbiana, efeito antiproliferativo de células cancerígenas, diminuição da mortalidade celular, do dano ao DNA, do LDL, do colesterol total, controle a transcrição dos genes para redução do dano hepático, e distúrbios cognitivos,

proteção contra a toxicidade induzida por mercúrio (SALOMÃO-OLIVEIRA et al., 2018; RUCHEL et al., 2017, 2016; ARANTES et al., 2016; CADONÁ; MACHADO; AZZOLIN, 2016; BITTENCOURT et al., 2013; SCHIMPL et al., 2013; SCHOLEY; HASKELL, 2008; MAJHENIČ; ŠKERGET; KNEZ, 2007; SMITH; ATROCH, 2007).

As metilxantinas teobromina (3,7-dimetilxantina), cafeína (1,3,7-trimetilxantina) e teofilina (1,3-dimetilxantina) são encontradas no guaraná. E este tem os maiores teores de cafeína entre as plantas que acumulam metilxantinas com teores entre 2,3 a 6,2%, teobromina e teofilina encontrados em menores proporções (abaixo de 0,3%) (SCHIMPL et al., 2014). E também consideráveis concentrações de (+)-catequina (2R,3S-3,5,7,3',4'-pentahydroxyflavan) e (-)-epicatequina (2R,3R-3,5,7,3',4'-pentahydroxyflavan), que são compostos bioquímicos também importantes no guaraná, pois à eles são atribuídos efeitos antioxidantes, anticancerígenos e antimicrobianos e a por serem biodisponíveis (YONEKURA et al., 2016; ASOLINI et al., 2006).

As metilxantinas e os compostos fenólicos estão entre os principais compostos do metabolismo secundário e desempenham papéis importantes nas plantas, atuando entre o metabolismo primário e a interação dos organismos com o ambiente, como moduladores da resposta ao estresse abiótico (ASHIHARA et al., 2017). Escobar; Costa; Corrêa (1985) ao avaliar progênies de guaranazeiro de polinização aberta expôs a importância de se conhecer a influência ambiental na expressão do caractere teor de cafeína na semente. É interessante avaliar a presença da interação dos genótipos de guaranazeiro em diferentes ambientes para conhecer o comportamento destes genótipos em função dos metabólitos e do seu acúmulo, e estimar a adaptabilidade e estabilidade para atenuar os efeitos da interação genótipos x ambientes.

Estudos de vários métodos para estimar a adaptabilidade e estabilidade e interação genótipo x ambiente em guaranazeiros vêm sendo realizados em função da produtividade (NASCIMENTO FILHO et al., 2009; NASCIMENTO FILHO et al., 2005; VALOIS; CORRÊA; VASCONCELOS, 1979). As análises genético-estatísticas realizadas por modelos mistos (REML/BLUP) foram utilizadas para o guaraná em função da produtividade em Pinto et al. (2018); Atroch; Nascimento Filho; Resende (2013); Nascimento Filho et al. (2011); Atroch; Resende; Nascimento Filho (2004), mas são inexistentes as pesquisas realizadas em função dos metabólitos de sementes do guaraná voltadas para a seleção de genótipos para o melhoramento genético do guaraná.

No programa de melhoramento genético do guaranazeiro foram realizados estudos em

diferentes locais nos últimos cinco anos, estando os genótipos avaliados experimentando diversas condições ambientais, e o estudo da adaptabilidade e da estabilidade desses materiais genéticos para a tomada de decisão de quais materiais serão recomendados para plantio na região (ATROCH; NASCIMENTO FILHO; RESENDE, 2013).

A seleção de genótipos via metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP) é muito utilizada por ser de fácil interpretação com seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade e vem sendo cada vez mais utilizada nos programas de melhoramento genético de diversas culturas como arroz, eucalipto, cana-de-açúcar, trigo, erva mate, milho, pupunheira, pimenta, algodão, mandioca, seringueira, acerola (STRECK et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2018; VERISSIMO et al., 2018; SZARESKI et al., 2018; WENDLING et al., 2018; OLIVEIRA; ATROCH; DIAS, 2017; RODRIGUES et al., 2017; PIMENTA et al., 2016; CARVALHO et al., 2015; OLIVEIRA; AIDAR; MORGANTE, 2015; VERARDI et al., 2009; PAIVA et al., 2007).

Entre os diversos métodos para o estudo da interação genótipo x ambiente, adaptabilidade e da estabilidade fenotípica que já foram desenvolvidos, o método REML/BLUP é utilizado no programa de melhoramento genético do guaranazeiro desde 2000, auxiliando os melhoristas de plantas no desenvolvimento e no lançamento de novas cultivares (ATROCH; NASCIMENTO FILHO; RESENDE, 2013; ATROCH et al., 2011, 2010; ATROCH; RESENDE; NASCIMENTO FILHO, 2004). O método *Restricted Maximum Likelihood* – REML (Máxima Verossimilhança Restrita ou Residual), estima os componentes de variância. O método *Best Linear Unbiased Predictor* – BLUP (Melhor Preditor Linear Não Viesado) realiza a predição dos valores genotípicos. Os valores genotípicos são considerados aleatórios, e os efeitos dos ambientes considerados fixos ou aleatórios (ATROCH; NASCIMENTO FILHO; RESENDE, 2013; RESENDE, 2004, 2007).

No contexto dos modelos mistos, o método da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos preditos (MHPRVG) proposto por Resende (2004), é baseado em valores genotípicos preditos e permite avaliar simultaneamente a produtividade, a estabilidade e a adaptabilidade, que permite realizar a seleção simultânea no contexto dos modelos mistos sendo os valores genotípicos expressos como proporção da média geral de cada ambiente e o valor médio dessa proporção através dos ambientes. A seleção pelos maiores valores genotípicos da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) seleciona para produtividade e estabilidade, e adaptabilidade o desempenho relativo dos valores genotípicos (PRVG) através dos ambientes

(ATROCH; NASCIMENTO FILHO; RESENDE, 2013; BASTOS et al., 2007; RESENDE, 2006, 2004).

O REML/BLUP tem muitas vantagens, entre elas estão permitir comparação de indivíduos ou variedades através do tempo (anos) e espaço (locais), a estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos, considera os efeitos genotípicos como aleatórios, a correção simultânea para os efeitos ambientais, lida com estruturas complexas de dados (medidas repetidas, diferentes anos, locais), lida com desbalanceamento e com heterogeneidade de variâncias, permite considerar erros correlacionados dentro de locais, pode ser aplicado com qualquer número de ambientes, permite selecionar simultaneamente pelos três atributos, permite computar o ganho genético, fornece valores genéticos já penalizados da instabilidade, gera resultados na própria grandeza ou escala do caráter avaliado, fornece estabilidade e adaptabilidade genotípica e não fenotípica (RESENDE 2006, 2002; BASTOS et al., 2007).

Para a seleção de genótipos o índice de Mulamba-Mock é baseado no somatório de *ranks* e consiste em classificar os genótipos para cada caractere em uma ordem favorável ao melhorista que pode escolher se o índice será para maior ou menor para cada caractere. Com as diferenças nas ordens de cada genótipo é realizada a soma e então resultando no índice de seleção (BIZARI et al., 2017; MULAMBA; MOCK, 1978).

O conhecimento do comportamento de genótipos de guaranazeiro em diferentes ambientes tem a finalidade de auxiliar o programa de melhoramento genético do guaranazeiro na busca de genótipos com maiores concentrações de metilxantinas e fenólicos, associado à produtividade, para auxiliar na seleção de genótipos indicados para utilização futura como matéria prima de qualidade para a indústria de refrigerantes, energéticos, medicamentos e fitoquímicos.

Assim, este estudo teve como objetivo a seleção de genótipos de guaranazeiro por meio da seleção simultânea para produtividade, adaptabilidade e estabilidade de oito genótipos de guaranazeiro em três locais no Estado do Amazonas, em função de caracteres agroindustriais e produtividade de sementes secas no guaraná.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Áreas dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em três (3) locais, campos experimentais da Embrapa Amazônia Ocidental (Tabela 1), nos municípios de Rio Preto da Eva (Campo experimental/DAS-Distrito Agropecuário Suframa - km 54 da Rodovia BR-174), de Manaus (Campo experimental/Manaus, km 29 da Rodovia AM-010), e de Maués (Campo experimental/Maués, Estrada dos Moraes, 3060).

Tabela 1. Detalhamento das coordenadas geográficas e condições edafoclimáticas dos três campos experimentais da Embrapa Amazônia Ocidental (Locais), no Estado do Amazonas, para avaliação dos genótipos de guaranazeiro – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.

Variáveis descritivas	DAS		Manaus		Maués	
Latitude (S)	2°25'54"		02°53'25"		03°23'56"	
Longitude (W)	59°33'49"		59°38'06"		53°40'24"	
Altitude (m)	59		102		35	
Anos	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Temperatura mínima (°C)	24,5	24,9	22,2	22,0	24,6	24,5
Temperatura máxima (°C)	28,9	28,2	37,0	34,3	28,8	28,9
Amplitude térmica (°C)	4,4	3,3	14,8	12,3	4,2	4,4
Temperatura média anual (°C)	26,3	26,4	27,2	26,9	26,2	26,5
Precipitação média mensal (mm)	164,6	191,8	178,3	234,7	158,2	114,4
Precipitação anual (mm)	1974,8	2301,0	2139,2	2815,8	1918,0	1365,0
Clima ¹	Tropical chuvoso tipo Afi					
Tipo de solo	Latossolo amarelo					

Fonte: Dados meteorológicos obtidos nas Estações Agrometeorológicas da Embrapa Amazônia Ocidental Rio Preto da Eva/AM, Manaus/AM e Maués/AM. ¹Classificação de Köppen.

Os solos em todos os três locais do cultivo foram classificados como Latossolo Amarelo, profundos, com teores elevados de alumínio trocável, textura argilosa a muito argilosa, ácidos, com pH variando de 3,5 a 4,7, com baixos teores de cálcio, potássio e fósforo e alta saturação de alumínio. Foram considerados os dados climáticos de pluviosidade e temperaturas máxima, média e mínima, durante dois (2) anos.

Os plantios foram realizados, em 2007, no início da estação chuvosa, de dezembro a março, com estacas de rametes de primeira geração. As adubações e os tratos culturais foram os usuais para a cultura, de acordo com as recomendações do Sistema de Produção de Guaraná da Embrapa (TAVARES et al., 2005), em espaçamento de 5m x 5m. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com oito (8) tratamentos (genótipos), em quatro (4) repetições, de uma (1) planta por parcela (ATROCH; RESENDE; NASCIMENTO FILHO, 2004), em três (3) locais e dois (2) anos (2015 e 2016).

2.2 Genótipos de guaranazeiro

Os genótipos avaliados fazem parte do Banco Ativo de Germoplasma-BAG da Embrapa, e do experimento ME 2007 (BRS-CG372, BRS Maués, CMA498, CIR815, CMA831, CMU874, CIR904 e CMU952). As cultivares BRS Maués e BRS-CG372 de guaranazeiros foram lançados em 1999 e 2000, respectivamente, e recomendados para o Estado do Amazonas. A cv. BRS Maués é tolerante a antracnose e ao superbrotamento (NASCIMENTO FILHO et al., 1999). A cultivar BRS-CG372 é tolerante a antracnose (NASCIMENTO FILHO et al., 2000), e os outros genótipos ainda estão em fase de estudo.

2.3 Produtividade de sementes secas

A produtividade de sementes secas (PROD) foi calculada com base na quantidade de sementes secas, em gramas (g), obtida através da biomassa fresca dos frutos maduros (incluindo a ráquis, o pericarpo e as sementes com arilo), pela conversão de 6:1 para biomassa de sementes secas (SMYTH; CRAVO, 1989). Foram consideradas as produtividades individuais de cada genótipo/planta/local/ano/repetição nas safras de 2015 e 2016, e os resultados expressos em g/planta⁻¹.

As amostras de frutos maduros foram colhidas com coloração amarelo-avermelhada e com abertura da cápsula. As sementes foram retiradas dos frutos e separadas do arilo, e realizada a limpeza em água corrente, e selecionadas as de coloração de marrom escuro a preto. Foram

descartadas as sementes que não estavam com maturação fisiológica ou de maturação incompleta e com injúrias como quebras, podridão, ataques de pragas e rompimento do envoltório seminal (casquilho).

2.4 Preparação das amostras

As amostras das sementes foram acondicionadas separadamente em sacos de papel *kraft*, devidamente identificados, de cada planta e secas em estufa do modelo ETC 45, marca Nova ética e temperatura de 45°C, com circulação forçada de ar até peso constante e umidade 12%, no laboratório de solos da Embrapa Amazônia Ocidental. As amostras foram trituradas separadamente em moedor de café até a formação de um pó fino e armazenadas no Laboratório Ciências e Plantas Daninhas – LCPD da UFAM, departamento de Ciências Agrárias, no campus da UFAM.

2.5 Extração e quantificação de compostos do metabolismo secundário

Para extração e quantificação de compostos do metabolismo secundário (cafeína, teobromina, teofilina, catequina e epicatequina), foi usada a metodologia proposta por Schimpl et al. (2014) modificada. As amostras de cerca de 100 mg de sementes secas de cada unidade amostral foram trituradas, peneiradas e homogeneizadas com 5 mL de metanol a 80% em tubos de vidro com tampa rosqueada e mantidas em banho térmico a 50° C durante 2h, onde foi feita uma agitação a cada 15 minutos com o auxílio de um agitador de tubos *vortex*. Após resfriamento em temperatura ambiente, foi coletado aproximadamente 1,2 mL da solução e colocados em micro tubos tipo *ependorfs*. Os extratos foram centrifugados a 14.000g durante 20 min e 100µL do sobrenadante foi diluído em água ultrapura Milli-Q, na proporção de 1:9 (v/v) e depositados em *vials* para cromatografia.

A quantificação de metilxantinas foi realizada no Laboratório de Purificação de Biomoléculas do Centro de Apoio Interdisciplinar – CAM, da Universidade Federal do Amazonas-UFAM. Com os extratos de cada unidade amostral foram realizadas às análises de

Cromatografia Líquida de Alta Eficiência-CLAE cromatógrafo HPLC com detector de diodo (Shimadzu Inc., Kyoto, Japão) operando em 272nm (para metilxantinas) e 280nm (para fenólicos). A separação foi feita em coluna de fase reversa C18 (25 cm x 4,6 mm, *Allcrom*®) sendo a fase móvel (A) água com ácido acético a 1% e (B) metanol, sob um fluxo de 1,2 mL.min⁻¹. O gradiente utilizado foi de: 0 min 20% B, 13 min 45% B, 23 min 100% B e 30 min 20% B, com base no método de Schimpl et al. (2014) e Machado et al. (2018).

Para quantificação das metilxantinas e polifenóis foram construídas curvas com quantidades conhecidas de soluções com padrões comerciais de cafeína, teobromina, teofilina, catequina e epicatequina (*Sigma-Aldrich*®), a partir da curva foi gerada uma equação linear para calcular as concentrações das metilxantinas e polifenóis nas amostras de guaraná. O tempo de retenção das metilxantinas para a detecção na HPLC é de aproximadamente 5 minutos para teobromina, 7 minutos para teofilina e 9 minutos para cafeína, para os polifenóis catequina e epicatequina, 7,1 minutos e 9,3 minutos. Os teores encontrados para teobromina (TB), cafeína (CF), teofilina (TF), catequina (C), epicatequina (EC) e expressos em percentagem (%).

2.6 Cálculo das produtividades de metabólitos secundários

Foram calculadas as produtividades de teobromina (TBp), de cafeína (CFp), de catequina (Cp), de epicatequina (ECp) pela multiplicação do teor pela produtividade de sementes secas (PROD) de cada unidade amostral (genótipo/planta/local/ano/repetição), dividido por 100 expressas em g.planta⁻¹. Foi estimada a variabilidade genética pela análise de variância ANOVA e teste de médias de Tukey pelo programa SAS, versão 9.2 (SAS, 2008). Com os resultados do teste de médias foi realizada a divisão por classes de valores dos teores médios em sementes secas de frutos maduros, baseadas em oito genótipos de guaranazeiro para os caracteres estudados.

2.7 Análise de variância e Interações

Foi realizada a análise de variância para avaliação de Interação Genótipo x Ambiente, para as fontes de variação Ano (A), Local (L), Genótipo (G) e interações Ano x Local (AxL), Ano x Genótipo (AxG), Local x genótipo (LxG), e Ano x Local x Genótipo (AxLxG), e teste

de médias de Tukey a 5% e 1% de probabilidade pelo programa *Statistical Analysis System* – SAS, versão 9.2 (SAS, 2008).

2.8 Correlações genotípicas e fenotípicas

As correlações genéticas foram obtidas com o auxílio do aplicativo computacional em genética e estatística-GENES versão 2017.3.31 (CRUZ, 2013). As correlações fenotípicas de Pearson foram feitas entre os caracteres com $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$ de probabilidade pelo teste F e de mantel baseado em 5000 simulações com o auxílio do Aplicativo Computacional em Genética e Estatística – GENES/versão 2017.3.31 (RESENDE, 2016; CRUZ, 2016).

2.9 Adaptabilidade e estabilidade

Para os componentes de média (BLUP Individual) foi utilizada a seleção de genótipos em todos os locais e seleção de genótipos por local. O método da Média Harmônica do Desempenho Relativo dos Valores Genéticos Preditos (MHPRVG) proposto por Resende (2004), é baseado em valores genotípicos preditos e permite realizar a seleção simultânea no contexto dos modelos mistos para produtividade, estabilidade e adaptabilidade, sendo os valores genotípicos expressos como proporção da média geral de cada ambiente e o valor médio dessa proporção através dos ambientes. A seleção pelos maiores valores genotípicos da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) seleciona para produtividade e estabilidade, e adaptabilidade simultaneamente. O desempenho relativo dos valores genotípicos (PRVG) através dos ambientes. Na análise da Máxima Verossimilhança Restrita ou Residual (REML) e do Melhor Preditor Linear Não Viesado (BLUP) quanto menor for o desvio-padrão do comportamento genotípico através dos ambientes, maior será a média harmônica de seus valores genotípicos através dos ambientes (ATROCH; NASCIMENTO FILHO; RESENDE, 2013; RESENDE, 2006, 2004).

Para as análises genético-estatísticas, foi utilizado o seguinte modelo estatístico de Resende (2006):

$$y = X_f + Z_g + Q_{gl} + T_{gm} + W_{glm} + S_p + e \quad (2)$$

Em que, y : vetor de dados. f : vetor dos efeitos das combinações repetição-local-medição (assumidos como fixos) somados à média geral. g : vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios). gl : vetor dos efeitos da interação de genótipos com locais (aleatórios). gm : vetor dos efeitos da interação genótipos x medições. glm é o vetor dos efeitos da interação tripla genótipos x locais x medições (assumidos como aleatórios). p : vetor dos efeitos permanentes de parcela dentro de locais (assumidos como aleatórios). e : 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, medição e interação repetição x medição. A seleção conjunta para produtividade, estabilidade e adaptabilidade das progênes baseou-se na estatística denominada Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genéticos (MHPRVG) preditos, conforme descrito por Resende (2007). As análises foram realizadas segundo Resende (2006), via REML/BLUP através do Software de Seleção Genética Computadorizada (Selegen) (2008).

2.10 Índice de seleção de genótipos

Foram selecionados os clones de maiores produtividades agroindustriais simultaneamente utilizando o índice de seleção de Mulamba-Rank (RESENDE, 2002; MULAMBA; MOCK, 1978), baseado no somatório de *ranks*, sendo dada a prioridade do ordenamento para as produtividades em relação aos teores e a ordem de classificação dos valores genéticos referentes às nove variáveis fenotípicas: Maior para (CF, C, EC, PROD, CFp, Cp e ECp) e menor para (TB e TBp). Com as diferenças nas ordens de cada genótipo foi realizada a soma e então resultando no índice de seleção. As análises foram realizadas baseadas em Resende (2006), via REML/BLUP através do Software de Seleção Genética Computadorizada (Selegen) (2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de variância

Entre os metabólitos secundários que determinam a qualidade do guaraná estão as metilxantinas e os compostos fenólicos. Oito genótipos de guaranazeiro foram avaliados quanto aos teores de teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C) e epicatequina (EC) em porcentagem (%), produtividade de sementes secas (PROD) e suas produtividades CFp, Cp e ECp (g.planta^{-1}), em função dos genótipos, ambientes e interações.

Não foi encontrada teofilina em nenhuma amostra, isso pode ser devido a não estar presente em nenhuma amostra, inerentes aos tratamentos, ou os valores serem tão baixos que não foi possível serem quantificados pela metodologia utilizada. Weckerle et al. (2003) também não encontraram teofilina, teobromina e cafeínas nas sementes de *Paullinia pachycarpa*, apesar de ter encontrado teobromina em outras partes da planta. Não se tem conhecimento de alcalóides nas sementes de *Paullinia yoco*, mas foram encontrados teobromina e cafeína nas outras partes da planta, e na *Paullinia cupana* valor semelhante de teobromina, e valor baixo para teofilina (0.007%).

A variável TB teve maior amplitude de variação (0 a 0,0597), sendo que 39,88% dos resultados foram de valor zero (0), 67 observações, com grande dispersão dos dados em torno da média (0,0077) (Tabela 2). Esta variação se reflete no coeficiente de variação muito alto (106,808%), devido ao desvio padrão ser maior que as médias de valores muito próximos à zero.

O resumo da análise de variância para todas os caracteres avaliados no experimento (Tabela 2) mostra que a fonte de variação Ano (A) foi significativa pelo teste F ($p \leq 0,01$) para os caracteres C e Cp e ($p \leq 0,05$) e para PROD, mostrando que estes caracteres são mais sensíveis às mudanças ambientais. Houve diferenças significativas entre os Genótipos (G), para todos os caracteres mostrando a existência de variabilidade para as características estudadas. Para Local (L), foi significativa pelo teste F ($p \leq 0,01$) para todos os caracteres.

Tabela 2. Análise de variância para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) em oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos de avaliação – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.

FV	GL	Quadrados Médios				GL	Quadrados Médios				
		TB	CF	C	EC		PROD	TBp	CFp	Cp	ECp
		(%)	(%)	(%)	(%)		(g.planta ⁻¹)	(g.planta ⁻¹)	(g.planta ⁻¹)	(g.planta ⁻¹)	(g.planta ⁻¹)
Ano (A)	1	0,000007 NS	0,85 NS	6,51**	0,001NS	1	5500591 *	0,0026 NS	10151,2 NS	4397,32 **	701,45 NS
Local (L)	2	0,00036 NS	8,145 **	12,25**	10,065 **	2	3722723*	0,0199 NS	24144,64 **	6534,71 **	6463,02 **
Genótipo (G)	7	0,00386 **	5,165**	0,75**	6,311 **	7	5552164 **	0,0905 **	23048,34 **	1689,31**	3359,41 **
L x A	2	0,00178 **	4,233 **	5,67 **	3,619**	2	2324995 NS	0,1817 **	9234,09 NS	3387,26 **	2274,66 **
G x A	7	0,00149 **	1,202 **	0,62**	0,421NS	7	783804 NS	0,0599 **	1658,49 NS	472,38 NS	289,09 NS
G x L	11	0,00148 *	0,524*	0,35 **	0,817**	11	2830186 **	0,0518 **	8739,68 **	784,65 *	1121,30 **
G x L x A	11	0,00297 **	0,348NS	0,37 **	0,430 *	11	682936 NS	0,0268 NS	1926,50 NS	518,48 NS	310,75 NS
Erro	126	0,00007	0,2839	0,14	0,217	124	1095813	0,1074	3466,91	375,63	447,12
CV (%)		106,808	9,843	27,747	35,781		65,375	125,0330	66,594	82,662	92,649
Média geral		0,0077	5,407	1,355	1,302		1601,233	0,107	88,417	23,446	22,823
Mínimo		0	3,23	0,20	0,09		48,33	0	2,47	0,50	0,32
Máximo		0,060	7,35	3,57	4,22		5130,00	0,9726	269,98	138,68	135,00

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. NS Não significativo.

Para a CF o CV(9,843%) foi mais baixo comparado com os outros caracteres devido ao metabolismo mais estável, com menor variância entre os outros metabólitos, e consequentemente entre as produtividades também (Tabela 2). Nakamura et al. (2009) e Friedrich et al. (2017) ao estudarem o mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) encontraram CV's (%) para CF muito superiores, variando de 50,56% a 71,33% respectivamente.

A PROD teve CV (65,375%) classificado como médio, de acordo com a classificação de coeficiente de variação da cultura do guaranazeiro proposto por Atroch; Nascimento Filho (2005) justificada pela desuniformidade de produção do guaraná e diversas colheitas por safra. do guaraná.

A interação GxLxA foi significativa pelo teste F ($p \leq 0,01$) para os caracteres TB e C, e F ($p \leq 0,05$) para a EC apenas. A não significância para os demais caracteres é devido à pouca influência da fonte de variação Ano. Os maiores QM para CF, C e EC foram para Local e Genótipo. Para C e EC os maiores QM foram na interação LxG para EC e para C a interação GxA e Ano, podendo haver uma estabilidade maior no metabolismo de EC em relação a C (Tabela 2). As diferenças no teor de TB nas interações AxL, AxG LxG e AxLxG são devidas as diferenças entre os materiais genéticos.

Todos os caracteres tiveram interação GxL, sendo que os caracteres PROD, CFp, Cp e ECp tiveram QM da interação GxL superiores que as variâncias da interação GxA, não significativa (Tabela 2). Nestes casos, de acordo com Atroch; Soares; Ramalho (2000) é mais vantajoso testar maior número de locais do que anos. Assim os estudos para as produtividades de metabólitos secundários (CFp, Cp e ECp) podem ser realizados em uma única safra em vários locais, com resultados satisfatórios com menor tempo.

Os caracteres CF, C, EC, CFp, Cp e ECp são altamente influenciadas pelo ambiente (Tabela 2). Em relação à sazonalidade do teor de cafeína no chá, Fujimori; Suzuki; Ashihara (1991) sugeriram que o metabolismo das purinas nas folhas do chá tenha grande flutuação ao longo do ano. E detectaram que a cafeína é sintetizada durante os estágios iniciais de desenvolvimento (abril a junho), a capacidade para a biossíntese de cafeína subiu em julho e agosto e que a taxa de síntese de cafeína parece depender principalmente da atividade das N-metiltransferases, sugerindo que as induções de enzimas parecem fornecer o mecanismo primário para o controle da biossíntese da cafeína nas folhas de chá. Como este estudo foi

realizado no Japão, é possível observar que os períodos que foram detectadas as maiores concentrações de cafeína foram na primavera e verão, quando a temperatura é maior, podendo as atividades das N-metiltransferases serem acionadas nas plantas de chá em altas temperaturas.

3.2 Desdobramento das Interações

O desdobramento das médias da interação Local x Ano (Tabela 3) foi significativa pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$) para todos os caracteres exceto PROD e CFp, não respondendo à interação da mesma forma que respondeu para as fontes de variação individualmente. Para Local (L) as maiores médias em Manaus (Tabela 3), exceto TB e TBp que não variaram no local. Estes caracteres têm baixíssima influência ambiental não sendo necessário avaliar estas fontes de variação A e L nos experimentos para estes caracteres. Para a fonte de variação Ano (A) as médias foram maiores no ano de 2016 para os caracteres C, PROD, Cp.

As maiores médias para Manaus/2015 para os caracteres CF e C, Cp, EC, e ECp em Manaus/2016. Para a CF as médias foram semelhantes para as médias dos locais DAS e Maués, e anos. Em relação à C as menores médias foram no DAS/2015 e Maués/2016, e EC a menor médias foi em Maués/2016, provavelmente devido à baixa precipitação (Figura 1). A Cp teve diferenças nas médias de ano, sendo maior em 2016. Em relação à PROD não houve diferenças nas médias dos locais, mas sim nas médias de ano, sendo maiores no ano de 2016.

Tabela 3. Interação Local x Ano para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (Sp), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), entre oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos ⁽¹⁾ – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. . (Continua)

Local				Média de ano
Ano	DAS	Manaus	Maués	
TB (%)				
2015	0,004 bB	0,008 aA	0,010 aA	0,007 a
2016	0,014 aA	0,005 bB	0,005 bB	0,008 a
Média de local	0,009 A	0,008 A	0,006 A	0,008
CF (%)				
2015	5,20 bB	6,08 aA	5,17 bB	5,44 a
2016	5,32 aA	5,45 bA	5,37 aA	5,38 a
Média de local	5,26 B	5,76 A	5,270 B	5,40

Tabela 3. Interação Local x Ano para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (Sp), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), entre oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos ⁽¹⁾ – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continuação)

Ano	Local			Média de ano
	DAS	Manaus	Maués	
C (%)				
2015	0,85bB	1,56bA	1,15 aB	1,17 b
2016	1,69aB	2,29aA	0,85bC	1,54 a
Média de local	1,269 B	1,924 A	1,004 C	1,355
EC (%)				
2015	1,09aC	1,61aA	1,27aB	1,31 a
2016	1,41aB	1,96aA	0,70bC	1,30 a
Média de local	1,248 B	1,790 A	0,981 C	1,302
PROD (g.planta ⁻¹)				
2015	985,74 bB	1756,67 aA	1507,58 aAB	1421,70 b
2016	1906,80 aA	1687,9 aA	1684,41 aA	1780,70 a
Média de local	1446,30 A	1722,28A	1596,00 A	1601,23
TBp (g.planta ⁻¹)				
2015	0,047 bB	0,118 aA	0,145 aA	0,104 a
2016	0,165 aA	0,061bA	0,097 bA	0,110 a
Média de local	0,106 A	0,090 A	0,121 A	0,107
CFp (g.planta ⁻¹)				
2015	51,30 aB	113,38 aA	81,40 aAB	80,11 a
2016	99,70 aA	97,72 aA	93,39 aA	96,72 a
Média de local	75,50 B	105,55 A	87,40 AB	88,42
Cp (g.planta ⁻¹)				
2015	8,78 bB	28,86 aA	20,16 aA	18,73 b
2016	31,52 aA	43,61 aA	14,11 bB	28,60 a
Média de local	20,15 B	36,24 A	17,14 B	23,45
ECp (g.planta ⁻¹)				
2015	12,65 bB	31,64 aA	20,86 aA	21,08 a
2016	27,38 aA	39,49 aA	11,39 bB	24,57 a
Média de local	20,013 B	35,57 A	16,12 B	22,82

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 1% e a 5% de probabilidade.

O ambiente pode influenciar positivamente ou negativamente genótipos para determinados caracteres. Apesar das condições ambientais dos locais serem muito parecidas por estarem no mesmo Estado, ter o mesmo tipo de solo, e de clima, de acordo com os dados climáticos da Embrapa (Tabela 1). Houve variações na precipitação, temperatura média e maiores na temperatura máxima e amplitude térmica, podendo estes serem os fatores causais das diferenças para as fontes de variação Ano, e Local AxL, para os caracteres CF, C, EC, PROD, CFp, Cp e ECp. As influências da interação AxL para CF, C e EC são referentes às diferenças de temperatura máxima, amplitude térmica e precipitação, que variaram por local e ano (Figura 1).

A temperatura máxima (Figura 1) variou em Manaus em pelo menos 9°C e entre os ambientes em 7,07° se comparar as médias de temperaturas dos outros locais nos anos (2015 e 2016). A precipitação mensal de 114,4 a 234,7mm e precipitação anual em Manaus (2015 e 2016) foram 836mm superiores à Maués e 339,6mm superiores ao DAS. A amplitude térmica em Manaus, foi pelo menos 10° maior que os outros locais. Como as temperaturas mínimas não foram inferiores à 22°C não é possível inferir sobre o efeito das temperaturas mínimas, visto que no guaranazeiro, nestas condições, não houve influências.

A interação GxA, foi significativa pelo teste F ($p \leq 0,01$) para todos os caracteres exceto TB, CF, C e TBp, sendo devido principalmente ao genótipo. Para os caracteres CFp, Cp e ECp não houve diferenças significativas devido à o mesmo resultado para PROD. Este resultado é interessante visto que a Interação GxA é indesejável para o melhoramento de genético de plantas.

O desdobramento das médias da interação Genótipo x Ano variou em alguns caracteres (Tabela 4). Em relação às médias de Genótipo houve diferença significativa para todos os caracteres avaliados, e nas médias de Ano apenas para C, PROD, Cp, com maiores médias no ano de 2016, sendo as maiores diferenças devida aos genótipos.

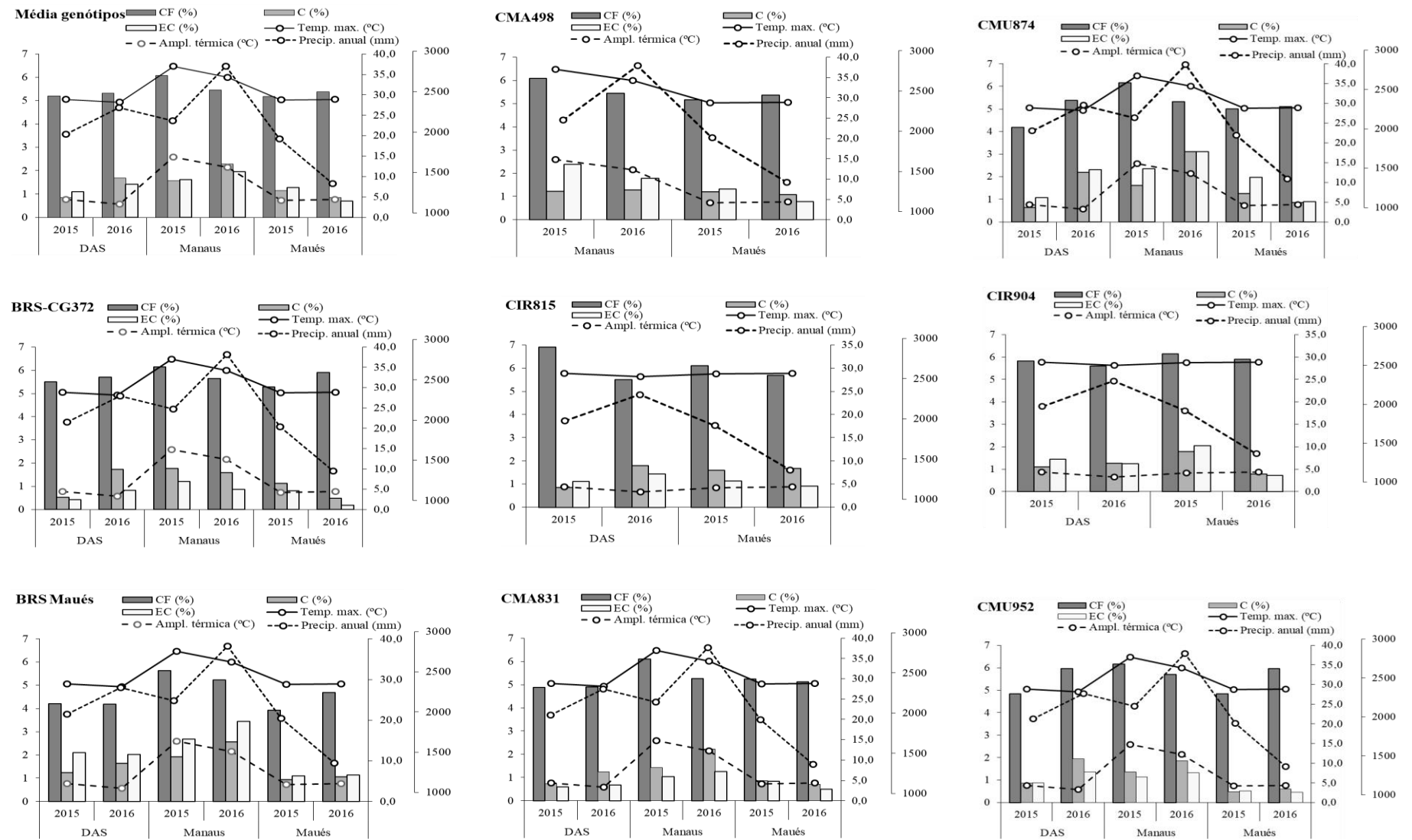


Figura 1. Temperatura máxima (°C), amplitude térmica (°C) precipitação anual (mm), por local e ano, e os caracteres cafeína CF (%), catequina C(%) e epicatequina em oito genótipos de guaranazeiro – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.

Tabela 4. Interação Genótipo X Ano para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) em oito genótipos de guaranazeiro, três locais e dois anos ⁽¹⁾ – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continua)

Genótipos	Ano		Média de genótipos
	2015	2016	
TB (%)			
CMA831	0,014 aA	0,013 abA	0,014 a
BRS-CG372	0,013 aA	0,013 abA	0,013 ab
CMU952	0,004 bcB	0,017 aA	0,010 ab
CMA498	0,008 bA	0,006 bcdA	0,007 abc
CIR815	0,010 abA	0,003 cdB	0,006 abc
BRS Maués	0,004 bcB	0,007 bcdA	0,005 bc
CIR904	0,004 bcA	0,000 dB	0,002 c
CMU874	0,001 cA	0,001 dA	0,001 c
Média de ano	0,007 A	0,008 A	0,008
CF (%)			
CIR815	6,50 aA	5,59 aB	6,05 a
CIR904	5,99 bA	5,76 aA	5,87 ab
BRS-CG372	5,65 deA	5,75 aA	5,70 abc
CMA498	5,71 bcA	5,51 aA	5,61 abc
CMU952	5,17 bcdA	5,56 aA	5,36 bc
CMA831	5,41 bcdA	5,10 abA	5,25 c
CMU874	5,12 cdeA	5,27 abA	5,19 c
BRS Maués	4,58 eA	4,71 bA	4,65 d
Média de ano	5,44 A	5,38 A	5,42
C (%)			
CMU874	1,17 bB	2,05 aA	1,61 a
BRS Maués	1,37 aB	1,75 aA	1,56 ab
CMA498	1,21 abB	1,72 aA	1,47 abc
CIR815	1,22 abB	1,46 abA	1,34 abc
CIR904	1,44 aA	1,03 bA	1,23 bc
CMA831	1,01 bcB	1,43 abA	1,22 bc
BRS-CG372	1,15 bA	1,27 bcA	1,21 bc
CMU952	0,90 cB	1,48abA	1,19 c
Média de ano	1,17 B	1,54 A	1,36

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 1% e a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Interação Genótipo X Ano para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) em oito genótipos de guaranazeiro, três locais e dois anos (1) – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continuação)

Genótipos	Ano		Média de genótipos
	2015	2016	
EC (%)			
BRS Maués	1,96 aA	2,20 aA	2,08 a
CMU874	1,80 abA	2,10 aA	1,95 a
CIR904	1,74 abA	0,99 cdB	1,36 b
CMA498	1,29 bcA	1,28abA	1,29 b
CIR815	1,39 bA	1,18 bcB	1,28 b
CMU952	0,85 cB	1,04 cA	0,95 bc
CMA831	0,78 eA	0,81 dA	0,79 c
BRS-CG372	0,81 dA	0,63 eA	0,72 c
Média de ano	1,31 A	1,30 A	1,30
PROD (g.planta ⁻¹)			
CIR815	1825,42 aB	3351,98 aA	2588,70 a
CIR904	1608,33 aB	2214,36 abA	1911,30 ab
BRS-CG372	1564,44 aB	2024,91 abA	1854,40 ab
CMA498	1893,30 aA	1738,40 bA	1815,90 ab
BRS Maués	1497,99 aB	1813,78 bA	1655,90 ab
CMU874	1242,36 aB	1531,64 bA	1387,00 b
CMU952	1093,27 aA	1155,31 bA	1124,30 b
CMA831	992,99 aA	1002,04 bA	997,50 b
Média de ano	1421,70 B	1780,70 A	1601,23
TBp (g.planta ⁻¹)			
BRS-CG372	0,136 aB	0,299 aA	0,230 a
CIR815	0,218aA	0,050 bcB	0,134 ab
CMA831	0,123 aA	0,133 bA	0,128 ab
CMU952	0,102 aA	0,147 bA	0,124 ab
CMA498	0,135 aA	0,092 bcA	0,114 ab
BRS Maués	0,069 aA	0,084 bcA	0,077 b
CIR904	0,096aA	0,000 dB	0,048 b
CMU874	0,008 bA	0,003 bA	0,006 b
Média de ano	0,104 A	0,110 A	0,107

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 1% e a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Interação Genótipo X Ano para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) em oito genótipos de guaranazeiro, três locais e dois anos (1) – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continuação)

Genótipos	Ano		Média de genótipos
	2015	2016	
CFp (g.planta ⁻¹)			
CIR815	118,59 aA	186,37 aA	152,48 a
CIR904	97,46 aB	125,33 abA	111,40 ab
BRS-CG372	86,43 aA	119,00 abA	105,78 abc
CMA498	109,98 aA	96,91 bA	103,45 abc
BRS Maués	70,58 aA	84,06 bA	77,32 bc
CMU874	67,31 aA	82,92 bA	75,11 bc
CMU952	63,97 aA	64,47 bA	64,22 bc
CMA831	55,26 aA	50,85 bA	53,06 c
Média de ano	80,11 A	96,72 A	88,42
Cp (g.planta ⁻¹)			
CIR815	22,04 aB	48,07 aA	35,06 a
CMA498	24,04 aB	32,70 abA	28,37 ab
BRS Maués	23,05 aB	32,88 abA	27,97 ab
CMU874	17,04 bB	38,95 a A	27,99 ab
CIR904	24,78 aA	24,28 bA	24,53 ab
BRS-CG372	21,37 abA	23,56 bcA	22,69 ab
CMU952	12,31 cA	16,41 cA	14,36 b
CMA831	10,49 cA	14,35 cA	12,42 b
Média de ano	18,73 B	28,60 A	23,45
ECp (g.planta ⁻¹)			
BRS Maués	34,64aA	41,58aA	38,11 a
CMU874	26,08aB	39,95aA	33,017 a
CIR815	23,70aB	38,92aA	31,31 ab
CIR904	29,48aA	23,78abA	26,63 abc
CMA498	25,65aA	24,02abA	24,83 abc
BRS-CG372	15,27abA	11,56bA	13,52 cd
CMU952	10,56bA	11,87bA	11,21 bc
CMA831	7,96cA	7,94cA	7,95 c
Média de ano	21,08 A	24,57 A	22,82

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 1% e a 5% de probabilidade.

Em relação aos genótipos (Tabela 4), as maiores médias para TB foram encontradas no CMA831, seguido por BRS-CG372 e CMU952; para os caracteres CF e CFp, nos genótipos CIR815, CIR904, BRS-CG372 e CMA498; para C, EC e ECp nos genótipos BRS Maués e CMU874; para Cp o genótipo CIR815, seguido por CMA498, CMU874, BRS Maués, BRS-CG372 e CIR 904.

Os genótipos com maiores médias para CF e CFp foram CIR815 CIR904, sendo que para CF apenas o CIR815 mostrou diferença entre anos, sendo maior em 2015, e para CFp apenas o CIR904 diferiu entre anos maior em no ano de 2016. Para a PROD o genótipo CIR815 se destacou com a maior produtividade e foi seguido pelos genótipos (CIR904, BRS-CG372, CMA498, BRS Maués) no ano de 2016. Para C, EC e ECp foram o CMU874 e BRS Maués, sendo que para C, Cp e ECp as médias foram maiores no ano de 2016. E para a Cp os genótipos CIR815, genótipos foram CIR815, CMU874, BRS Maués e CMA498 no ano de 2016.

O desdobramento das médias para a interação Genótipo x Local para todos os caracteres é mostrada na Tabela 5. Entre os locais, as condições mais favoráveis para o guaranazeiro ocorrem em Manaus sendo os valores superiores às médias gerais para CF (5,76%), C (29,57%), EC (27,26%), CFp (16,23%), Cp (36,24%) e ECp (35,83%), com as maiores médias de CF, C, EC, para a maioria dos genótipos. Este foi também o local com as maiores temperaturas médias, máximas e amplitude térmica, que associadas à uma boa disponibilidade de água (precipitação média anual) nos anos 2015 e 2016, conferiu a este ambiente uma das melhores produtividades para a maioria dos genótipos para CFp, Cp e ECp, exceto BRS-CG372.

Tabela 5. Interação Genótipo x local para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), entre oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos ⁽¹⁾ – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continua)

Genótipo	Local			Média de genótipo
	DAS	Manaus	Maués	
TB (%)				
CMA831	0,013 aA	0,015 aA	0,013 aA	0,014 a
BRS-CG372	0,015 aA	0,010 aA	0,015 aA	0,013 ab
CMU952	0,019 aA	0,001 abA	0,003 aA	0,010 ab
CMA498	-	0,003 abA	0,011 aA	0,007 abc
CIR815	0,008 abA	-	0,005 aA	0,006 abc
BRS Maués	0,008 abA	0,001 abA	0,008 aA	0,005 bc
CIR904	0,000 bA	-	0,004 aA	0,002 c
CMU874	0,000 bA	0,000 bA	0,003 aA	0,001 c
Média de local	0,009 A	0,006 A	0,008 A	0,008
CF (%)				
CIR815	6,201 aA	-	5,897 aAB	6,05 a
CIR904	5,728 abAB	-	6,021 aA	5,87 ab
BRS-CG372	5,608 cdAB	5,891 aA	5,595 abAB	5,70 abc
CMA498	-	5,852 aA	5,365 abAB	5,61 abc
CMU952	5,409 bcAB	5,942 aA	4,738 bcB	5,36 bc
CMA831	4,894 bcB	5,686 aA	5,180 abB	5,25 c
CMU874	4,784 cdB	5,745 aA	5,053 bcB	5,19 c
BRS Maués	4,195 dB	5,443 aA	4,310 cB	4,65 d
Média de local	5,26 B	5,76 A	5,27 B	5,40
C (%)				
CMU874	1,410 bA	2,363 aA	1,051 bB	1,61 a
BRS Maués	1,445 bA	2,245 aA	0,993 cB	1,56 ab
CIR815	1,331 aA	-	1,355 aA	1,34 abc
CMA498	-	1,798 aA	1,133 bB	1,47 abc
CIR904	1,179 bA	-	1,290 aA	1,23 bc
CMA831	0,984 cB	1,820 aA	0,856 cB	1,22 bc
BRS-CG372	1,129 bAB	1,694 aA	0,806 cB	1,21 bc
CMU952	1,405 bB	1,623 aA	0,549 dC	1,19 c
Média de local	1,27 B	1,92 A	1,00 C	1,36

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 1% e a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Interação Genótipo x local para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), entre oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos (1) – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continuação)

Genótipo	Local			Média de genótipo
	DAS	Manaus	Maués	
EC (%)				
BRS Maués	2,056 aA	3,066aA	1,118 aB	2,08 a
CMU874	1,691 aAB	2,736aA	1,431 aB	1,95 a
CIR904	1,343 aA	-	1,385 aA	1,36 b
CMA498	-	1,526aA	1,050 aB	1,29 b
CIR815	1,274 aA	-	1,293 aA	1,28 b
CMU952	1,118 aB	1,231aA	0,488 bC	0,95 bc
CMA831	0,633 bB	1,142aA	0,603 bB	0,79 c
BRS-CG372	0,625 bB	1,041aA	0,489 bC	0,72 c
Média de local	1,25 B	1,79 A	0,98 C	1,30
PROD (g.planta ⁻¹)				
CIR815	2334,17 aA	-	2843,22 aA	2588,7 a
CIR904	1700,31 abA	-	2122,37 abcA	1911,3 ab
BRS-CG372	1519,43 abA	1137,20 aB	2727,40 abA	1854,4 ab
CMA498	-	2199,44 aA	1432,29 abcA	1815,9 ab
BRS Maués	2101,35 aA	1755,98 aA	1110,31 bcA	1655,9 ab
CMU874	839,68 bB	2430,17 aA	891,15 cB	1387,0 b
CMU952	551,98 bB	1905,75 aA	915,13 cB	1124,3 b
CMA831	1076,98 abA	1189,48 aA	726,08 cB	997,5 b
Média de local	1446,30 A	1797,20 A	1596,00 A	1601,23
TBp (g.planta ⁻¹)				
BRS-CG372	0,198 aA	0,078 bA	0,378 aA	0,230 a
CIR815	0,135 aA	-	0,132 aA	0,134 ab
CMA831	0,147 aA	0,156 aA	0,081 bB	0,128 ab
CMU952	0,129 aA	0,020 bB	0,041 bB	0,124 ab
CMA498	-	0,048 bB	0,180 aA	0,114 ab
BRS Maués	0,132 aA	0,044 bB	0,054 bB	0,077 b
CIR904	0,000 bB	-	0,095 aA	0,048 b
CMU874	0,000 bA	0,008 cA	0,009 cA	0,006 b
Média de local	0,106 A	0,090 A	0,121 A	0,107

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 1% e a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Interação Genótipo x local para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), entre oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos (1) – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continuação)

Genótipo	Local			Média de genótipo
	DAS	Manaus	Maués	
CFp (g.planta ⁻¹)				
CIR815	137,75 aA	-	167,21 aA	152,48 a
CIR904	95,03 abB	-	127,76 aA	111,40 ab
BRS-CG372	86,23 abAB	69,07 bB	152,85 aA	105,78 abc
CMA498	-	131,11 aA	75,79 abAB	103,45 abc
BRS Maués	87,29 abAB	95,22 abA	49,45 abB	77,32 bc
CMU874	39,47 bB	142,40 aA	43,47 abB	75,11 bc
CMU952	30,12 bB	117,68 aA	44,85 abB	64,22 bc
CMA831	52,66 bA	68,73 bA	37,79 bA	53,06 c
Média de local	75,50 B	105,55 A	87,40 AB	88,42
Cp (g.planta ⁻¹)				
CIR815	35,54 aA	-	34,57 aA	35,06 a
CMA498	-	39,87 aA	16,87 bB	28,37 ab
CMU874	13,12 bB	60,34 aA	10,53 bB	27,99 ab
BRS Maués	30,05 aA	42,49 aA	11,35 bB	27,97 ab
BRS-CG372	22,32 abA	19,99 bA	25,08 aA	22,69 ab
CIR904	21,27 abB	-	27,79 aA	24,53 ab
CMU952	8,26 bB	29,98 abA	4,84 cB	14,36 b
CMA831	10,48 bB	20,70 bA	6,08 cB	12,42 b
Média de local	20,15 B	36,24 A	17,14 B	23,45
ECp (g.planta ⁻¹)				
BRS Maués	42,38 aA	59,08 aA	12,88 bcB	38,11 a
CMU874	17,56 bB	67,12 aA	14,38 bC	33,02 ab
CIR815	32,09 aA	-	30,53 aA	31,31 abc
CIR904	23,01 bA	-	30,25 aA	26,63 abcd
CMA498	-	33,52 aA	16,15 bB	24,83 abcd
BRS-CG372	11,68 cB	12,27 bB	16,29 bA	13,52 bcd
CMU952	6,53 dBC	22,81 aA	4,30 dC	11,21 cd
CMA831	6,85 dBC	12,77 bA	4,23 dC	7,95 d
Média de local	20,10 B	35,57 A	16,12 C	22,82

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 1% e a 5% de probabilidade.

Os genótipos que tiveram as maiores médias para TB foram o CMA831 e BRS-CG372, sendo que este último teve maior concentração de TBp no DAS e Maués, devido a PROD ter sido maior nestes ambientes. As maiores médias para C, EC, Cp e ECp foram em Manaus dos genótipos BRS Maués e CMU874 que mostram que há influência ambiental nos teores de catequinas e epicatequina, bem como nas suas produtividades. Os valores encontrados são superiores aos encontrados em Silva et al. (2017), cujos maiores valores, de guaraná cultivado no Estado da Bahia, foram em torno de 1,5% para catequina e de 1,1% para epicatequina.

As médias de CF em Manaus são muito próximas para todos os genótipos, e elevam a média do local, sendo que o CIR815 teve maior valor de CF no DAS e o CIR904 o com maior valor para CF em Maués, e CFp do CIR815 e CIR904 em Maués, para CFp, Manaus foi o melhor local para os CMA831, CMU874 e CMU952, e Maués para a BRS-CG372.

Manaus foi o melhor local para CF nos BRS-CG372, BRS Maués, CMA498, CMA831, CMU874. E Maués para a BRS-CG372 e o CIR904. O DAS para CIR815. E para os caracteres C, EC e Cp Manaus foi o melhor local para CMA498, CMA831, CMU874 e CMU952, além do BRS-CG372 e BRS Maués para C e EC, e BRS Maués para ECp.

Em relação à PROD não houve diferença entre Local, apesar os genótipos CIR815, CIR904 e CMA498 não estarem presentes em todos os locais, pois nos que estavam presentes foram superiores e não diferiram, mas com médias de PROD muito próximas para todos os genótipos, elevando a média local (Manaus) (Tabela 5).

Nascimento Filho et al. (2009) ao estudarem a adaptabilidade e a estabilidade de clones de guaraná observaram a superioridade do CMU871 (BRS Maués) entre os clones com ampla adaptabilidade e elevada estabilidade fenotípica.

Foi observado que houve diferenças entre os genótipos, sendo o DAS o melhor local para PROD para a BRS Maués (Tabela 5), Manaus para os genótipos os CMA498, CMA831, CMU874 e CMU952. E o local Maués para BRS-CG372, CIR815 e CIR904.

A produtividade de grãos/sementes é a característica mais importante de um programa de melhoramento genético (CARGNIN et al., 2004) e é governada por vários genes, de pequeno efeito sobre o fenótipo, e forte influência do ambiente na expressão da característica. Sugere-se que teor de CF, C e EC nas sementes de guaraná dependa de vários genes pois são variáveis quantitativas contínuas, visto que o acúmulo dos metabólitos, dependem de toda a rota biossintética com regulação de substratos, precursores, intermediários e enzimas.

Os caracteres CFp, Cp, ECp são derivadas da PROD e dos teores respectivamente, e são os melhores para a determinar a resposta dos genótipos aos ambientes por serem mais precisos, pois a formação deste parâmetro depende da PROD e dos respectivos teores (CF, C e EC), e todos sofrem influencias ambientais e respostas dependentes também do genótipo. Nas produtividades é possível perceber as diferenças inerentes a interação GxE, não tão perceptíveis aos caracteres isoladas, sendo um parâmetro de maior precisão. Estratégias de manejo para aumentar a produtividade (PROD) podem levar à um aumento nas CFp, Cp e CQp.

Os caracteres PROD, CFp, Cp e ECp podem ser utilizados para avaliar se o genótipo é responsivo à melhoria do ambiente. As produtividades de metilxantinas e fenólicos utilizadas, podem ser calculadas para outros compostos para comparação entre genótipos, espécies acumuladoras. Mesmo com a interação GxL da maioria dos genótipos para os caracteres estudadas é possível ter sucesso na seleção, estando de acordo com Nascimento Filho et al. (2011) para produtividade de sementes com alta variabilidade pelos efeitos significativos de genótipos.

Os resultados para EC (Tabela 5) são superiores aos encontrados em Machado et al. (2018) para todas os caracteres estudados, e em Silva et al. (2017), cujos maiores valores para epicatequina de guaraná cultivado no Estado da Bahia foram em torno 1,1% para epicatequina, e próximos para catequina em torno de (1,5%), sendo estes valores das amostras do Sul da Bahia com a precipitação média anual reportada em torno 1.946 mm.

É interessante que sejam realizados estudos de teores de fenólicos e metilxantinas entre genótipos em diferentes ambientes do Amazonas e Bahia, visto que os teores de fenólicos de guaraná cultivado nestes ambientes não foram estudados de forma comparativa entre genótipos e locais em Silva et al. (2017), pois as amostras do Amazonas foram de lotes comerciais que podem ter sido produzidos em outras regiões do Estado do Amazonas com outras caracterizações climáticas, e misturas de variedades, além da misturas de amostras de plantas produzidas por sementes, como é o caso de muitos produtores rurais.

Outros fatores podem influenciar os teores de metabólitos secundários como a catequina e epicatequina. Elwers et al. (2009) observaram a diminuição rápida dos fenólicos, como a catequina e epicatequina durante a fermentação de sementes de cacau, levando à existência de diferenças específicas de tipo em compostos fenólicos dentro de sementes de cacau não fermentadas. Isto que pode ter levado ao menor teor de catequina e epicatequina no guaraná de amostra comercial do Amazonas, pois a prática de fermentação é realizada por alguns

produtores. Não se tem estudos dessas variações no guaraná, sendo também uma proposta de investigação científica.

As maiores influencias na CF são maiores no Genótipo e no Local, a interação LxG é bem menor devido aos genótipos com maior estabilidade, que não variam o comportamento de um local para o outro. Carrillo; Londoño-Londoño; Gil (2014) encontraram efeito significativo no teor de fenólicos em cacau de diferentes regiões. Assim como Othman et al. (2007) ao estudarem o conteúdo dos compostos de polifenol no cacau, sendo altamente correlacionado com sua atividade antioxidante, em regiões produtoras de diferentes países.

A maioria dos genótipos responderam bem ao aumento da temperatura (figura 1), pelos teores de CF e PROD, podendo ser observada na média dos genótipos, exceto BRS-CG372. Enquanto que o CMA831 não respondeu bem ao aumento da precipitação (Manaus/20160, sendo um fator limitante. BRS Maués teve maior PROD no DAS onde houve menor amplitude térmica (Tabela 1).

Os genótipos BRS Maués e CMU874 responderam bem a amplitude térmica em Manaus/2016 associada a alta precipitação anual, podendo esta resposta estar relacionada aos mecanismos de defesa às doenças (ASHIHARA et al., 2017). Plantas transgênicas para produção de cafeína expressaram genes relacionados à defesa da planta, sendo que a cafeína atuava como sinalizadora na ativação desse sistema (SANO; KIM; CHOI, 2013; KIM; SANO, 2008). E este sistema de ativação inicia a expressão gênica, preparando a planta para lidar com diferentes estresses abióticos (ASHIHARA et al., 2017).

O BRS-CG372 teve comportamento inverso aos outros genótipos em Manaus (2015/2016) porque parece não se aclimatar bem em altas temperatura associadas a maiores precipitações, por mecanismos de defesa, pois o contrário ocorreu em Maués (2015/2016), com e menor temperatura, precipitação e amplitude térmica, sendo este local o mais indicado para este genótipo.

O aumento do conteúdo de CF nos genótipos de guaraná foi constatado em locais com maiores temperaturas médias anuais. Schubert et al. (2006) e Coelho (2002) observaram os maiores teores de cafeína em folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) colhidas no verão quando as temperaturas são mais altas e os menores teores no inverno quando as temperaturas são mais baixas. Lee et al. (2010) ao estudarem plantas de *Camellia sinensis* cultivadas em ambiente com alta temperatura, tempo de exposição solar, e precipitação tinham maiores conteúdos de cafeína.

Em Okol et al. (2012) os teores de cafeína em três espécies de *Cola* foram em *Cola accuminata* (4,7%), *Cola garcina* (0,6%) e *Cola nitida* (2,4%) na Nigéria, e segundo o autor estas diferenças são reguladas por vários fatores ambientais, climáticos, tipo de solo e fatores até genéticos. Para Schubert et al. (2006) a temperatura e intensidade de luz podem influenciar nos teores de metilxantinas no mate, além de outros fatores.

Enquanto que CIR815 e CIR904 parecem ser mais estáveis aos fatores ambientais. O CIR815 manteve os teores médios muito próximos, sendo mais próximos os teores de catequinas. Podem ser indicados para os locais avaliados, pelo ótimo desempenho. O CMU874 é considerado tardio com a produção de frutos se estendendo até o mês de janeiro, meses de alta precipitação. Estes maiores teores de fenólicos podem estar relacionados à maior adaptação ambiental do genótipo ao período chuvoso, na Amazônia, juntamente com a BRS Maués.

A CF, C e EC sofrem variação genética e variação ambientais, sendo o fenótipo o resultado de suas variações e interações. Esta variação genética e do ambiente é de maneira diferenciada para CF, C e EC, sendo que todas tiveram maior variação no L do que G. A CF no guaraná é influenciada diretamente pelo genótipo e pela temperatura (Figura1), sendo que o teor, em média, varia proporcionalmente à temperatura. E os teores de C e EC são influenciados diretamente pela precipitação variando, em média, proporcionalmente à precipitação. Os genótipos que tiveram as maiores médias para CF nos CIR815 e CIR904, sendo que no DAS os teores foram maiores que em Maués para o CIR815 e o contrário para CIR904. E para C e EC a BRS Maués e CMU874, em Manaus.

Foram verificadas variação química no conteúdo de fenólicos e de metilxantinas em amostras comerciais de guaraná provenientes da Amazonas e de guaraná cultivado na Bahia, com base no local de cultivo em Silva et al. (2017) e Silva et al. (2016). Wang et al. (2011) também constataram o aumento do conteúdo de catequina em plantas de chá após um longo período de chuva. Lee et al., 2010 mostraram que a precipitação é um importante fator climático para a síntese de flavonóis na produção de chá, e que a alta temperatura, a exposição prolongada ao sol e a alta precipitação, associadas, estimulam a síntese de teanina no chá verde durante a primavera.

Os teores de CF são diferentes entre os genótipos nos locais devido à variabilidade genética e a capacidade de defesa de cada genótipo em relação à ativação do sistema de defesa e expressão gênica. Akula; Ravishankar, (2011) avaliaram a influência de sinais de estresse

abióticos em metabólitos secundários em plantas e mostraram que as variações de temperatura influenciam o crescimento das plantas e a produção de metabólitos secundários.

O aumento dos fenólicos em locais com a maior precipitação anual em com maiores médias na maioria dos genótipos de guaraná para catequina e epicatequina demonstra que a precipitação influencia na biossíntese deste fenólicos. Os CMU874, BRS Maués e CMA498 tiveram maiores teores de epicatequina do que catequina, sendo que na média dos genótipos os valores foram semelhantes. Resultados semelhantes foram encontrados por Wei et al. (2011) ao estudar chá (*Camellia sinensis*) encontraram maiores variações do conteúdo de C entre os locais que entre as cultivares.

3.3 Correlações genotípica e fenotípica entre caracteres

Foram observadas 36 correlações genotípicas (Tabela 6) sendo cinco consideradas muito fortes, 16 fortes e 15 moderadas. O conteúdo de teobromina possui correlação negativa em relação a todos os caracteres observados em sementes maduras, com exceção de TBp, sendo que as maiores correlações foram com ECp (0-0,88), EC (-0,87), C (-0,88) e Cp (-0,65). Apesar de serem compostos do metabolismo secundário, as vias de biossíntese dos compostos fenólicos (C e EC) e de alcaloides, derivam de compostos diferentes, não havendo uma regulação direta entre a produção de um com a degradação do outro.

Tabela 6. Correlação genética entre nove caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) avaliadas em oito genótipos de guaranazeiro, – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.

Caracteres	TB	CF	C	EC	PROD	TBp	CFp	Cp	ECp
TB	1	-0,15	-0,84	-0,87	-0,43	0,67	-0,30	-0,65	-0,88
CF	–	1	0,03	0,25	0,67	0,50	0,81	0,45	0,06
C	–	–	1	0,94	0,53	-0,55	0,43	0,83	0,97
EC	–	–	–	1	0,30	-0,65	0,18	0,65	0,93
PROD	–	–	–	–	1	0,28	0,98	0,90	0,64
TBp	–	–	–	–	–	1	0,35	-0,06	-0,43
CFp	–	–	–	–	–	–	1	0,85	0,52
Cp	–	–	–	–	–	–	–	1	0,88
ECp	–	–	–	–	–	–	–	–	1

TB (%), CF (%), C (%), EC (%), PROD (g.planta⁻¹), TBp (g.planta⁻¹), CFp (g.planta⁻¹), Cp (g.planta⁻¹), ECp (g.planta⁻¹).

*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Os teores de catequinas e metilxantinas já foram investigados em outras espécies em função de vários caracteres e fatores, como espécie, tecidos, estádios de desenvolvimento, temperatura, luz, nutrientes, entre outros, no entanto ainda não se conhece totalmente os mecanismos que regulam o acúmulo desses compostos (LI et al., 2016; SILVA et al., 2016; POMPELLI et al., 2013; SONG et al., 2012; IZQUIERDO et al., 2011).

A variável PROD tem correlação genotípica (Tabela 6) positiva muito forte com os caracteres CFp e Cp, e correlação moderada com ECp, CF, e correlação negativa moderada com a TB. A correlação entre PROD e CFp foi a maior encontrada sendo considerada muito forte (0,98) e sendo a correlação entre PROD e Cp também forte, assim plantas mais produtivas têm maiores teores de CFp e Cp, como CIR815 e CIR904.

O valor de correlação entre C e EC foi considerado muito forte podendo ser devido provavelmente devido à pleiotropia, e assim a planta com alto teor de C provavelmente terá alto teor de EC, BRS Maués e CMU874. Os genótipos BRS-CG372 e CMU952 tiveram os menores valores de C e EC, e CMA831 para EC apenas. Algumas plantas do BRS Maués e CMU874 tiveram valores de C (65%) e EC (86%) do valor de CF, e na soma até 1,59 vezes o teor de CF, e Cp e ECp superiores à 100g.planta⁻¹.

Com base no que se conhece da via biosintética de catequinas em chá, a enzima leucocianidina redutase realiza tanto a conversão da leucocianidina em catequina, como da catequina em epicatequina, ou seja, qualquer regulação ao nível molecular ou bioquímico dessa enzima, afetará diretamente catequina e epicatequina, o que muito provavelmente também acontece no guaraná, por isso foi identificada a forte correlação entre esses compostos (ZHANG et al., 2016).

Em relação à correlação fenotípica (Tabela 7) houve correlação negativa de teobromina em relação aos fenólicos (catequina e epicatequina) e suas produtividades, e fraca correlação positiva com CF e CFp. Por outro lado, Nakamura et al. (2009) detectaram correlação negativa teobromina e cafeína (-0,58) teobromina inversamente proporcional à cafeína em planta de mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil), assim como Cardozo Junior et al. (2010), com correlação negativa entre cafeína e teobromina (-0,84) em progênies de erva-mate. Esta diferença entre as correlações fenotípicas de TB e CF entre as espécies de guaraná e erva-mate são mais uma evidência de diferenças no metabolismo de metilxantinas entre essas espécies.

Tabela 7. Correlação fenotípica entre nove caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp) avaliadas em oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.

Caracteres	TB	CF	C	EC	PROD	TBp	CFp	Cp	ECp
TB	1	0,2082	-0,3897	-0,5318 ⁺⁺	0,1061	0,7879*	0,1244	-0,1434	-0,4255
CF		1	-0,5064	0,5099	0,6309 ⁺	0,3266	0,7666*	0,2628	-0,1795
C			1	0,8858**	0,0861	-0,5986	-0,0389	0,6037 ⁺	0,8020*
EC				1	0,1281	-0,7745*	-0,0091	0,5836	0,9126**
PROD					1	0,1689	0,9809**	0,8414**	0,5213
TBp						1	0,2087	-0,2239	-0,6003
CFp							1	0,7693*	0,3950
Cp								1	0,8490**
ECp									1

TB (%), CF (%), C (%), EC (%), PROD (g.planta⁻¹), TBp (g.planta⁻¹), CFp (g.planta⁻¹), Cp (g.planta⁻¹), ECp (g.planta⁻¹).

**Significativo a 1% e * significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

⁺⁺Significativo a 1% e ⁺ significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Mantel baseado em 5000 simulações.

Os genótipos mais produtivos apresentaram maiores teores de CF, devido à correlação moderada entre CF e PROD, e a PROD influencia diretamente na CFp, assim como na ECp e Cp. Enquanto que a TBp tem maior correlação positiva com a TB, não dependendo tanto da produtividade. No guaraná os teores de C e EC tem forte correlação fenotípica positiva, e correlação negativa com a TB.

Schimpl et al. (2014) obtiveram a cafeína sintase recombinante (PcCS) do guaraná e mostraram que o guaranazeiro apresenta características peculiares no controle da biossíntese da cafeína e sugeriram que os genes que codificam as metiltransferase da cafeína no guaraná formam uma grande família. E Ashihara et al. (2017) mostraram que a biossíntese de CF e de TB é regulada principalmente pela expressão gênica e síntese de enzimas, à semelhança da biossíntese de outros metabólitos secundários. E que as alterações nas taxas de expressão de genes ao nível de transcrição, a quantidade e atividade de enzimas chave da biossíntese, e acumulação de CF têm sido associadas as alterações fisiológicas, inclusive no guaraná.

O uso de parâmetros de produtividade é viável pois observamos forte correlação entre PROD e CFp e moderada correlação entre CF e PROD, mostrando que o teor de cafeína influencia em parte na produtividade, assim como a catequina e epicatequina. As outras correlações altas se devem ao fato de os valores serem derivados da produtividade, como PROD e CFp > PROD e Cp >. A ECp teve maior correlação com EC do que PROD. Outras correlações

fortes entre TBp e TB > CFp e CF > Cp e C. Nas outras correlações houve ausência da relação entre os caracteres.

As correlações negativas EC e TBp, e EC e TB (Tabela 7) mostram que apesar de não haver uma relação bioquímica direta, as respostas fisiológicas ao aumento da precipitação e elevação do teor de EC, o teor de TB pode diminuir pela aceleração do metabolismo da planta pelo aumento da disponibilidade de água e nutrientes, e a maior necessidade de sintetizar e acumular estas substâncias como forma de proteção para as plantas à fatores como a resistências às doenças.

Os maiores teores de compostos do metabolismo secundário estão relacionados principalmente a respostas aos estresses abióticos. Ashihara et al. (2017) sugere que a cafeína age no mecanismo de defesa das plantas de duas formas a “teoria da defesa química” e a “teoria da função alelopática”, mas ainda não é determinada a sua função ecológica. De acordo com Aneja; Gianfagna (2001); Fujimori et al. (1991); Frischknecht et al. (1986) a cafeína tem a função de proteger os tecidos moles e jovens, com o efeito tóxico para patógenos e herbívoros.

3.4 Seleção de genótipos

Na seleção de genótipos em todos os locais foi possível observar que para o CF, PROD e CFp os maiores ganhos (%) foram para CIR815, CIR904, BRS-CG372 e CMA498 (Tabela 8). Para C, EC, Cp e ECp os maiores ganhos foram para BRS Maués, CMU874, CIR815 e CIR904. Curiosamente na variável Cp os maiores ganhos foram para CIR815 e CIR904, principalmente devido à forte correlação com PROD.

Na seleção de genótipos por local houve algumas diferenças em relação à seleção em todos os locais como o melhor desempenho neste ambiente da BRS-CG372 na PROD, que levou à ser o 2º maior ganho em Maués, se refletindo na CFp e Cp (Tabela 9 e 10). Os maiores ganhos para a PROD no DAS foram para os genótipos CIR815, BRS Maués e CIR904, em Manaus para CMU874, BRS-CG372 E CMU952 e em Maués para CIR815, BRS-CG372 e CIR904.

Tabela 8. Estimativas dos componentes de média (BLUP individual) para seleção de genótipos para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continua)

Ordem	Genótipo	g	$\mu+g$	Ganho (%)	Nova média	$\mu+g+gem$
TB (%)						
1	BRS-CG372	0,0004	0,0130	0,0004	0,0130	0,0131
2	CMU952	0,0002	0,0128	0,0003	0,0129	0,0129
3	CMA831	0,0002	0,0128	0,0003	0,0129	0,0128
4	CMA498	0,0000	0,0126	0,0002	0,0128	0,0126
5	CMU874	-0,0001	0,0126	0,0001	0,0127	0,0125
6	CIR904	-0,0001	0,0125	0,0001	0,0127	0,0125
7	CIR815	-0,0002	0,0124	0,0001	0,0127	0,0124
8	BRS Maués	-0,0004	0,0122	0,0000	0,0126	0,0121
CF (%)						
1	CIR815	0,57	6,06	0,5660	6,06	6,08
2	CIR904	0,44	5,94	0,50	6,00	5,95
3	BRS-CG372	0,15	5,65	0,39	5,88	5,65
4	CMA498	-0,01	5,49	0,29	5,7853	5,49
5	CMU952	-0,10	5,40	0,21	5,7076	5,39
6	CMA831	-0,18	5,31	0,14	5,64	5,31
7	CMU874	-0,23	5,27	0,09	5,59	5,26
8	BRS Maués	-0,64	4,86	0,00	5,50	4,84
C (%)						
1	CMU874	0,04	1,44	0,04	1,44	1,45
2	CIR815	0,03	1,44	0,03	1,44	1,44
3	BRS Maués	0,03	1,43	0,03	1,44	1,43
4	CIR904	0,02	1,42	0,03	1,43	1,42
5	CMA498	-0,01	1,41	0,02	1,43	1,40
6	CMA831	-0,03	1,37	0,01	1,42	1,37
7	BRS-CG372	-0,04	1,37	0,01	1,41	1,36
8	CMU952	-0,04	1,37	0,00	1,41	1,36

Tabela 8. Estimativas dos componentes de média (BLUP individual) para seleção de genótipos para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continuação)

Ordem	Genótipo	g	$\mu+g$	Ganho (%)	Nova média	$\mu+g+gem$
EC (%)						
1	BRS Maués	0,63	1,99	0,63	1,99	2,03
2	CMU874	0,52	1,88	0,58	1,93	1,91
3	CIR904	0,21	1,57	0,46	1,81	1,58
4	CIR815	0,15	1,50	0,38	1,73	1,51
5	CMA498	-0,11	1,25	0,28	1,64	1,24
6	CMU952	-0,36	1,00	0,17	1,53	0,97
7	CMA831	-0,49	0,86	0,08	1,43	0,83
8	BRS-CG372	-0,56	0,80	0,00	1,36	0,76
PROD (g.planta ⁻¹)						
1	CIR815	418,99	2061,17	418,99	2061,17	2336,82
2	CIR904	152,60	1794,78	285,79	1927,98	1895,17
3	BRS-CG372	89,12	1731,30	220,24	1862,42	1789,94
4	CMA498	30,65	1672,83	172,84	1815,02	1693,00
5	BRS Maués	6,75	1648,93	139,62	1781,80	1653,37
6	CMU874	-125,65	1516,53	95,41	1737,59	1433,86
7	CMU952	-255,02	1387,17	45,35	1687,53	1219,39
8	CMA831	-317,44	1324,74	0,00	1642,18	1115,90
TBp (g.planta ⁻¹)						
1	BRS-CG372	0,0047	0,1749	0,0047	0,1749	0,1978
2	CMU952	0,0007	0,1709	0,0027	0,1729	0,1741
3	CIR815	0,0003	0,1705	0,0019	0,1721	0,1720
4	CIR904	0,0001	0,1703	0,0014	0,1717	0,1707
5	CMA498	-0,0003	0,1699	0,0011	0,1713	0,1685
6	CMA831	-0,0014	0,1689	0,0007	0,1709	0,1622
7	CMU874	-0,0018	0,1684	0,0003	0,1706	0,1597
8	BRS Maués	-0,0023	0,1680	0,0000	0,1702	0,1570

Tabela 8. Estimativas dos componentes de média (BLUP individual) para seleção de genótipos para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continuação)

Ordem	Genótipo	g	$\mu+g$	Ganho (%)	Nova média	$\mu + g + gem$
CFp (g.planta ⁻¹)						
1	CIR815	39,06	131,51	39,06	131,51	145,08
2	CIR904	16,44	108,88	27,75	120,20	114,59
3	BRS-CG372	7,83	100,28	21,11	113,56	103,00
4	CMA498	1,45	93,90	16,20	108,64	94,40
5	BRS Maués	-9,79	82,65	11,00	103,44	79,25
6	CMU874	-11,22	81,23	7,30	99,74	77,33
7	CMU952	-18,27	74,17	3,64	96,0886	67,82
8	CMA831	-25,50	66,95	0,00	92,4461	58,09
Cp (g.planta ⁻¹)						
1	CIR815	7,40	32,40	7,40	32,40	34,70
2	CIR904	2,64	27,64	5,02	30,02	28,47
3	CMU874	1,65	26,65	3,90	28,90	27,16
4	BRS Maués	1,63	26,63	3,33	28,33	27,14
5	CMA498	0,44	25,44	2,75	27,75	25,58
6	BRS-CG372	-0,99	24,02	2,13	27,13	23,71
7	CMU952	-5,85	19,15	0,99	25,99	17,33
8	CMA831	-6,92	18,08	0,00	25,00	15,93
ECp (g.planta ⁻¹)						
1	BRS Maués	9,51	33,88	9,51	33,88	36,41
2	CIR815	8,00	32,37	8,76	33,13	34,49
3	CMU874	5,99	30,36	7,83	32,20	31,94
4	CIR904	5,19	29,56	7,17	31,54	30,94
5	CMA498	-1,08	23,30	5,52	29,89	23,01
6	BRS-CG372	-7,13	17,25	3,41	27,79	15,36
7	CMU952	-9,11	15,26	1,62	26,00	12,85
8	CMA831	-11,37	13,00	0,00	24,37	9,99

Os maiores ganhos (%) de CFp em Maués foram para os genótipos CIR815, BRS-CG372 e CIR904), de Cp em Maués para CIR815, CIR904, BRS-CG372, e de ECp em Maués para CIR815, CIR904, BRS Maués e CMU874. Os resultados encontrados neste estudo para ganho para PROD (Tabelas 8, 9) são semelhantes ao encontrados em Nascimento Filho et al. (2013).

A BRS Maués apresentou melhor desempenho para PROD no DAS. Este resultado inferior ao encontrado em Nascimento Filho et al. (2011) para a BRS Maués (CMU871) nos locais Maués e Iranduba ao avaliarem o comportamento de clones de guaraná em três localidades, mas superior à média geral do genótipo nos três locais e anos.

O local Maués proporcionou melhores resultados de PROD também para os genótipos CIR815, BRS-CG372 e CIR904, e Manaus para CMA831, CMU874, CMU952 e CMA498. Nascimento Filho 2011 ao avaliarem o comportamento de clones de guaraná em três localidades observaram que no ambiente Maués ofereceu as condições ambientais mais favoráveis para expressão da produção nos clones de guaraná, e para seleção.

Para CF Manaus foi o local que proporcionou as maiores médias para todos os genótipos, exceto para CIR815 e CIR904 que tiveram médias semelhantes nos locais. Para CFp Manaus foi o local com as maiores médias para a maioria dos genótipos, sendo que CIR815, CIR904 BRS-CG372 tiveram maiores médias em Maués.

Para C, EC e ECp Manaus foi o local com as maiores médias para todos os genótipos, exceto para CIR815 e CIR904 que tiveram melhor desempenho no DAS, e resultado semelhante para Cp, sendo que o genótipo CIR904 teve desempenho semelhante nos locais.

Tabela 9. Estimativas dos componentes de média (BLUP individual) para seleção de genótipos por local dos caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, médias de dois anos de avaliação por local – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continua)

Ordem	DAS					Manaus					Maués				
	Genótipo	G+ge	μ +g+ge	Ganho (%)	Nova média	Genótipo	G+ge	μ +g+ge	Ganho (%)	Nova média	Genótipo	G+ge	μ +g+ge	Ganho (%)	Nova média
TB (%)															
1	BRS-CG372	0,0004	0,0140	0,0004	0,0140	BRS-CG372	0,0006	0,0131	0,0006	0,0131	BRS-CG372	0,0005	0,0122	0,0005	0,0122
2	CMU952	0,0004	0,0140	0,0004	0,0140	CMA831	0,0002	0,0128	0,0004	0,0129	CMA831	0,0002	0,0119	0,0003	0,0121
3	CMA831	0,0002	0,0137	0,0003	0,0139	CMU952	0,0002	0,0127	0,0003	0,0129	CMU952	0,0002	0,0119	0,0003	0,0120
4	CIR815	-0,0003	0,0132	0,0002	0,0137	CMU874	-0,0001	0,0125	0,0002	0,0128	CMA498	0,0000	0,0117	0,0002	0,0119
5	BRS Maués	-0,0005	0,0130	0,0000	0,0136	CMA498	-0,0001	0,0125	0,0002	0,0127	CMU874	0,0000	0,0117	0,0002	0,0119
6	CMU874	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	BRS Maués	-0,0005	0,0121	0,0000	0,0126	CIR904	-0,0001	0,0116	0,0001	0,0118
7	CIR904	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-	-	-	-	CIR815	-0,0002	0,0115	0,0001	0,0118
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BRS Maués	-0,0005	0,0113	0,0000	0,0117
CF (%)															
1	CIR815	0,64	5,90	0,64	5,90	BRS-CG372	0,07	6,04	0,07	6,04	CIR815	0,55	5,82	0,55	5,82
2	CIR904	0,42	5,68	0,53	5,79	CMA498	-0,04	5,93	0,02	5,98	CIR904	0,50	5,77	0,53	5,80
3	BRS-CG372	0,20	5,46	0,42	5,68	CMU952	-0,07	5,90	-0,01	5,95	BRS-CG372	0,19	5,46	0,41	5,68
4	CMU952	-0,012	5,24	0,31	5,57	CMA831	-0,20	5,77	-0,06	5,91	CMA498	0,02	5,29	0,32	5,59
5	CMA831	-0,23	5,03	0,20	5,46	CMU874	-0,21	5,76	-0,09	5,88	CMA831	-0,14	5,13	0,22	5,50
6	CMU874	-0,29	4,97	0,12	5,38	BRS Maués	-0,56	5,41	-0,17	5,80	CMU874	-0,21	5,06	0,15	5,42
7	BRS Maués	-0,72	4,54	0,00	5,26	-	-	-	-	-	CMU952	-0,22	5,05	0,099	5,37
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BRS Maués	-0,69	4,58	0,00	5,27

Tabela 9. Estimativas dos componentes de média (BLUP individual) para seleção de genótipos por local dos caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, médias de dois anos de avaliação por local – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continuação)

Ordem	DAS					Manaus					Maués				
	Genótipo	G+ge	$\mu+g+ge$	Ganho (%)	Nova média	Genótipo	G+ge	$\mu+g+ge$	Ganho (%)	Nova média	Genótipo	G+ge	$\mu+g+ge$	Ganho (%)	Nova média
C (%)															
1	CMU874	0,04	1,31	0,04	1,31	CMU874	0,05	1,99	0,05	1,99	CIR815	0,04	1,04	0,04	1,04
2	BRS Maués	0,03	1,30	0,04	1,30	BRS Maués	0,04	1,98	0,04	1,99	CMU874	0,04	1,04	0,04	1,04
3	CIR815	0,03	1,30	0,03	1,30	CMA498	-0,01	1,94	0,03	1,97	BRS Maués	0,03	1,03	0,03	1,04
4	CIR904	0,01	1,30	0,03	1,30	CMA831	-0,04	1,91	0,01	1,96	CIR904	0,02	1,03	0,03	1,04
5	CMU952	-0,03	1,24	0,02	1,28	BRS-CG372	-0,04	1,90	0,01	1,95	CMA498	0,01	1,01	0,03	1,03
6	BRS-CG372	-0,04	1,23	0,01	1,28	CMU952	-0,05	1,90	-0,01	1,94	CMA831	-0,04	0,97	0,02	1,02
7	CMA831	-0,04	1,23	0,00	1,27	-	-	-	-	-	BRS-CG372	-0,04	0,96	0,01	1,01
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	CMU952	-0,05	0,95	0,00	1,00
EC (%)															
1	BRS Maués	0,72	1,96	0,72	1,96	BRS Maués	0,91	2,76	0,91	2,76	CMU874	0,49	1,47	0,49	1,47
2	CMU874	0,49	1,72	0,61	1,84	CMU874	0,70	2,55	0,80	2,65	BRS Maués	0,39	1,38	0,44	1,42
3	CIR904	0,16	1,40	0,46	1,69	CMA498	-0,21	1,64	0,47	2,32	CIR904	0,30	1,28	0,39	1,38
4	CIR815	0,09	1,33	0,37	1,60	CMU952	-0,48	1,37	0,23	2,08	CIR815	0,22	1,21	0,35	1,33
5	CMU952	-0,24	0,99	0,25	1,48	CMA831	-0,59	1,26	0,06	1,91	CMA498	-0,02	0,96	0,28	1,26
6	CMA831	-0,54	0,69	0,11	1,35	BRS-CG372	-0,68	1,17	-0,06	1,79	CMU952	-0,42	0,56	0,16	1,14
7	BRS-CG372	-0,58	0,65	0,0150	1,25	-	-	-	-	-	CMA831	-0,44	0,55	0,08	1,06
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BRS-CG372	-0,53	0,46	0,00	0,98

Tabela 9. Estimativas dos componentes de média (BLUP individual) para seleção de genótipos por local dos caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, médias de dois anos de avaliação por local – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.

Ordem	DAS					Manaus					Maués				
	Genótipo	G+ge	μ +g+ge	Ganho (%)	Nova média	Genótipo	G+ge	μ +g+ge	Ganho (%)	Nova média	Genótipo	G+ge	μ +g+ge	Ganho (%)	Nova média
PROD (g.planta ⁻¹)															
1	CIR815	715,57	2166,25	715,57	2166,25	CMU874	309,34	2189,21	309,34	2189,21	CIR815	949,34	2545,33	949,34	2545,33
2	BRS Maués	420,54	1871,23	568,06	2018,74	CMA498	216,19	2096,05	262,76	2142,63	BRS-CG372	758,54	2354,54	853,94	2449,94
3	CIR904	214,25	1664,94	450,12	1900,81	CMU952	-73,31	1806,55	150,74	2030,60	CIR904	392,11	1988,12	700,00	2296,00
4	BRS-CG372	75,62	1526,30	356,50	1807,18	BRS Maués	-77,24	1802,63	93,74	1973,61	CMA498	-94,40	1501,60	501,40	2097,40
5	CMA831	-352,13	1098,55	214,77	1665,45	BRS-CG372	-390,91	1488,96	-3,19	1876,68	BRS Maués	-309,75	1286,24	339,17	1935,17
6	CMU874	-436,99	1013,70	106,14	1556,83	CMA831	-555,65	1324,21	-95,26	1784,60	CMU874	-497,30	1098,69	199,76	1795,75
7	CMU952	-667,51	783,17	-4,37	1446,31	-	-	-	-	-	CMU952	-527,52	1068,48	95,86	1691,86
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	CMA831	-671,03	924,97	00000	1596,00
TBp (g.planta ⁻¹)															
1	CMU952	0,013	0,183	0,013	0,183	CMU952	0,025	0,195	0,025	0,195	BRS-CG372	0,081	0,252	0,081	0,252
2	BRS Maués	0,004	0,174	0,009	0,179	BRS-CG372	0,013	0,183	0,019	0,189	CMA498	0,015	0,186	0,048	0,219
3	CMA831	0,002	0,171	0,006	0,176	CMA831	0,001	0,171	0,013	0,183	CIR815	0,011	0,182	0,036	0,207
4	CIR815	-0,006	0,164	0,003	0,173	BRS Maués	-0,009	0,161	0,007	0,177	CIR904	0,001	0,172	0,027	0,198
5	BRS-CG372	-0,011	0,159	0,001	0,170	CMU874	-0,009	0,161	0,004	0,174	CMU874	-0,020	0,150	0,018	0,189
6	CMU874	0,000	0,000	0,000	0,000	CMA498	-0,020	0,150	0,000	0,170	CMA831	-0,026	0,145	0,010	0,181
7	CIR904	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	CMU952	-0,027	0,144	0,005	0,176
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BRS Maués	-0,035	0,136	0,000	0,171

Tabela 9. Estimativas dos componentes de média (BLUP individual) para seleção de genótipos por local dos caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, médias de dois anos de avaliação por local – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continuação)

Ordem	DAS					Manaus					Maués				
	Genótipo	G+ge	μ +g+ge	Ganho (%)	Nova média	Genótipo	G+ge	μ +g+ge	Ganho (%)	Nova média	Genótipo	G+ge	μ +g+ge	Ganho (%)	Nova média
CFp (g.planta ⁻¹)															
1	CIR815	53,72	129,43	53,72	129,43	CMU874	14,08	128,31	14,08	128,31	CIR815	65,13	152,52	65,13	152,52
2	CIR904	18,25	93,96	35,98	111,70	CMA498	11,35	125,58	12,72	126,94	BRS-CG372	44,79	132,19	54,96	142,35
3	BRS-CG372	9,54	85,25	27,17	102,88	CMU952	-4,30	109,93	7,05	121,27	CIR904	31,75	119,15	47,22	134,62
4	BRS Maués	3,94	79,65	21,36	97,07	BRS Maués	-15,69	98,54	1,36	115,59	CMA498	-6,93	80,47	33,68	121,08
5	CMA831	-23,88	51,84	12,31	88,03	BRS-CG372	-22,67	91,56	-3,44	110,78	BRS Maués	-27,84	59,56	21,38	108,78
6	CMU874	-27,25	48,46	5,72	81,43	CMA831	-38,28	75,95	-9,25	104,98	CMU874	-32,18	55,22	12,45	99,85
7	CMU952	-35,76	39,95	-0,21	75,51	-	-	-	-	-	CMU952	-33,81	53,59	5,85	93,24
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	CMA831	-40,91	46,48	0,00	87,40
Cp (g.planta ⁻¹)															
1	CIR815	10,44	30,65	10,44	30,65	CMU874	9,89	47,54	9,89	47,54	CIR815	11,27	28,40	11,27	28,40
2	BRS Maués	4,84	25,05	7,64	27,85	BRS Maués	2,88	40,53	6,38	44,03	CIR904	5,76	22,90	8,51	25,65
3	CIR904	1,99	22,21	5,76	25,97	CMA498	1,14	38,79	4,63	42,28	BRS-CG372	2,53	19,67	6,52	23,66
4	BRS-CG372	0,24	20,45	4,38	24,59	CMU952	-6,51	31,14	1,85	39,50	CMA498	0,16	17,29	4,93	22,07
5	CMU874	-1,80	18,41	3,14	23,35	BRS-CG372	-6,64	31,01	0,15	37,80	BRS Maués	-1,30	15,84	3,68	20,82
6	CMA831	-7,96	12,26	1,29	21,50	CMA831	-10,79	26,86	-1,67	35,98	CMU874	-1,61	15,53	2,80	19,94
7	CMU952	-8,19	12,02	-0,06	20,15	-	-	-	-	-	CMU952	-8,32	8,81	1,21	18,35
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	CMA831	-8,48	8,66	0,00	17,14

Tabela 9. Estimativas dos componentes de média (BLUP individual) para seleção de genótipos por local dos caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, médias de dois anos de avaliação por local – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continuação)

Ordem	DAS					Manaus					Maués				
	Genótipo	G+ge	$\mu+g+ge$	Ganho (%)	Nova média	Genótipo	G+ge	$\mu+g+ge$	Ganho (%)	Nova média	Genótipo	G+ge	$\mu+g+ge$	Ganho (%)	Nova média
ECp (g.planta ⁻¹)															
1	BRS Maués	17,31	37,17	17,31	37,17	CMU874	20,41	57,54	20,41	57,54	CIR815	11,83	27,96	11,83	27,96
2	CIR815	10,53	30,39	13,92	33,78	BRS Maués	16,97	54,10	18,69	55,82	CIR904	10,55	26,67	11,19	27,32
3	CIR904	3,95	23,80	10,60	30,46	CMA498	-2,60	34,53	11,59	48,73	BRS Maués	1,82	17,94	8,07	24,19
4	CMU874	0,99	20,85	8,19	28,05	CMU952	-12,23	24,91	5,64	42,77	CMU874	1,32	17,44	6,38	22,50
5	BRS-CG372	-7,74	12,11	5,01	24,87	BRS-CG372	-16,57	20,56	1,19	38,33	CMA498	-0,41	15,71	5,02	21,15
6	CMU952	-11,62	8,23	2,24	22,09	CMA831	-19,16	17,98	-2,20	34,94	BRS-CG372	-2,72	13,40	3,73	19,85
7	CMA831	-12,33	7,53	0,15	20,01	-	-	-	-	-	CMU952	-10,72	5,40	1,67	17,79
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	CMA831	-11,66	4,46	0,00	16,12

Os maiores ganhos (Tabela 9) no DAS e Maués para CF (CIR815> CIR904> BRS-CG372) e em Manaus BRS-CG372 e CMA498, C no DAS e Manaus (CMU874 e BRS Maués), em Manaus (CIR815, CMU874, BRS Maués e CIR904), nos três ambientes EC (BRS Maués e CMU874).

A Cp e ECp tiveram o ordenamento muito semelhante nos ambientes: A mesma ordem para todos os genótipos em Manaus sendo os maiores ganhos no CMU874 e BRS Maués, em Manaus os maiores ganhos para CIR815 e BRS Maués, seguidos CIR904. Em Maués (CIR815 e 904) seguidos da BRS-CG372 para Cp e BRS Maués para ECp (Tabela 9).

Entre a seleção de genótipos nos três locais simultaneamente e por local individualmente houve algumas modificações nas ordens dos genótipos. Os caracteres CF, C, EC, PROD, CFp, Cp e ECp tiveram ganhos muito maiores na seleção de genótipos por local, sendo mais eficiente avalia-los individualmente para a maior precisão dos resultados. Na seleção por local para CF, CFp, C e EC (DAS e Maués) os genótipos CIR815, CIR904, CMU874 e BRS Maués. Em Manaus os maiores ganhos foram para CF (BRS-CG372 e CMA498) e CFp (CMU874 e CMA498), e para C, Cp, EC e ECP (BRS Maués e CMU874) (Tabelas 9).

3.5 Adaptabilidade e estabilidade

Os valores para Produtividade e Adaptabilidade de Valores Genéticos (PRVG), Produtividade e Estabilidade de Valores Genéticos (MHVG), Estabilidade e Adaptabilidade de Valores Genéticos (MHPRVG) preditos para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), entre oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos são apresentados (Tabela 10).

Quanto ao teor de CF, produtividade de sementes PROD e CFp os genótipos com maior Produtividade e Estabilidade de Valores Genéticos (MHVG), Adaptabilidade de Valores Genéticos (PRVG), Adaptabilidade e Estabilidade de Valores Genéticos (MHPRVG) são os CIR815, CIR904 e BRS-CG372 e CMA498, coincidindo 100% o ordenamento dos quatro melhores genótipos e 88,89% para PROD, com inversão da ordem dos genótipos BRS-CG372 e CMA498 no critério MHVG para PROD, mas com valores muito próximos.

Tabela 10. Seleção de genótipos de guaranazeiro pelo método da Média Harmônica do Desempenho Relativo dos Valores Genéticos Preditos (MHPRVG), Valores Genotípicos da Média Harmônica dos Valores Genotípicos (MHVG), Desempenho Relativo dos Valores Genotípicos (PRVG) preditos para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continua)

PRVG				MHVG			MHPRVG			
Ord	Genótipo	PRVG	PRVG.MG	Ord	Genótipo	MHVG	Ord	Genótipo	MHPRVG	MHPRVG.MG
TB (%)										
1	BRS-CG372	1,0403	0,0131	1	BRS-CG372	0,0131	1	BRS-CG372	1,0403	0,0131
2	CMU952	1,0197	0,0129	2	CMU952	0,0128	2	CMU952	1,0196	0,0129
3	CMA831	1,0141	0,0128	3	CMA831	0,0127	3	CMA831	1,0141	0,0128
4	CMA498	0,9961	0,0126	4	CIR815	0,0123	4	CMA498	0,9960	0,0126
5	CMU874	0,9944	0,0125	5	BRS Maués	0,0121	5	CMU874	0,9944	0,0125
6	CIR904	0,9891	0,0125	6	CMA498	0,0121	6	CIR904	0,9891	0,0125
7	CIR815	0,9793	0,0123	7	CMU874	0,0121	7	CIR815	0,9793	0,0123
8	BRS Maués	0,9620	0,0121	8	CIR904	0,0116	8	BRS Maués	0,9620	0,0121
CF (%)										
1	CIR815	1,1128	6,1182	1	CIR815	5,8579	1	CIR815	1,1127	6,1178
2	CIR904	1,0877	5,9799	2	CIR904	5,7254	2	CIR904	1,0876	5,9795
3	BRS-CG372	1,0289	5,6569	3	BRS-CG372	5,6403	3	BRS-CG372	1,0288	5,6561
4	CMA498	0,9991	5,4932	4	CMA498	5,5931	4	CMA498	0,9991	5,4931
5	CMU952	0,9807	5,3919	5	CMU952	5,3700	5	CMU952	0,9804	5,3903
6	CMA831	0,9655	5,3081	6	CMA831	5,2892	6	CMA831	0,9654	5,3078
7	CMU874	0,9568	5,2606	7	CMU874	5,2402	7	CMU874	0,9568	5,2602
8	BRS Maués	0,8792	4,8337	8	BRS Maués	4,8088	8	BRS Maués	0,8788	4,8314

Tabela 10. Seleção de genótipos de guaranazeiro pelo método da Média Harmônica do Desempenho Relativo dos Valores Genéticos Preditos (MHPRVG), Valores Genotípicos da Média Harmônica dos Valores Genotípicos (MHVG), Desempenho Relativo dos Valores Genotípicos (PRVG) preditos para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continuação)

PRVG				MHVG			MHPRVG			
Ord	Genótipo	PRVG	PRVG.MG	Ord	Genótipo	MHVG	Ord	Genótipo	MHPRVG	MHPRVG.MG
C (%)										
1	CIR815	1,0319	1,4509	1	CMU874	1,3460	1	CIR815	1,0318	1,4509
2	CMU874	1,0300	1,4483	2	BRS Maués	1,3363	2	CMU874	1,0300	1,4483
3	BRS Maués	1,0230	1,4384	3	CMA498	1,3258	3	BRS Maués	1,0230	1,4384
4	CIR904	1,0156	1,4280	4	CMA831	1,2652	4	CIR904	1,0155	1,4279
5	CMA498	0,9999	1,4059	5	BRS-CG372	1,2635	5	CMA498	0,9998	1,4059
6	CMA831	0,9712	1,3657	6	CMU952	1,2582	6	CMA831	0,9712	1,3656
7	BRS-CG372	0,9699	1,3638	7	CIR815	1,1575	7	BRS-CG372	0,9698	1,3637
8	CMU952	0,9668	1,3594	8	CIR904	1,1392	8	CMU952	0,9666	1,3592
EC (%)										
1	BRS Maués	1,4933	2,0236	1	BRS Maués	1,8749	1	BRS Maués	1,4895	2,0185
2	CMU874	1,4231	1,9284	2	CMU874	1,8139	2	CMU874	1,4212	1,9259
3	CIR904	1,2197	1,6528	3	CIR904	1,3375	3	CIR904	1,2133	1,6441
4	CIR815	1,1522	1,5614	4	CIR815	1,2638	4	CIR815	1,1473	1,5547
5	CMA498	0,9321	1,2630	5	CMA498	1,2110	5	CMA498	0,9299	1,2600
6	CMU952	0,7044	0,9545	6	CMU952	0,8505	6	CMU952	0,6894	0,9342
7	CMA831	0,5979	0,8101	7	CMA831	0,7353	7	CMA831	0,5927	0,8032
8	BRS-CG372	0,5431	0,7359	8	BRS-CG372	0,6561	8	BRS-CG372	0,5344	0,7241

Tabela 10. Seleção de genótipos de guaranazeiro pelo método da Média Harmônica do Desempenho Relativo dos Valores Genéticos Preditos (MHPRVG), Valores Genotípicos da Média Harmônica dos Valores Genotípicos (MHVG), Desempenho Relativo dos Valores Genotípicos (PRVG) preditos para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continuação)

PRVG				MHVG			MHPRVG			
Ord	Genótipo	PRVG	PRVG.MG	Ord	Genótipo	MHVG	Ord	Genótipo	MHPRVG	MHPRVG.MG
PROD (g.planta ⁻¹)										
1	CIR815	1,5440	2535,6024	1	CIR815	2340,5441	1	CIR815	1,5424	2532,8597
2	CIR904	1,1967	1965,1771	2	CIR904	1812,2251	2	CIR904	1,1947	1961,8826
3	BRS-CG372	1,1065	1817,0538	3	CMA498	1749,7146	3	BRS-CG372	1,0378	1704,1958
4	CMA498	1,0279	1688,0449	4	BRS-CG372	1712,8171	4	CMA498	1,0206	1675,9324
5	BRS Maués	1,0182	1672,1379	5	BRS Maués	1607,1896	5	BRS Maués	0,9807	1610,5479
6	CMU874	0,8506	1396,8024	6	CMU874	1274,7255	6	CMU874	0,8016	1316,4091
7	CMU952	0,7234	1188,0287	7	CMA831	1092,2696	7	CMU952	0,6839	1123,0850
8	CMA831	0,6804	1117,3616	8	CMU952	1084,4748	8	CMA831	0,6718	1103,2179
TBp (g.planta ⁻¹)										
1	BRS-CG372	1,1612	0,1977	1	BRS-CG372	0,1906	1	BRS-CG372	1,1199	0,1907
2	CMU952	1,0228	0,1741	2	CIR815	0,1724	2	CIR815	1,0122	0,1723
3	CIR815	1,0146	0,1727	3	CIR904	0,1721	3	CIR904	1,0073	0,1715
4	CIR904	1,0073	0,1715	4	CMU952	0,1711	4	CMU952	1,0049	0,1711
5	CMA498	0,9853	0,1677	5	CMA498	0,1660	5	CMA498	0,9744	0,1659
6	CMA831	0,9529	0,1622	6	CMA831	0,1612	6	CMA831	0,9466	0,1612
7	BRS Maués	0,9223	0,1570	7	CMU874	0,1554	7	BRS Maués	0,9120	0,1553
8	CMU874	0,9125	0,1553	8	BRS Maués	0,1553	8	CMU874	0,9114	0,1551

Tabela 10. Seleção de genótipos de guaranazeiro pelo método da Média Harmônica do Desempenho Relativo dos Valores Genéticos Preditos (MHPRVG), Valores Genotípicos da Média Harmônica dos Valores Genotípicos (MHVG), Desempenho Relativo dos Valores Genotípicos (PRVG) preditos para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continuação)

PRVG				MHVG			MHPRVG			
Ord	Genótipo	PRVG	PRVG.MG	Ord	Genótipo	MHVG	Ord	Genótipo	MHPRVG	MHPRVG.MG
CFp (g.planta ⁻¹)										
1	CIR815	1,7273	159,6837	1	CIR815	140,0299	1	CIR815	1,7271	159,6666
2	CIR904	1,3022	120,3815	2	CIR904	105,0682	2	CIR904	1,2993	120,1162
3	BRS-CG372	1,1467	106,0038	3	BRS-CG372	99,2806	3	BRS-CG372	1,0726	99,1594
4	CMA498	1,0100	93,3739	4	CMA498	98,0849	4	CMA498	1,0021	92,6436
5	BRS Maués	0,8654	80,0030	5	BRS Maués	75,9649	5	BRS Maués	0,8387	77,5321
6	CMU874	0,7984	73,8056	6	CMU874	64,4603	6	CMU874	0,7434	68,7250
7	CMU952	0,7011	64,8120	7	CMU952	56,8310	7	CMU952	0,6572	60,7517
8	CMA831	0,6271	57,9758	8	CMA831	55,5849	8	CMA831	0,6192	57,2443
Cp (g.planta ⁻¹)										
1	CIR815	1,5868	39,6712	1	CIR815	29,4833	1	CIR815	1,5837	39,5929
2	CIR904	1,2174	30,4350	2	CMA498	23,9223	2	CIR904	1,2058	30,1456
3	BRS Maués	1,0800	27,0003	3	BRS Maués	23,4883	3	BRS Maués	1,0647	26,6167
4	CMU874	1,0265	25,6633	4	BRS-CG372	22,7281	4	CMA498	1,0196	25,4893
5	CMA498	1,0197	25,4920	5	CIR904	22,5472	5	CMU874	1,0022	25,0543
6	BRS-CG372	0,9943	24,8579	6	CMU874	21,4665	6	BRS-CG372	0,9759	24,3985
7	CMU952	0,6454	16,1347	7	CMU952	13,1143	7	CMU952	0,6205	15,5125
8	CMA831	0,6083	15,2087	8	CMA831	12,8035	8	CMA831	0,5964	14,9103

Tabela 10. Seleção de genótipos de guaranazeiro pelo método da Média Harmônica do Desempenho Relativo dos Valores Genéticos Preditos (MHPRVG), Valores Genotípicos da Média Harmônica dos Valores Genotípicos (MHVG), Desempenho Relativo dos Valores Genotípicos (PRVG) preditos para os caracteres teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), para oito genótipos de guaranazeiro, em três locais e dois anos – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016. (Continuação)

PRVG				MHVG			MHPRVG			
Ord	Genótipo	PRVG	PRVG.MG	Ord	Genótipo	MHVG	Ord	Genótipo	MHPRVG	MHPRVG.MG
ECp (g.planta ⁻¹)										
1	CIR815	1,6321	39,7776	1	BRS Maués	29,6662	1	CIR815	1,6257	39,6225
2	BRS Maués	1,4805	36,0828	2	CIR815	29,1216	2	BRS Maués	1,4156	34,5003
3	CIR904	1,4267	34,7708	3	CIR904	25,1599	3	CIR904	1,3903	33,8845
4	CMU874	1,2271	29,9061	4	CMU874	24,4549	4	CMU874	1,1894	28,9886
5	CMA498	0,9521	23,2053	5	CMA498	21,5950	5	CMA498	0,9516	23,1926
6	BRS-CG372	0,6649	16,2057	6	BRS-CG372	14,5763	6	BRS-CG372	0,6454	15,7287
7	CMU952	0,4734	11,5372	7	CMU952	8,6492	7	CMU952	0,4354	10,6125
8	CMA831	0,3799	9,2601	8	CMA831	7,2701	8	CMA831	0,3607	8,7899

Os melhores genótipos com maior adaptabilidade e estabilidade para CF, CFp e PROD são os CIR815, CIR904 e BRS-CG372, e para C e Cp EC, e ECp, a BRS Maués, e os genótipos CMU874, CIR815 e CIR904. Pinto et al. (2018) verificaram que clone 871 (BRS Maués) foi superior aos demais em função da produtividade, adaptabilidade e estabilidade, pela análise REML/BLUP. A BRS Maués é uma cultivar, lançada e recomendada para o Estado do Amazonas em 1999, e é tolerante a antracnose e ao superbrotamento. A BRS-CG372 também é uma cultivar, lançada e recomendada para o Estado do Amazonas em 2000, é tolerante a antracnose (NASCIMENTO FILHO et al., 2000, 1999), e os outros genótipos ainda estão em fase de estudo.

Os genótipos CIR815, CIR904 e CMA498 não estavam presentes em todos os locais e por isso houve diferença no ordenamento, principalmente em Manaus para os caracteres CF, CFp e PROD. O esperado era que os genótipos por terem menores amostras fossem mais penalizados e com redução de seus valores pelo efeito *Shrinkage*, onde as predições dos efeitos aleatórios são forçadas em direção à média geral nas médias BLUP conforme Duarte; Vencovsky, (2001). E ocorrendo o contrário dos resultados de Borges et al. (2008) ao avaliar linhagens de arroz de terras altas, pois CIR815 e CIR904 estão entre os genótipos de guaranazeiro superiores, assumido por vezes os maiores ganhos, adaptabilidade e estabilidade, nos caracteres avaliados.

Pinto et al. (2018) utilizaram os métodos Lin & Binns (1988), REML/BLUP (Resende, 2002) e Annicchiarico (1992) para a seleção de clones em função da produtividade e concluíram que qualquer um dos métodos pode ser utilizado para avaliar a adaptabilidade e estabilidade de clones de guaranazeiro.

Farias Neto; Vilela de Resende (2001) ao utilizarem o procedimento REML/BLUP em pupunheira, observaram que o procedimento REML deve ser utilizado em casos de dados desbalanceados. Bastos et al. (2007) mostrou que a ANOVA clássica é um recurso estatístico limitado não permitindo utilizar em com dados desbalanceados.

Para o teor de C e Cp os genótipos CIR815, CMU874, CIR904, BRS Maués e os genótipos CMA498 apresentaram maior produtividade, maior estabilidade e adaptados aos ambientes, coincidindo o ordenamento para C em 88,89% e Cp em 93,33% de coincidência de genótipos, com inversão da ordem do CIR815 que foi penalizado pela instabilidade e o CMU874 foi beneficiado pela penalização da instabilidade dos demais genótipos, no critério

MHVG para C, e os CIR904 e CMU874 foram penalizados pela instabilidade para Cp em MHVG e capitalizando a capacidade de resposta do CMU874 em PRVG.

Para o teor de EC e produtividade de epicatequina (ECp) a BRS Maués, e os genótipos CMU874, CIR904 e CIR815 foram os melhores genótipos, coincidindo o ordenamento para EC em 100% e ECp com inversão de ordenamento do CIR815, pela penalização pela estabilidade, com a BRS Maués e no critério MHVG. Os genótipos mais capitalizados pela capacidade de resposta à melhoria do ambiente foram para CF, PROD, CFp e Cp (CIR815 e CIR904); C, EC e ECp (BRS Maués, CIR815, CMU874, CIR904). Pinto et al. (2018) verificaram que a BRS Maués foi superior a todos os genótipos estudados em função da produtividade, estabilidade e adaptabilidade.

O fato dos resultados estarem na mesma escala de medição das variáveis é uma vantagem do método MHPRVG por ser de fácil interpretação. Segundo Resende (2006) o método MHPRVG pode realizar a interpretação direta simultaneamente com os valores genéticos para produtividade, estabilidade e adaptabilidade, e confirmado em Bastos et al. (2007); Carbonell et al. (2007). O método MHPRVG proporciona seleção de genótipos em função da produção, estabilidade e adaptabilidade, e pode ser utilizado para a seleção de genótipos de guaranazeiro para dar suporte ao programa de melhoramento genético do guaraná e na recomendação de novas cultivares.

Observou-se que para maiores teores de cafeína, o guaranazeiro deve ser cultivado em locais com histórico de altas temperaturas, e amplitudes térmicas. Fan et al. (2018) mostraram uma nova variedade de chá que além de características morfológicas e agrônômicas interessantes como boa adaptabilidade e resistência ao estresse, alcançaram boa qualidade bioquímica com incrementos nos teores em 2,96% na cafeína e 6,98% nos polifenóis.

Nós observamos que maiores teores de fenólicos é interessante que a cultura do guaraná seja implantada em locais com maiores precipitações médias anuais e o uso de genótipos potenciais para estas características. Sugere-se que sejam realizados estudos em genótipos de guaranazeiro para elucidação de respostas ao estresse com a produção de compostos secundários de genótipos de guaranazeiro diferentes ambientes, como à irradiância, estresse hídrico, adaptações para a resistência e tolerância às doenças, e tipos e níveis de adubação.

3.6 Índice de seleção

Os ganhos de seleção foram próximos aos esperados por Atroch; Resende; Nascimento Filho, (2004), e superiores aos resultados de Atroch; Nascimento Filho; Resende (2013). No índice de seleção (Tabela 11) o genótipo CIR815 teve o maior ganho sendo superior à 100%, seguido pelo CIR904, BRS Maués e CMU874. O índice de seleção de Mulamba-Mock permitiu a seleção de genótipos com melhores desempenhos individuais.

Tabela 11. Rank médio (Índice de Mulamba-Mock) referentes à nove variáveis fenotípicas: teobromina (TB), cafeína (CF), catequina (C), epicatequina (EC), produtividade de sementes secas (PROD), produtividade de teobromina (TBp), produtividade de cafeína (CFp), produtividade de catequina (Cp), produtividade de epicatequina (ECp), com base na classificação dos 8 genótipos, em três locais e dois anos de avaliação – Municípios Rio Preto da Eva, Manaus e Maués – safras 2015 e 2016.

Rank médio (Índice de Mulamba-Mock)				
Ordem	Genitor	Rank-médio	Ganho	Ganho (%)
1	CIR815	2,22	2,22	102,50
2	CIR904	3,00	2,61	72,34
3	BRS Maués	3,22	2,81	59,87
4	CMU874	3,88	3,08	45,95
5	CMA498	4,44	3,36	34,11
6	BRS-CG372	5,78	3,76	19,71
7	CMA831	6,67	4,18	7,79
8	CMU952	6,78	4,50	0,00

Paiva et al. (2007) selecionaram as melhores progênies de acerola para os caracteres rendimento, vitamina C, sólidos solúveis totais e tamanho médio dos frutos com auxílio do índice de Mulamba e Mock. Candido et al. (2018) também utilizaram o índice para a realização de análise conjunta de genótipos de alface crespa (*Lactuca sativa*) em sete ambientes de cultivo e duas safras. Rodrigues et al. (2017) realizaram a análise no índice de seleção de Mulamba e Mock e classificaram progênies de pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth.), sendo a progênie mais bem avaliada com um ganho de 563,6% em relação às demais.

4 CONCLUSÃO

Os caracteres agroindustriais de genótipos de guaranazeiro cafeína, catequina, epicatequina, produtividade de sementes e produtividades de cafeína, de catequina e epicatequina são altamente influenciados pelo ambiente.

Os genótipos CIR815 e CIR904 tiveram os maiores valores de produtividades de sementes secas, produtividade de cafeína e teores de cafeína, alta adaptabilidade e estabilidade para estes caracteres. BRS Maués e CMU874 tiveram os maiores teores para catequina e epicatequina, alta adaptabilidade e estabilidade para estes caracteres. Os genótipos CIR815, CIR904 e CMU874 são potenciais futuros cultivares.

O método MHPRVG proporcionou a seleção de genótipos em função dos caracteres avaliados pela da produção, estabilidade e adaptabilidade, e pode ser utilizado para a seleção de genótipos de guaranazeiro para dar suporte ao programa de melhoramento genético do guaraná e na recomendação de novas cultivares.

O índice de seleção de Mulamba-Mock permitiu a seleção de genótipos com melhores desempenhos individuais dos genótipos CIR815, CIR904, BRS Maués e CMU874.

As produtividades de sementes secas, de cafeína, de catequina e de epicatequina são parâmetros que podem ser utilizados para a seleção de genótipos de guaranazeiros.

O acúmulo de cafeína é maior com altas temperaturas e amplitude térmica, e a catequina e epicatequina variam de acordo com precipitação anual, e a teobromina tem baixíssima influencia ambiental e alta influencia genética.

Para maiores teores de cafeína, o guaranazeiro recomenda-se que seja cultivado em locais com altas temperaturas, e amplitudes térmicas. E para maiores teores de fenólicos é interessante que a cultura do guaraná seja implantada em locais com maiores precipitações médias anuais e o uso de genótipos potenciais para estas características.

REFERÊNCIAS

- AKULA, R.; RAVISHANKAR, G. A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. **Plant Signaling and Behavior**, v. 6, n. 11, p. 1720–1731, 2011.
- ANEJA, M.; GIANFAGNA, T. Induction and accumulation of caffeine in young, actively growing leaves of cocoa (*Theobroma cacao* L.) by wounding or infection with *Crinipellis pernicios*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 59, n. 1, p. 13–16, 2001.
- ANTUNES, W. R.; SCHÖFFEL, E. R.; DELMAR, S. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de clones de cana - de - açúcar. n. 1, p. 142–148, 2015.
- ARANTES, L. P. et al. Guarana (*Paullinia cupana* Mart.) attenuates methylmercury-induced toxicity in *Caenorhabditis elegans*. **Toxicology Research**, v. 5, n. 6, p. 1629–1638, 2016.
- ASHIHARA, H. et al. Xanthine Alkaloids: Occurrence, Biosynthesis, and Function in Plants. **Progress in the Chemistry of Organic Natural Products**, v. 107, p. 1–88, 2017.
- ASHIHARA, H.; CROZIER, A. Biosynthesis and metabolism of caffeine and related purine alkaloids in plants. **Advances in botanical research**, v. 30, p. 117–205, 1999.
- ASHIHARA, H.; CROZIER, A. Caffeine: a well known but little mentioned compound in plant science. **Trends in plant science**, v. 6, n. 9, p. 407–413, 2001.
- ASOLINI, F. C. et al. Antioxidant and Antibacterial Activities of Phenolic Compounds from Extracts of Plants Used as Tea. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 3, p. 209–215, 2006.
- ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J. Classificação do coeficiente de variação na cultura do guaranazeiro. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, n. 43, p. 43–48, 2005.
- 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.; RESENDE, MARCOS V. DE; 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.; SOARES, A. A.; RAMALHO, M. A. P. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de arroz de sequeiro testadas no Estado de Minas Gerais. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 24, n. 3, p. 541–548, 2000.
- BASTOS, T. et al. Avaliação da interação Genótipo x Ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 4, p. 195–203, 2007.
- BITTENCOURT, L. S. et al. The protective effects of guaraná extract (*Paullinia cupana*) on fibroblast NIH-3T3 cells exposed to sodium nitroprusside. **Food and Chemical Toxicology**, v.

53, p. 119–125, 2013.

BIZARI, E. H. et al. Selection indices for agronomic traits in segregating populations of soybean. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, n. 1, p. 110–117, 2017.

BORGES, V. et al. Desempenho genotípico de linhagens de arroz de terras altas utilizando metodologia de modelos mistos. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 833–842, 2008.

CADONÁ, F. C.; MACHADO, A. K.; AZZOLIN, V. F. Guaraná a Caffeine-Rich Food Increases Oxaliplatin Sensitivity of Colorectal HT-29 Cells by Apoptosis Pathway Modulation. **Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry**, v. 16, n. 8, p. 1055–1065, 2016.

CANDIDO, S. et al. Stability and adaptability of curled green-leaf lettuce lines using the REML/Blup mixed model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 3, p. 298–306, 2018.

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

CARDOZO JUNIOR, E. L. et al. Quantitative genetic analysis of methylxanthines and phenolic compounds in mate progenies. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 2, p. 171–177, 2010.

CARGNIN, A. et al. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. n. 1, p. 987–993, 2004.

CARRILLO, L. C.; LONDOÑO-LONDOÑO, J.; GIL, A. Comparison of polyphenol, methylxanthines and antioxidant activity in *Theobroma cacao* beans from different cocoa-growing areas in Colombia. **Food Research International**, v. 60, p. 273–280, 2014.

CARVALHO, L. P. DE et al. Uso da metodologia REML/BLUP para seleção de genótipos de algodoeiro com maior adaptabilidade e estabilidade produtiva. **Bragantia**, v. 75, n. 3, p. 314–321, 2016.

CHEROTICH, L. et al. Variation in catechin composition of popularly cultivated tea clones in East Africa (Kenya). **American Journal of Plant Sciences**, v. 4, n. 3, p. 628–640, 2013.

COELHO, G. C. **Teores de metilxantinas e saponinas e morfologia foliar de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A . St . Hil .) sob a influência de diferentes fatores ambientais e em diferentes variedades e populações**. Tese de Doutorado. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

CONAB. **Guaraná: Análise mensal**. CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento, 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-guarana> Acesso em: 20/10/2018.

CRUZ, C. D. Genes Software – extended and integrated with the R , Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 38, n. 4, p. 547–552, 2016.

DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. Estimção e predição por modelo linear misto com ênfase na ordenação de médias de tratamentos genéticos. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 1, p. 109–117, 2001.

ELWERS, S. et al. Differences between the content of phenolic compounds in Criollo, Forastero and Trinitario cocoa seed (*Theobroma cacao* L.). **European Food Research and Technology**, v. 229, n. 6, p. 937–948, 2009.

ESCOBAR, J. R.; COSTA, P. R. C. DA; CORRÊA, M. P. F. **Variação do teor de cafeína na sementes de guaraná em progênies de polinização aberta**: Boletim de pesquisa. Manaus, 1985.

FAN, L. et al. Breeding of a new breakthrough tea tree variety Tianfu No.1. **Agricultural Biotechnology**, v. 7, n. 2, p. 147–150, 2018.

FARIAS NETO, J. T. DE; RESENDE, M. D. V. Aplicação d emetodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos em Pupunheira (*Bactris gasipes*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 2, p. 320–324, 2001.

FIGUEROA, A. L. G. Guaraná, a máquina do tempo dos Sateré-Mawé. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi:Ciencias Humanas**, v. 11, n. 1, p. 55–85, 2016.

FRIEDRICH, J. C. et al. Genetic and Phytochemical Analysis to Evaluate the Diversity and Relationships of Mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) Elite Genetic Resources in a Germplasm Collection. **Chemistry and Biodiversity**, v. 14, n. 3, 2017.

FRISCHKNECHT, P. M.; ULMER-DUFEK, J.; BAUMANN, T. W. Purine alkaloid formation in buds and developing leaflets of *Coffea arabica*: expression of an optimal defence strategy. **Phytochemistry**, v. 25, n. 3, p. 613–616., 1986.

FUJIMORI, N.; SUZUKI, T.; ASHIHARA., H. Seasonal variations in biosynthetic capacity for the synthesis of caffeine in tea leaves. **Phytochemistry**, v. 30, n. 7, p. 2245–2248., 1991.

IBGE, I. B. DE G. E E. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. 2017. **Estatística da Produção Agrícola**, v. 29, n. 12, p. 1–82, 2017b.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal 2015 (PAM2017). 2017a. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=44 Acesso em: 20/10/2018.

IZQUIERDO, A. M. et al. Changes in biomass allocation and phenolic compounds accumulation due to the effect of light and nitrate supply in *Cecropia peltata* plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 6, p. 2135–2147, 2011.

KIM, Y.-S.; SANO, H. Pathogen resistance of transgenic tobacco plants producing caffeine. **Phytochemistry**, v. 69, n. 4, p. 882–888, 2008.

LEE, J.-E. et al. Geographical and Climatic Dependencies of Green Tea (*Camellia sinensis*) Metabolites: A 1H NMR-Based Metabolomics Study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 19, p. 10582–10589, 2010.

LI, Z. X. et al. Developmental changes in carbon and nitrogen metabolism affect tea quality in different leaf position. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 106, p. 327–335, 2016.

MACHADO, K. N. et al. A rapid simultaneous determination of methylxanthines and proanthocyanidins in Brazilian guaraná (*Paullinia cupana* Kunth.). **Food Chemistry**, v. 239, p. 180–188, 2018.

MAJHENIČ, L.; ŠKERGET, M.; KNEZ, Ž. Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. **Food Chemistry**, v. 104, n. 3, p. 1258–1268, 2007.

MICHILES, R. J. **A cadeia produtiva do guaraná: Um estudo com o Guaraná no Município de Maués**. [s.l.] Universidade Federal do Amazonas, 2010.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v. 7, n. 1, p. 40–51, 1978.

NAKAMURA, K. L. et al. Genetic variation of phytochemical compounds in progenies of *Ilex paraguariensis* St . Hil . **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, n. June, p. 116–123, 2009.

NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Adaptabilidade e estabilidade de clones de guaraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1138–1144, 2009.

NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. **Clones de guaranazeiro para o estado do Amazonas.Comunicado técnico: Comunicado Técnico 01**. Manaus.: Embrapa., 1999.

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

NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Interação de clones de guaraná por locais. In: **Seminário sobre pesquisas com o guaranazeiro na Amazônia**. Embrapa Am ed. Manaus: [s.n.]. p. 202–211.

NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. **Novos Clones de Guaranazeiro para o Estado do Amazonas.Comunicado técnico: (Comunicado Técnico 08)**. Manaus.: Embrapa., 2000.

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.

OKOL, B. J. et al. Caffeine content of three Nigerian cola. **Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences**, v. 3, n. 5, p. 830–833, 2012.

OLIVEIRA, E. J. DE; AIDAR, S. D. T.; MORGANTE, C. V. Genetic parameters for drought - tolerance in cassava. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 233–241, 2015.

OLIVEIRA, E. J. DE; AIDAR, S. D. T.; MORGANTE, C. V. Genetic parameters for drought - tolerance in cassava. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 233–241, 2015.

OLIVEIRA, I. J. DE; ATROCH, A. L.; DIAS, M. C. Seleção de cultivares de milho quanto à produtividade, estabilidade e adaptabilidade no Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 6, p. 455–463, 2017.

OLIVEIRA, T. W. G. DE et al. Stability and adaptability for wood volume in the selection of

Eucalyptus saligna in three environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 5, p. 611–619, 2018.

OLIVEIRA, T. W. G. DE et al. Stability and adaptability for wood volume in the selection of Eucalyptus saligna in three environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 5, p. 611–619, 2018.

OTHMAN, A. et al. Antioxidant capacity and phenolic content of holy basil. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 29, n. 5, p. 1407–1415, 2007.

PAIVA, J. R. et al. Acerola plant selection and breeding value prediction in second selection cycle progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 7, n. 2, p. 125–132, 2007.

PAIVA, J. R. et al. Acerola plant selection and breeding value prediction in second selection cycle progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 7, n. 2, p. 125–132, 2007.

PIMENTEL, A. J. B. et al. Estimação de parâmetros genéticos e predição de valor genético aditivo de trigo utilizando modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 1, p. 882–890, 2014.

PINTO, C. E. D. L. et al. Seleção de clones de guaranazeiro para adaptabilidade e estabilidade no estado Estado do Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, p. 1–7, 2018.

POMPELLI, M. F. et al. The effect of light and nitrogen availability on the caffeine, theophylline and allantoin contents in the leaves of *Coffea arabica* L. **AIMS Environmental Science**, v. 1, n. 1, p. 1–11, 2013.

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

RESENDE, M. D. V. Software SELEGEN - REML/BLUP. (**Serie Documentos 77**), p. 67, 2002.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: A useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, 2016, p. 330–339.

RODRIGUES, H. S. et al. Genetic variability and progeny selection of peach palm via mixed models (REML/BLUP). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, n. 2, p. 165, 2017.

RODRIGUES, H. S. et al. Genetic variability and progeny selection of peach palm via mixed models (REML / BLUP). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, n. 2, p. 165, 2017.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade , estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 964–971, 2012.

RUCHEL, J. B. et al. Guarana (*Paullinia cupana*) ameliorates memory impairment and modulates acetylcholinesterase activity in Poloxamer-407-induced hyperlipidemia in rat brain. **Physiology and Behavior**, v. 168, p. 11–19, 2017.

RUCHEL, J. B. et al. Hypercholesterolemia and Ecto-enzymes of Purinergic System: Effects of *Paullinia cupana*. **Phytotherapy Research**, v. 30, n. 1, p. 49–57, 2016.

SABHAPONDIT, S. et al. Diversity of catechin in Northeast Indian Tea cultivars. **The Scientific World Journal**, v. 2012, n. Figure 1, 2012.

SALOMÃO-OLIVEIRA, A. et al. Benefits and Effectiveness of Using *Paullinia cupana* : A Review Article. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 6, n. 8, p. 497–503, 2018.

SANO, H.; KIM, Y.-S.; CHOI, Y.-E. Like cures like: caffeine immunizes plants against biotic stresses. **Advances in Botanical Research**, v. 68, p. 273–300, 2013.

SANTANA, Á. L.; MACEDO, G. A. Health and technological aspects of methylxanthines and polyphenols from guarana: A review. **Journal of Functional Foods**, v. 47, n. March, p. 457–468, 2018.

SAS. **Statistical Analysis System Institute user's guide: Introduction to statistical modeling with SAS/Stat software SAS/Stat® 9.2 (book excerpt)**. Cary , 2008.

SCHIMPL, F. C. et al. Guarana: Revisiting a highly caffeinated plant from the Amazon. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 150, n. 1, p. 14–31, 2013.

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

SCHOLEY, A.; HASKELL, C. Neurocognitive effects of guaraná plant extract. **Drugs of the Future**, v. 33, n. 10, p. 869–874, 2008.

SCHUBERT, A. et al. Variação anual de metilxantinas totais em amostras de *Ilex paraguariensis* A. ST. - HIL. (erva- mate) em Ijuí e Santa Maria, estadoEstado do Rio Grande do Sul. **Química nova**, v. 29, n. 6, p. 1233–1236, 2006.

SILVA, G. S. DA et al. 1H quantitative nuclear magnetic resonance and principal component analysis as tool for discrimination of guarana seeds from different geographic regions of Brazil. **Proceedings of the XIII International Conference on the Applications of Magnetic Resonance in Food Science**, n. December, p. 21, 2016.

SILVA, G. S. DA; SILVA, L. M. A.; ALVES FILHO, E. DE G.; et al. 1H quantitative nuclear magnetic resonance and principal component analysis as tool for discrimination of guarana seeds from different geographic regions of Brazil. **Magnetic Resonance in Food Science 2016 Proceedings**, v. 1, n. December, p. 21, 2016.

SILVA, G. S. et al. Chemical profiling of guarana seeds (*Paullinia cupana*) from different geographical origins using UPLC-QTOF-MS combined with chemometrics. **Food Research International**, v. 102, n. June, p. 700–709, 2017.

SMITH, N.; ATROCH, A. L. Guaraná's journey from regional tonic to aphrodisiac and global energy drink. **Evidence-based Complementary and Alternative Medicine**, v. 7, n. 3, p. 279–282, 2007.

SMYTH, T. J.; CRAVO, M. S. **Resposta do guaranazeiro a níveis de N, P, K e Mg: Relatório de Projeto**. Manaus: [s.n.].

SONG, R. et al. Correlation between leaf age, shade levels, and characteristic beneficial natural constituents of tea (*Camellia sinensis*) grown in Hawaii. **Food Chemistry**, v. 133, n. 3, p. 707–

714, 2012.

STRECK, E. A. et al. Genotypic performance , adaptability and stability in special types of irrigated rice using mixed models. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 50, n. 1, p. 66–75, 2019.

SUFRAMA. **Projeto potencialidades regionais: Estudo da viabilidade econômica - Guaraná** Manaus Superintendência da Zona Franca de Manaus - Suframa, 2003.

SZARESKI, V. J. et al. Adaptability and stability of wheat genotypes according to the phenotypic index of seed vigor. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 6, p. 727–735, 2018.

SZARESKI, V. J. et al. Adaptability and stability of wheat genotypes according to the phenotypic index of seed vigor. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 6, p. 727–735, 2018.

TAVARES, A. M. et al. **Sistema de produção 2. Cultura do guaranazeiro no Amazonas.** Embrapa Amazônia Ocidental Manaus, 2005.

VALOIS, A. C. C.; CORRÊA, M. P. F.; VASCONCELOS, M. E. DA C. Estudo de caracteres correlacionados com a produção de amêndoa seca no guaranazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 14, n. 2, p. 175–179, 1979.

VERARDI, C. K. et al. Adaptabilidade e estabilidade da produção de borracha e seleção em progênies de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 1277–1282, 2009.

VERISSIMO, M. A. A. et al. Genetic parameters and performance of sugarcane families under cold stress in the South of Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 5, p. 583–592, 2018.

VERISSIMO, M. A. A. et al. Genetic parameters and performance of sugarcane families under cold stress in the South of Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 5, p. 583–592, 2018.

WANG, L. Y. et al. Seasonal climate effects on flavanols and purine alkaloids of tea (*Camellia sinensis* L.). **Eur Food Res Technol**, v. 233, p. 1049–1055, 2011.

WECKERLE, C. S.; STUTZ, M. A.; BAUMANN, T. W. Purine alkaloids in *Paullinia*. **Phytochemistry**, v. 64, n. 3, p. 735–742, 2003.

WEI, K. et al. Catechin contents in tea (*Camellia sinensis*) as affected by cultivar and environment and their relation to chlorophyll contents. **Food Chemistry**, v. 125, n. 1, p. 44–48, 2011.

WENDLING, I. et al. Early selection and classification of yerba mate progenies. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 3, p. 279–286, 2018.

YONEKURA, L. et al. Bioavailability of catechins from guaraná (*Paullinia cupana*) and its effect on antioxidant enzymes and other oxidative stress markers in healthy human subjects. **Food and Function**, v. 7, n. 7, p. 2970–2978, 2016.

3. CONCLUSÃO GERAL

Foi detectada a variabilidade pela dissimilaridade para oito genótipos de guaranazeiro, com a formação de dois grupos e seis sub-grupos. Há diversidade no acúmulo de metilxantinas e fenólicos e na produtividade dentro da espécie (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) sendo possível a utilização da separação em classes de valores.

As produtividades de sementes secas, de cafeína, de catequina e de epicatequina se mostraram parâmetros eficientes para serem utilizados na a seleção de genótipos de guaranazeiros.

As diferenças encontradas com a utilização da relação cafeína/soma de fenólicos possibilitam a separação dos genótipos em 3 grupos comerciais: O “Guaraná energético e antioxidante” acumuladores de cafeína, catequina e epicatequina (CIR815, CIR904, CMA498), “Guaraná antioxidante” acumuladores de catequina e epicatequina (BRS Maués, CMU874), e terceiro “Guaraná energético” com a valores médios de cafeína e valores mais baixos de fenólicos (CMA831 e CMU952, BRS-CG372).

Os genótipos CIR815 e CIR904 têm os maiores teores de cafeína já relatados para o guaraná, e os maiores valores de produtividades de sementes secas, produtividade de cafeína e teores de cafeína, alta adaptabilidade e estabilidade para estes caracteres. BRS Maués e CMU874 tiveram os maiores teores para catequina e epicatequina, alta adaptabilidade e estabilidade para estes caracteres. Os genótipos CIR815, CIR904 e CMU874 são potenciais futuros cultivares.

São propostos cruzamentos de genótipos divergentes e com alta produtividade para serem utilizadas no programa de melhoramento genético do guaranazeiro na busca por maiores teores de Metilxantinas e fenólicos: CIR815 x BRS Maués, BRS Maués x CIR904, BRS-CG372 x CIR815, BRS-CG372 x CIR904, e BRS Maués x BRS-CG372.

Os caracteres agroindustriais de genótipos de guaranazeiro são influenciados pelo ambiente exceto a teobromina que tem alta influencia genética. O acúmulo de cafeína é maior em altas temperaturas e amplitude térmica, e a catequina e epicatequina variam de acordo com precipitação anual. Para maiores teores de cafeína, o guaranazeiro deve ser cultivado em locais com altas temperaturas, e amplitudes térmicas. E para maiores teores de fenólicos é interessante que a cultura do guaraná seja implantada em locais com maiores precipitações médias anuais e o uso de genótipos potenciais para estas características.

REFERÊNCIAS GERAIS

ABIR. **Dados de Mercado**. Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não Alcoólicas. Disponível em: <http://www.abir.gov.br> Acesso em: 10 fev. 2017.

AMAECHI, B. T.; MATHEWS, S. M.; MENSINKAI, P. K. Effect of theobromine-containing toothpaste on dentin tubule occlusion in situ. **Clinical oral investigations**, v. 19, n. 1, p. 109-116, 2015.

ARANTES, L. P. et al. Guarana (*Paullinia cupana* Mart.) attenuates methylmercury-induced toxicity in *Caenorhabditis elegans*. **Toxicology Research**, v. 5, n. 6, p. 1629–1638, 2016.

ASHIHARA, H.; CROZIER, A. Caffeine: a well known but little mentioned compound in plant science. **Trends in plant science**, v. 6, n. 9, p. 407–413, 2001.

ASOLINI, F. C. et al. Antioxidant and Antibacterial Activities of Phenolic Compounds from Extracts of Plants Used as Tea. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 3, p. 209–215, 2006.

ATROCH, A. L. et al. Avaliação e seleção de progênies de meios-irmãos de guaranazeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 53, n. 2, p. 123–130, 2010.

ATROCH, A. L. et al. Domesticação e melhoramento do guaranazeiro. In: LOPES, M. T. G.; CLEMENT, C. R. (Eds.). **Domesticação e Melhoramento de Plantas: Espécies Amazônicas**. UFV ed. Viçosa: [2009]. p. 337–365.

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.

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

BITTENCOURT, L. S. et al. The protective effects of guaraná extract (*Paullinia cupana*) on fibroblast NIH-3T3 cells exposed to sodium nitroprusside. **Food and Chemical Toxicology**, v. 53, p. 119–125, 2013.

CADONÁ, F. C.; MACHADO, A. K.; AZZOLIN, V. F. Guaraná a Caffeine-Rich Food Increases Oxaliplatin Sensitivity of Colorectal HT-29 Cells by Apoptosis Pathway Modulation. **Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry**, v. 16, n. 8, p. 1055–1065, 2016.

CAMPA, C. et al. Diversity in bean Caffeine content among wild *Coffea* species: Evidence of a discontinuous distribution. **Food Chemistry**, v. 91, n. 4, p. 633–637, 2005.

CAMPOS, A. R. et al. Acute effects of guarana (*Paullinia cupana* Mart.) on mouse behaviour in forced swimming and open field tests. **Phytotherapy Research**, v. 19, n. 5, p. 441-443, 2005.

CAMPOS, M. P. O. et al. Guarana (*Paullinia cupana*) improves fatigue in breast cancer patients undergoing systemic chemotherapy. **The Journal of Alternative and Complementary Medicine**, v. 17, n. 6, p. 505-512, 2011.

CARRILLO, L. C.; LONDOÑO-LONDOÑO, J.; GIL, A. Comparison of polyphenol, methylxanthines and antioxidant activity in *Theobroma cacao* beans from different cocoa-growing areas in Colombia. **Food Research International**, v. 60, p. 273–280, 2014.

CONAB. **Guaraná: Análise mensal**. CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento, 2017.

CONAB. **Preços agrícolas - Guaraná** Manaus CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento, 2018.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. 1º ed. Viçosa: UFV, 2011.

DREYSE, J. et al. Beneficios clínicos y funcionales de agregar teofilina a la terapia inhalatoria con broncodilatadores de acción corta en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. **Revista médica de Chile**, v. 133, n. 10, p. 1211-1219, 2005.

DUCKE, A. Diversidade dos guaranás. **Rodriguésia**, v. 3, n. 10, p. 155–159, 1937.

ESCOBAR, J. R.; COSTA, P. R. C. DA; CORRÊA, M. P. F. **Variação do teor de cafeína na sementes de guaraná em progênes de polinização aberta**: Boletim de pesquisa. Manaus, 1985.

FIGUEROA, A. L. G. Guaraná, a máquina do tempo dos Sateré-Mawé. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi: Ciencias Humanas**, v. 11, n. 1, p. 55–85, 2016.

FRIEDRICH, J. C. et al. Genetic and Phytochemical Analysis to Evaluate the Diversity and Relationships of Mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) Elite Genetic Resources in a Germplasm Collection. **Chemistry and Biodiversity**, v. 14, n. 3, 2017.

FUKUMASU, H. et al. Protective effects of guarana (*Paullinia cupana* Mart. var. *Sorbilis*) against DEN-induced DNA damage on mouse liver. **Food and chemical toxicology**, v. 44, n. 6, p. 862-867, 2006.

HENMAN, A.R. Guarana (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*): Ecological and social perspectives on an economic plant of the central Amazon basin. **J. Ethnopharmacol.** 6, 311-338, 1982.

IBGE, I. B. DE G. E E. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. 2017. **Estatística da Produção Agrícola**, v. 29, n. 12, p. 1–82, 2017b.

IBGE, I. B. DE G. E E. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. 2017. **Estatística da Produção Agrícola**, v. 29, n. 12, p. 1–82, 2017b.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal Instituto**, 2017a.

IVOGLO, M. G. et al. Divergência genética entre progênes de café robusta. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 823–831, 2008.

KOFINK, M.; PAPAGIANNOPOULOS, M.; GALENSA, R. (-)-Catechin in Cocoa and Chocolate: Occurrence and Analysis of an Atypical Flavan-3-ol Enantiomer. **Molecules**, v. 12, p. 1274–1288, 2007.

LANGGAARD, T. J. H. **Diccionario de medicina domestica e popular**. Tomo 2. Rio de Janeiro: Eduardo & Henrique Laemmert, 1865.

LIMA, W. P. et al. Lipid metabolism in trained rats: effect of guarana (*Paullinia cupana* Mart.) supplementation. **Clinical Nutrition**, v. 24, n. 6, p. 1019–1028, 2005.

LORENZ, S. S. **Os filhos do guaraná**. Centro de Trabalho Indigenista – CTI/SP. Disponível em: <http://pib.socioambiental.org/pt/povo/satere-mawe/968>. Acessado em: 05 mar. 2011, 2000.

LUNGUINHO, L.G., **Padrão do florescimento em clones de guaranazeiro (*Paullinia cuapana* var. *sorbilis*)**. Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Manaus-AM, p. 85, 2007.

MAGOMA, G. N. et al. The use of catechins as biochemical markers in diversity studies of tea (*Camellia sinensis*). **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 47, n. 2, p. 107–114, 2000.

MAJHENIČ, L.; ŠKERGET, M.; KNEZ, Ž. Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. **Food Chemistry**, v. 104, n. 3, p. 1258–1268, 2007.

MICHILES, R. J. **A cadeia produtiva do guaraná: Um estudo com o Guaraná no Município de Maués**. [s.l.] Universidade Federal do Amazonas, 2010.

MONTEIRO, M. Y. **Antropogeografia do guaraná**. Conselho Nacional de Pesquisas, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 1965.

MOUSTAKAS, D. et al. Guarana provides additional stimulation over caffeine alone in the planarian model. **PloS one**, v. 10, n. 4, p. 1–17, 2015.

NAGATA, T.; SAKAI, S. Caffeine, flavanol and amino acid contents in leaves of hybrids and species of the section Dubie in the genus *Camellia*. **Japanese Journal of Breeding**, v. 35, n. 1, p. 1–8, 1985.

NAKAMURA, K. L. et al. Genetic variation of phytochemical compounds in progenies of *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, n. June, p. 116–123, 2009.

NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Adaptabilidade e estabilidade de clones de guaraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1138–1144, 2009.

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

NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Divergência genética entre clones de guaranazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 501–506, 2001.

NASCIMENTO FILHO, F. J. et al. Interação de clones de guaraná por locais. In: **Seminário sobre pesquisas com o guaranazeiro na Amazônia**. Embrapa Am ed. Manaus: [2005]. p. 202–211.

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.; CRUZ, C. D.; GARCIA, T. B. Divergência genética em plantas jovens de guaranazeiro e possibilidade de melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 12, p. 1571–1577, 1992.

OLIVEIRA CAMPOS, MP, RIECHELMANN, R., MARTINS, LC, HASSAN, BJ, CASA, FBA; GIGLIO, AD O guaraná (*Paullinia cupana*) melhora a fadiga em pacientes com câncer de mama submetidos à quimioterapia sistêmica. **O Jornal de Medicina Alternativa e Complementar**, v. 17, n. 6, p. 505-512, 2011.

PEIXOTO, H., ROXO, M., RÖHRIG, T., RICHLING, E., WANG, X.; WINK, M. Anti-aging and antioxidant potential of *Paullinia cupana* var. *sorbilis*: Findings in *Caenorhabditis elegans* Indicate a new utilization for roasted seeds of Guarana. **Medicines**, v. 4, n. 3, 61, 2017. <http://dx.doi.org/10.3390/medicines4030061>.

PEREIRA, N. **Os Índios Mawé**. Organização Simgtws, 1954.

PINTO, C. E. D. L. et al. Seleção de clones de guaranazeiro para adaptabilidade e estabilidade no Estado do Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, p. 1–7, 2018.

RUCHEL, J. B. et al. Guarana (*Paullinia cupana*) ameliorates memory impairment and modulates acetylcholinesterase activity in Poloxamer-407-induced hyperlipidemia in rat brain. **Physiology and Behavior**, v. 168, p. 11–19, 2017.

RUCHEL, J. B. et al. Hypercholesterolemia and Ecto-enzymes of Purinergic System: Effects of *Paullinia cupana*. **Phytotherapy Research**, v. 30, n. 1, p. 49–57, 2016.

SALOMÃO-OLIVEIRA, A. et al. Benefits and Effectiveness of Using *Paullinia cupana*: A Review Article. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 6, n. 8, p. 497–503, 2018.

SCHIMPL, F. C. et al. Guarana: Revisiting a highly caffeinated plant from the Amazon. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 150, n. 1, p. 14–31, 2013.

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

SMITH, N.; ATROCH, A. L. Guaraná's journey from regional tonic to aphrodisiac and global energy drink. **Evidence-based Complementary and Alternative Medicine**, v. 7, n. 3, p. 279–282, 2007.

SOMNER, G. V. ***Paullinia L. (Sapindaceae): morfologia, taxonomia e revisão de Paullinia*** sect. *Phygotylon*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2001.

SOUZA, V.C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira**. Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2005.

SPOLADORE, D. S.; BOAVENTURA, M. A. M.; SÁES, L. A. Teor de cafeína em sementes matrizes do guaranazeiro. **Bragantia**, v. 46, n. 2, p. 425–429, 1987.

SUFRAMA. **Projeto potencialidades regionais: Estudo da viabilidade econômica - Guaraná.** Superintendência da Zona Franca de Manaus - Suframa, Manaus, 2003.

VALOIS, A. C. C.; CORRÊA, M. P. F.; VASCONCELOS, M. E. DA C. Estudo de caracteres correlacionados com a produção de amêndoa seca no guaranazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 14, n. 2, p. 175–179, 1979.

YAMAGUTI-SASAKI, E. et al. Antioxidant capacity and in vitro prevention of dental plaque formation by extracts and condensed tannins of *Paullinia cupana*. **Molecules**, v. 12, n. 8, p. 1950-1963, 2007.

YONEKURA, L. et al. Bioavailability of catechins from guaraná (*Paullinia cupana*) and its effect on antioxidant enzymes and other oxidative stress markers in healthy human subjects. **Food and Function**, v. 7, n. 7, p. 2970–2978, 2016.