

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E
BIOLOGIA MOLECULAR



**Herança genética do acúmulo diferenciado de nutrientes
minerais, Cd, Pb e Ni em sementes e da partição de biomassa
seca no fruto de cacau**

JADIEL DE SANTANA SOUZA

ILHÉUS – BAHIA - BRASIL

Março de 2019

JADIEL DE SANTANA SOUZA

Herança genética do acúmulo diferenciado de nutrientes minerais, Cd, Pb e Ni em sementes e da partição de biomassa seca no fruto de cacau

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Santa Cruz, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Biologia Molecular.

Área de concentração: Genética e Biologia Molecular.

ILHÉUS – BAHIA – BRASIL

Março de 2019

S729

Souza, Jadiel de Santana.

Herança genética do acúmulo diferenciado de nutrientes minerais, Cd, Pb e Ni em sementes e da partição de biomassa seca no fruto de cacau / Jadiel de Santana Souza. – Ilhéus, BA: UESC, 2019. 88f. : il.

Orientador: Alex Alan Furtado de Almeida
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular.
Inclui referências.

1. Cacau. 2. Minerais na nutrição. 3. Cruzamentos dialélicos. 4. Cacau – Melhoramento genético. 5. Hereditariiedade. 6. Hibridação vegetal. I. Título.

CDD 633.74

JADIEL DE SANTANA SOUZA

Herança genética do acúmulo diferenciado de nutrientes minerais, Cd, Pb e Ni em sementes e da partição de biomassa seca no fruto de cacau

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Santa Cruz, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Biologia Molecular.

Área de concentração: Genética e Biologia Molecular.

**Prof. Dr. Emerson Alves dos Santos
(IF Baiano-BA)**

**Prof. Dr^a. Bruna Carmo Rehem
(IFBA-BA)**

**Prof. Dr. Raúl René Meléndez Valle
(CEPLAC / UESC-BA)**

**Prof. Dr. Alex Alan Furtado de Almeida
(UESC - Orientador)**

DEDICATÓRIA

Aos meus Pais Sandoval e Gersonita,
pela força, amor e incentivo.
Minha irmã Jesana, pelo apoio.
Aos meus amigos que contribuíram no dia a dia.
E orientadores.

AGRADECIMENTOS

À Deus que, está presente em todos os momentos sempre do meu lado, me ajudando a trilhar novos caminhos em minha vida.

Aos meus familiares pelo incentivo e confiança.

À Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) que se tornou minha segunda casa e pelo suporte ao projeto.

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular da Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC

Ao meu orientador e professor Dr. Alex-Alan Furtado de Almeida, por todos os incentivos, ensinamentos, amizade, paciência nas várias etapas de construção deste projeto.

Ao meu coorientador, Dr. Dário Ahnert, pelas oportunidades profissionais, confiança, ensinamentos, dedicação e amizade.

A minha coorientadora, Dr^a. Ivanildes, pela amizade ao longo desses anos, paciência e colaboração para realização deste trabalho.

Ao Dr. Raúl René Meléndez Valle, pelo apoio logístico e colaboração para realização deste trabalho.

A Fabrícia, e Mara secretárias do Programa de Pós-graduação em Genética e Biologia Molecular, pelo suporte logístico e assessoria acadêmica.

À Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), pelo fornecimento de suporte técnico, na realização de etapas da pesquisa; em especial ao Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC), laboratório de Fisiologia Vegetal, particularmente aos servidores, Antônio, Nelson, Maurino e Rufino.

Aos amigos Francisca, Julian, Samara Souza, Thaíse, Naiara, Nathy, e Joelson, pelo apoio incondicional à realização deste trabalho e acima de tudo pela credibilidade, que me incentiva a cada vez mais ultrapassar barreiras e em busca de novas conquistas.

Enfim a todos que me apoiaram e participaram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1. <i>Theobroma cacao</i> L.	17
2.2. Elementos minerais.....	19
2.3. Nutrientes minerais: importância econômica e eficiência nutricional	20
2.4. Biometria de frutos e sementes.....	22
2.5. Origem das contaminações por metais pesados	23
2.6. Cruzamentos dialélicos	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1. Material genético e delineamento experimental	26
3.2. Atributos biométricos e biomassa seca do fruto	29
3.3. Conteúdo de macro e micronutrientes minerais e metais nas sementes	29
3.4. Análise multivariada para variáveis biométricas, nutrientes minerais e metais	30
3.5. Análises estatísticas.....	30
4. RESULTADOS	32
4.1. Atributos biométricos.....	32
4.2. Conteúdo de macronutrientes minerais em sementes mais polpa	40
4.3. Conteúdo de micronutrientes minerais em sementes mais polpa	44
4.4. Concentrações de Ni, Cd e Pb em sementes mais polpa	46
4.5. Análise de agrupamento	48
4.6. Análise dialélica	49
5. DISCUSSÃO.....	59
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
7. REFERÊNCIAS	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relação da biomassa seca total em frutos de <i>T. cacao</i> em cruzamento dialélico..	40
Figura 2. Conteúdo de Ni (A), Pb (B) e Cd (C) em biomassa seca de sementes mais polpa de <i>T. cacao</i> resultante do cruzamento dialélico entre genótipos de cacau.....	47
Figura 3. Análise de agrupamento de genótipos de <i>T. cacao</i> , resultantes de cruzamento dialélico com base na distância euclidiana para variáveis de crescimento do fruto e da composição química das sementes mais polpa, avaliada usando o método de agrupamento.	49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Esquema de cruzamentos dialélicos envolvendo 10 genótipos de <i>T. cacao</i>	26
Tabela 2 – Características químicas e físicas do solo, em três profundidades, da área experimental.....	28
Tabela 3 – Esquema da análise de variância para dialelos balanceados, envolvendo apenas os híbridos F1 segundo metodologia proposta por Griffing (1956).	31
Tabela 4 - Análise de variância das 26 variáveis analisadas no estudo.....	32
Tabela 5- Dados de biometria dos frutos de progênies de <i>T. cacao</i> em cruzamentos dialélicos.....	36
Tabela 6 - Médias da biomassa seca total do fruto (BST), diâmetro do fruto (DF), comprimento do fruto (CF) e relação CF/DF entre progênies de <i>T. cacao</i>	38
Tabela 7 - Conteúdo de macronutrientes minerais em biomassa seca de sementes mais polpa (BSS+P) do cruzamento dialélico entre 10 genótipos de <i>T. cacao</i>	43
Tabela 8- Conteúdo de micronutrientes minerais em biomassa seca de sementes mais polpa (BSS+P) de cruzamento dialélico de 10 genótipos de <i>T. cacao</i>	45
Tabela 9 - Análise de variância dos efeitos dos tratamentos para os caracteres biométricos e de biomassa seca dos frutos de <i>T. cacao</i> e de suas partes.	50
Tabela 10 - Efeito da capacidade geral de combinação (CGC) dos genitores de <i>T. cacao</i> para os caracteres e de biomassa seca do fruto e de suas partes.	51
Tabela 11 - Estimativas das capacidades específicas de combinação (s_{ij}) relativas às características biométricas e de biomassa seca de frutos de <i>T. cacao</i> e de suas partes.	53

Tabela 12 - Análise de variância dos efeitos dos tratamentos para os macro e micronutrientes minerais em sementes mais polpa (BSS+P) de frutos de *T. cacao* das progênies analisadas.54

Tabela 13 - Efeito da capacidade geral de combinação (CGC) dos genitores de *T. cacao* para macro e micronutrientes minerais.55

Tabela 14 - Estimativas das capacidades específicas de combinação (s_{ij}) relativas aos nutrientes minerais de sementes mais polpa de frutos das progênies de *T. cacao*.56

Tabela 15 - Análise de variância dos efeitos dos tratamentos, sobre a absorção de níquel (Ni), chumbo (Pb) e cádmio (Cd).....57

Tabela 16 - Efeito da capacidade geral de combinação (CGC) dos genitores de *T. cacao* para Ni, Pb e Cd.....57

EXTRATO

SOUZA, Jadiel de Santana, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2018. **Herança genética do acúmulo diferenciado de nutrientes minerais, Cd, Pb e Ni em sementes e da partição de biomassa seca no fruto de cacau.** Orientador: Alex-Alan Furtado de Almeida. Coorientadores: Dário Ahnert e Ivanildes Conceição dos Santos.

A espécie *Theobroma cacao* tem sua produtividade limitada pelo excesso ou escassez de macro e, ou micronutrientes minerais. A busca de uma agricultura com menor consumo energético e ecologicamente sustentável tem estimulado pesquisas visando identificar e selecionar material genético e entender os mecanismos responsáveis pela maior eficiência nutricional de plantas. Além disso, nos últimos anos, a absorção de Cd, Ni e Pb pelas plantas de *T. cacao* ganhou atenção e deu origem a preocupações com a segurança alimentar, pois verificou-se que produtos com elevado teor de cacau contêm mais Cd, Ni e Pb do que a maioria dos outros alimentos. Neste estudo, utilizou-se progênies de *T. cacao* em cruzamentos dialélicos completos a fim de estimar a capacidade combinatória, e obter informações genéticas para a identificação de genitores e progênies com capacidade diferenciada em relação ao acúmulo de nutrientes minerais, Cd, Ni e Pb nas sementes, e a partição de biomassa seca em frutos. Os dados foram coletados em um experimento de campo na Bahia, Brasil. Os genótipos utilizados para os cruzamentos dialélicos completos foram PS 13.19, PH 15, BN 34, PS 10.30, PH 16, FA 13, SJ 02, CEPEC 2002, CCN 51 e CEPEC 2004, considerados de alta produtividade e tolerantes a vassoura de bruxa. Foram coletadas amostras de solo na área de cultivo, bem como os frutos das progênies que apresentavam cerca de cinco anos de idade, para avaliar as concentrações de macro e micronutrientes minerais, Cd, Ni e Pb nas sementes, a partição da biomassa seca no fruto, a capacidade geral e específica de combinação e o agrupamento com base na distância euclidiana. Houve variações significativas nos atributos biométricos dos frutos de *T. cacao* para os cruzamentos BN 34 x CCN 51, BN 34 x FA 13, PH 16 x PS 13.19, PH 16 x SJ 02 e CCN 51 x PS 13.19, que apresentaram os maiores valores médios para as variáveis número de sementes (NS), peso individual de sementes (PIS) e biomassa seca de semente mais polpa (BSS+P) e os menores valores para o índice de frutos (IF). Por outro lado, os cruzamentos BN 34 x FA 13, PH 16 x PS 13.19 apresentaram os maiores valores médios de conteúdo de macro (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes minerais (Fe, Zn, Cu e Mn) na BSS+P. Já o cruzamento CEPEC 2002 x CCN 51 apresentou os menores valores médios para todos nutrientes minerais analisados. Além disso, os cruzamentos CEPEC 2002 x CEPEC 2002, CEPEC 2002 x CCN 51 e CEPEC 2002 x PS 10.30 apresentaram os menores conteúdos de Ni na BSS+P. Por outro lado, o cruzamento CCN 51 x PS 13.19 apresentou valores elevados desse metal. Para Pb, os valores mínimo e máximo na BSS+P foram de 0,36 mg fruto⁻¹ (CEPEC 2002 x PH 16) e 0,96 mg fruto⁻¹ (CCN 51 x PS 13.19 e PH 16 x PS 13.19), respectivamente. Já para o Cd, os valores na BSS+P variaram entre 0,03 mg fruto⁻¹ (CEPEC 2004 x SJ 02) e 0,19 mg fruto⁻¹ (PH 16 x SJ 02). A partir das análises de agrupamento baseada na similaridade, foi possível verificar a formação de quatro grupos distintos. Os cruzamentos BN 34 x CCN 51, BN 34 x FA 13, CCN 51 x PS 13.19 e PH 16

x PS 13.19 formaram o primeiro grupo, principalmente pelos maiores valores de biomassa seca total (BST), N, P, K, Ni e Pb em relação aos demais cruzamentos. Por outro lado, os cruzamentos CEPEC 2002 x CEPEC 2002, CEPEC 2004 x PS 10.30, CEPEC 2004 x SJ 02, CEPEC 2002 x CCN 51, CEPEC 2002 x PH 16, FA 13 x PS 13.19, CEPEC 2002 x PS 10.30 e PH 15 x PH 16 formaram o segundo grupo principalmente pelos menores valores para a maioria dos macro e micronutrientes minerais, metais pesados e BST. Verificou-se alta herdabilidade principalmente para as variáveis BST, N, P, K e Ni. O genitor CEPEC 2002 apresentou alta capacidade geral de combinação (CGC) e efeito negativo para as variáveis de crescimento. Assim como os genitores BN 34, PH 16 e PS 10.30 demonstraram alta CGC principalmente para as variáveis de produção de IF e BSS. As progênies PH 16 x PS 13.19, PH 16 x PS 10.30, PH 16 x SJ 02 e PS 10.30 x PS 13.19 demonstraram alta capacidade específica de combinação (CEC) para IF e BSS. O genitor CEPEC 2002 apresentou efeitos significativos e negativos de CGC para o conteúdo de Ni, Pb e Cd na BSS+P ($p<0,01$). Por outro lado, o genitor PS 10.30 apresentou efeitos significativos positivos ($p<0,05$ e $p<0,01$) para o conteúdo de Ni, Pb e Cd na BSS+P. As progênies BN 34 x SJ 02, CCN 51 x PS 10.30, CCN 51 x SJ 02 e PH 16 x PS 10.30 apresentaram efeitos negativos significativos para as estimativas de CEC do conteúdo de Ni, Pb e Cd na BSS+P de frutos das progênies. Os genitores BN 34, PH 16 e PS 13.19 apresentaram CGC para as variáveis biométricas e de N, P e K, pois os cruzamentos em que participaram proporcionou maior acúmulo de genes com efeitos aditivos favoráveis e podem ser considerados para futuras combinações interessantes no melhoramento da espécie. Além disso, as variáveis BST, N, P e K tiveram maior contribuição na separação dos cruzamentos e podem ser utilizadas na seleção de plantas nos programas de melhoramento genético de *T. cacao*.

Palavras-chave: *Theobroma cacao*, nutrição mineral, cruzamentos dialélicos, progênies, capacidade geral de combinação.

ABSTRACT

SOUZA, Jadiel de Santana, State University of Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2018. **Genetic inheritance of the differentiated accumulation of mineral nutrients, Cd, Pb and Ni in seeds and the partition of dry biomass in the cocoa pod.** Alex-Alan Furtado de Almeida. Co-advisers: Dario Ahnert and Ivanildes Conceição dos Santos.

Theobroma cacao species has its productivity limited by excess or scarcity of macro and/or mineral micronutrients. Search for a less energy consumption and ecologically sustainable agriculture has stimulated research to identify and select genetic material and to understand the mechanisms responsible for the greater nutritional efficiency of plants. In addition, in recent years, the absorption of Cd, Ni and Pb by *T. cacao* plants has gained attention and has given rise to concerns about food safety, as it has been found that products with high cocoa content contain more Cd, Ni and Pb than most foods. In this study, *T. cacao* progenies were used in complete diallel crosses to estimate the combinatorial capacity and to obtain genetic information for the identification of progenitors and progenies with differentiated capacity in relation to the accumulation of mineral nutrients, Cd, Ni and Pb in seeds and pod dry biomass partitioning. Data were collected in a field experiment in Bahia, Brazil. Genotypes used for complete diallel crosses were PS 13.19, PH 15, BN 34, PS 10.30, PH 16, FA 13, SJ 02, CEPEC 2002, CCN51 and CEPEC 2004, considered to be high of productivity and tolerant to witches' broom. Soil samples were collected in the growing area, as well as pods of the progenies that were about five years old, to evaluate macro and micronutrient, Cd, Ni and Pb concentrations in the seeds, partitioning of the pod dry biomass, general and specific combining abilities, and clustering based on Euclidean distance. There were significant variations in the biometric parameters of the cocoa pods for the BN 34 x CCN 51, BN 34 x FA 13, PH 16 x PS 13.19, PH 16 x SJ 02 and CCN 51 x PS 13.19 crosses, which had the highest mean values for seed number (SN), individual seed weight (ISW) and dry seed biomass plus pulp (DSB+P) and the lowest values for pod index (PI). On the other hand, the crosses BN 34 x FA 13, PH 16 x PS 13.19 showed the highest mean values of macro (N, P, K, Ca and Mg) content and mineral micronutrients (Fe, Zn, Cu and Mn) in DSB+P. Cross CEPEC 2002 x CCN 51 showed the lowest mean values for all mineral nutrients analyzed. In addition, the crosses CEPEC 2002 x CEPEC 2002, CEPEC 2002 x CCN 51 and CEPEC 2002 x PS10.30 presented the lowest Ni contents in DSB+P. On the other hand, the crossing CCN 51 x PS 13.19 showed high values of this metal. For Pb, the minimum and maximum values in DSB+P were 0.36 mg pod⁻¹ (CEPEC 2002 x PH 16) and 0.96 mg pod⁻¹ (CCN 51 x PS 13.19 and PH 16 x PS 13.19), respectively. For the Cd, the values in DSB+P varied between 0.03 mg pod⁻¹ (CEPEC 2004 x SJ02) and 0.19 mg pod⁻¹ (PH 16 x SJ 02). From the clustering analysis based on similarity, it was possible to verify the formation of four distinct groups. The crosses BN34 x CCN51, BN34 x FA13, CCN51 x PS13.19 and PH16 x PS13.19 formed the first group, mainly due to the higher values of total dry biomass (TDB), N, P, K, Ni and Pb in relation to the other crosses. On the other hand, the crosses CEPEC 2002 x CEPEC 2002, CEPEC 2004 x PS 10.30, CEPEC 2004 x SJ 02, CEPEC 2002 x CCN 51, CEPEC 2002 x PH 16, FA 13 x PS 13.19, CEPEC 2002 x PS 10.30 and PH 15 x PH 16 formed the second group mainly due to the lower values for most macro and micronutrients minerals, heavy metals and TDB. High

heritability was verified mainly for TDB, N, P, K and Ni variables. CEPEC 2002 showed high general combining ability (GCA) and negative effect for the growth variables. As well as BN 34, PH 16 and PS 10.30 parents showed high GCA mainly for IF and BDS production variables. The progenies PH 16 x PS 13.19, PH 16 x PS 10.30, PH 16 x SJ 02 and PS 10.30 X PS 13.19 showed high specific combining ability (SCA) for IF and BDS. The CEPEC 2002 genitor showed significant and negative GCA effects for Ni, Pb and Cd content in DSB+P ($p<0.01$). On the other hand, the PS 10.30 parent showed significant positive effects ($p<0.05$ and $p<0.01$) for Ni, Pb and Cd content in DSB+P. Progenies BN 34 x SJ 02, CCN 51 x PS 10.30, CCN 51 x SJ 02 and PH16 x PS10.30 showed significant negative effects for SCA estimates of Ni, Pb and Cd content in DSB+P of progeny pods. BN 34, PH 16 and PS 13.19 parents showed high GCA for the biometric and N, P and K variables, since the crosses in which they participated provided greater accumulation of genes with favorable additive effects and can be considered for future interesting combinations in the breeding of the species. In addition, the variables TDB, N, P and K had the greatest contribution in the separation of the crosses and can be used in the selection of plants in genetic improvement programs of *T. cacao*.

Key words: *Theobroma cacao*, mineral nutrition, dry biomass, diallel crosses, progenies, general combining ability.

1. INTRODUÇÃO

O *Theobroma cacao* L. foi reclassificado, por meio de estudos anatômicos, morfológicos e filogenéticos, como pertencente à família Malvaceae (CUATRECASAS, 1964; SINDONI, 2006; SÁNCHEZ, 2011). Seu produto comercial são as sementes, fermentadas e secas, utilizadas para a extração de manteiga de cacau e líquido aproveitados para fabricação de diversos produtos como o chocolate, bebidas refinadas, sorvetes, sucos e cosméticos, (ALMEIDA; VALLE, 2007).

Os elementos Cd, Ni e Pb fazem parte de um grupo de metais pesados que vem ganhando a atenção dos órgãos de fiscalização e normatização internacionais como a FAO/OMS, Comissão Européia e EFSA (*European Food Safety Authority*) pela toxicidade dos mesmos. Isto, por sua vez, vem gerando restrições, estabelecendo novos limites desses metais em produtos específicos de cacau e chocolates, o que dificultará principalmente a exportação da matéria prima. As amêndoas de cacau produzidas em vários países, principalmente os países da América Latina, apresentam contaminação por metais pesados (AIKPOKPODION et al., 2013; AREVALO et al., 2017; GRAMLICH et al., 2017).

O cacau está entre as principais *commodities*, com milhões de pessoas dependendo diretamente dessa cultura para a sua subsistência (FAO, 2003). O Brasil é o sétimo produtor mundial de cacau e sua cadeia produtiva participa com cerca de R\$ 26 bilhões no produto interno bruto (PIB), estando como o terceiro maior parque confeiteiro do mundo, atrás dos Estados Unidos e da Alemanha (ICCO, 2017; GOMES, 2018). No Brasil uma área de aproximadamente 698 mil hectares é ocupada pelo cultivo de cacau, com estimativa de produção de 272,7 mil toneladas e crescimento de 27,2% em relação a 2017. No país, a Bahia e o Pará, são responsáveis por 94,7% do total produzido em 2018 (IBGE, 2018).

Estudos sobre mecanismos responsáveis por maior eficiência nutricional de plantas têm sido estimulados devido à procura por uma atividade agrícola mais eficiente no uso energético e ecologicamente sustentável (TOMAZ et al., 2003). A eficiência

nutricional pode ser definida como a capacidade de absorção e, ou utilização de nutrientes pelas plantas (EPSTEIN, 1972; CLARKSON; HANSON, 1980; CLARK, 1983).

A identificação de genótipos e cultivares com alta capacidade na absorção e utilização de nutrientes e que possibilitem melhorias de rendimento em campo, pode ser realizada a partir de avaliações do uso eficiente de nutrientes minerais (FAGERIA; BALIGAR, 2001). Com isso, verifica-se a possibilidade de selecionar e melhorar cultivares mais eficiente quanto ao uso de nutrientes minerais, uma vez que a absorção, o transporte e a redistribuição de nutrientes minerais apresentam controle genético (GABELMAN; GERLOFF, 1983; FAGERIA, 1989; SANTANA et al., 2002; LAVIOLA; DIAS, 2008 FRITSHE-NETO et al., 2010; AMARAL et al., 2011; PINTO et al., 2011; OLIVAS, 2018). A produção de grãos vem sendo o melhor parâmetro para avaliação da eficiência nutricional em culturas anuais em experimento de campo (FAGERIA, 1998). Muniz et al. (2013) avaliaram a exportação de nutrientes minerais para os frutos de cacau de diferentes clones e determinaram a demanda de macro e micronutrientes minerais.

O conhecimento dos caracteres e mecanismos envolvidos na eficiência nutricional, e sua herança genética para seleção de germoplasma e no direcionamento de cruzamentos, para a produção de populações segregantes é de suma importância para os programas de melhoramento (BORÉM, 2001; HIREL et al., 2007). Um dos métodos genético e estatístico de grande importância, que auxilia nesta questão, é o método dialélico, que fornece parâmetros úteis na seleção de genitores e no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres de interesse (RAMALHO et al., 1993; CRUZ et al., 2004).

Há várias metodologias utilizadas na interpretação e exploração dos dados de cruzamentos dialélicos (CRUZ; REGAZZI, 1997). Dentre estas se destacam a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) e a de Griffing (1956), que estudam em detalhes a heterose e fornecem informações detalhadas a partir do desdobramento das somas dos quadrados de tratamentos sobre a capacidade específica e geral de combinação dos genitores em cruzamentos artificiais, respectivamente.

A capacidade geral de combinação (CGC) gera estimativa, com base no comportamento médio de um genitor em diversas combinações híbridas, e está

associada às ações epistáticas do tipo aditivas e aos efeitos aditivos dos alelos (CRUZ; VENCOVSKY, 1989). Já a capacidade específica de combinação (CEC) é utilizada para gerar estimativas de desvios do comportamento de um híbrido em relação ao esperado com base na CGC, associada aos efeitos de dominância e epistasia (CRUZ; VENCOVSKY, 1989; CRUZ; REGAZZI, 1997).

Em cacau, os estudos da capacidade combinatória de genitores, tiveram o foco principalmente na produtividade, resistência a doenças e aspectos relacionados com a qualidade (LOCKWOOD; PANG, 1993; PIRES et al., 2003; SANTOS, 2016). Apesar disso, ainda são escassos esses estudos na cultura do cacau, principalmente para o conhecimento da herança genética da absorção de nutrientes minerais e de Cd, Ni e Pb do solo e do transporte destes nutrientes e metais tóxicos para os drenos metabólicos preferenciais, como os frutos e suas partes, principalmente as sementes que tem grande valor econômico.

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar as características de partição de biomassa seca no fruto e o acúmulo de nutrientes minerais e de metais tóxicos (Cd, Pb e Ni) em sementes de 10 genótipos elites de cacau (BN 34, CEPEC 2002, CEPEC 2004, CCN 51, FA 13, PH 15, PH 16, PS 10.13, PS 13.19 e SJ 02), em diferentes combinações dialélicas, a fim de fornecer informações que possam subsidiar, futuramente, o programa de melhoramento do cacauero.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. *Theobroma cacao* L.

Theobroma cacao L. é uma espécie lenhosa, diploide ($2n = 20$) e preferencialmente alógama (FIGUEIRA et al., 1992; ALVERSON et al. 1999; APG II, 2003). Pertence a família Malvaceae e tem como centro de origem as florestas quentes e úmidas das terras baixas do México, da América Central e das bacias do rio Amazonas e Orinoco

(CUATRECASAS, 1964; SINDONI, 2006; SÁNCHEZ, 2011; ZARRILLO, 2018). Muitos de seus genótipos apresentam incompatibilidade gamética e grande parte não produz zigotos por autopolinização (autoincompatíveis), outros apresentam autopolinização (autocompatíveis) e alguns podem apresentar ainda interincompatibilidade (DIAS, 2001). Desta forma, as populações de cacauero apresentam grande variabilidade genética, sendo uma característica importante para os programas de melhoramento (DIAS, 2001).

A espécie *T. cacao* está dividida em três grandes grupos utilizados no melhoramento genético: Crioulos, Forasteiros ou Amazônicos e os Trinitários (CHEESMAN, 1944), que apresentam distintas variações morfológicas, genéticas e origens geográficas (BARTLEY, 2005). O grupo Crioulo foi domesticado a mais de três mil anos na Mesoamérica pelos indígenas (MCNEIL, 2006), sendo hoje cultivado principalmente na Venezuela, outros países da América Latina, Madagascar, Ilhas Comores, Sri Lanka, Java e Samoa, e representa apenas 5% da produção mundial. O grupo forasteiro, com cerca de 80% das plantações, predomina na cacauicultura mundial (MARITA et al., 2001). Já o grupo Trinitário foi originado da hibridização entre Forasteiro e Crioulo, iniciado em Trinidad e Tobago, em meados do século XVIII, sendo cultivado comercialmente no Caribe e Papua Nova Guiné e representa 15% da produção mundial (CHEESMAN 1944; CARR; LOCKWOOD, 2011; ZHANG et al., 2015).

Há uma grande variabilidade genética entre e dentro dos bancos ativos de germoplasmas de cacau (BAG), demonstrada em diversos estudos sobre caracterização e avaliação morfoagronômica, relacionadas a autoincompatibilidade, folhas, flores, semente e frutos, além do porte e arquitetura da planta (CASTRO; BARTLEY, 1983, 1985; CASTRO et al., 1989; BARTLEY, 2005, ALMEIDA et al, 2009, NOGUEIRA et al, 2018) e produção e resistência a doenças (FONSECA; ALBUQUERQUE, 1999; PIRES, 2003, SANTOS, 2015).

Ao longo dos anos a composição genética das variedades híbridas distribuídas tem sido enriquecida, sofrendo modificações no programa de melhoramento com as constantes informações sobre o desempenho dos novos materiais botânicos (ALMEIDA et al., 2016). Essas variedades híbridas, com um bom manejo tem apresentado resultados promissores de 1.200 kg de amêndoas secas ha⁻¹ ano⁻¹ (ALMEIDA et al.,

2011), e até desempenho maiores, como em propriedades no Pará, com até 2.200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (MENDES; LIMA, 2001).

A diversidade genética favorece o melhoramento genético, pois dá subsídios para identificação de genótipos promissores (RABBANI et al., 2012; SARTORETTO; FARIAS, 2012). Diversos estudos em cacau têm demonstrado grande diversidade genética por meio de técnicas moleculares (ALMEIDA; VALLE, 2007; ARAÚJO et al., 2009; AFOAKWA et al., 2011), morfológicas e biométricas (ALMEIDA et al., 2009; ALEXANDRE et al., 2015; VENIAL et al., 2017), auxiliando no melhoramento da espécie.

2.2. Elementos minerais

De acordo com Malavolta (2008), os nutrientes minerais podem ser essenciais e benéficos. Em plantas superiores, 19 elementos estão classificados como essenciais, satisfazendo aos seguintes critérios de essencialidade estabelecidos por Arnon e Stout (1939): (i) O elemento está incorporado a um composto ou fazendo parte de uma reação importante do metabolismo; (ii) Antes de terminar seu ciclo de vida a planta morre na falta do elemento; (iii) Nenhum outro elemento pode ocupar seu lugar.

Entre os elementos essenciais estão os macronutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S), exigidos em maiores doses, e os micronutrientes (B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se e Zn) requeridos em menores doses pela planta (CASTRO, 2007). Já aqueles minerais que podem substituir um elemento essencial, em algumas de suas funções, e são demandados por plantas em determinadas circunstâncias são considerados benéficos, como o Na e Si (SANTOS, 2004).

Dentre as principais funções desempenhadas pelos elementos minerais essenciais destacam-se as (i) estruturais, onde o elemento é parte constituinte da molécula de um ou mais compostos orgânicos, como o N que compõe o DNA e RNA (purinas e pirimidinas), clorofila, proteínas, aminoácidos, enzima; e o S que é constituinte de proteínas, enzimáticas ou não, e de coenzimas: CoA – respiração, metabolismo de lipídeos; biotina – assimilação de CO₂ e descarboxilação (MALAVOLTA, 2008); (ii) iônicos

(K, Ca, Mg, Mn e Cl), com K atuando na fotossíntese (abertura e fechamento dos estômatos), transporte de carboidratos; Ca atuando entre células adjacentes na lamela média como pectato, envolvido no crescimento da parte aérea e pontas das raízes e Mg que atua como cofator das enzimas que transferem P entre ATP e ADP e está no centro do núcleo tetrapirrólico da clorofila; (iii) transferentes de elétrons (Fe, Cu, Zn e Mo); e (iv) esterificados (P e B), onde P está envolvido na respiração; fixação de CO₂, regulação das atividades enzimáticas (H₂PO₄), liberação de energia do ATP. (KERBAUY, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2009).

De acordo com Souza Júnior et al. (2012), N é o elemento mais exportado pela cultura do cacau e pode atuar no aumento da produtividade; P é o quinto elemento mais exportado pela cultura, e o que mais limita a produtividade; K é o segundo elemento mais exportado. Segundo estes autores, estes elementos minerais são necessários para o desenvolvimento de frutos e sementes de cacau. Pois, tem participação importante no crescimento das células (TAIZ; ZEIGER, 2010). Além disso, nas lavouras de cacau no Brasil a maior frequência de deficiência nutricional é dos elementos N, P e K em relação a Ca, Mg e S (SOUZA JÚNIOR et al., 2012).

2.3. Nutrientes minerais: importância econômica e eficiência nutricional

A composição mineral de amêndoas de cacau influencia diretamente em sua qualidade, principalmente na fabricação de chocolates de qualidades superiores (EFSA, 2009, 2012a, b; TACO, 2011). O fator primordial e mais rápido para se elevar a produtividade dos cacaueiros é a disponibilidade de nutrientes minerais para as plantas (ALMEIDA et al., 2003). Porém, os gastos com fertilizantes estão entre os principais vilões do custo de produção no Brasil (GLOBALFERT, 2018), o que dificulta o seu uso. De acordo com Malavolta (2008), o fornecimento de nutrientes à cultura (adubação) tem que atender a critérios ambientais e principalmente, econômicos, sabendo se a atividade trará retornos.

Atualmente, 7% do consumo mundial de fertilizantes ficam com o Brasil, estando atrás apenas da China, Índia e dos Estados Unidos. Os principais nutrientes utilizados no Brasil são K, Ca e N, com 38%, 33%, e 29%, respectivamente (RICHETTI, 2018). Ainda segundo o autor, devido a impostos, indisponibilidade de recursos naturais e concentração de mercado, dentre outros fatores, o Brasil importa mais de 70% de todos fertilizantes utilizados, sendo cloreto de potássio (95%), N (83%) e fosfato (60%) os mais importados. Além disso, em torno de 75% dos solos no Brasil apresentam baixos teores de P (MALAVOLTA, 1976).

A procura por uma atividade agrícola mais eficiente no uso energético e ecologicamente sustentável tem estimulado estudos sobre mecanismos responsáveis por maior eficiência nutricional de plantas (TOMAZ et al., 2003). Há várias definições para eficiência nutricional como (i) a capacidade de absorção e, ou utilização de nutrientes (EPSTEIN, 1972; CLARKSON; HANSON, 1980); (ii) aumento da produtividade por quantidade aplicada de nutriente (COOKE, 1987); (iii) e relação entre a biomassa total e a unidade de nutriente absorvido (ISRAEL; RUFTY JÚNIOR, 1988). Logo, é de suma importância para culturas anuais uma otimização da eficiência nutricional, aumentando assim sua produtividade (FAGERIA, 1989, 1992; LOPES; GUILHERME, 1989). Esse incremento da produtividade sofre influência de diversos fatores ambientais, físicos, químicos, biológicos, genéticos dentre outros, destacando-se o estresse nutricional e a deficiência hídrica.

No Brasil, as lavouras de cacau foram implantadas geralmente em solos de maior fertilidade em comparação aos outros países produtores (ALVIM, 1977). Mas, a avaliação do uso eficiente de nutrientes é necessária para a identificação de genótipos e cultivares promissores de alta capacidade de absorção e utilização desses nutrientes. Estes genótipos trarão ótimos rendimentos no campo e poderão contribuir de forma significativa nos programas de melhoramento genético do cacauzeiro (FAGERIA; BALIGAR, 2001). As diferenças na eficiência nutricional entre genótipos de cacau podem ter grandes impactos na economia ou no uso racional de fertilizantes minerais. Há possibilidade de selecionar e melhorar cultivares mais eficientes, quanto ao uso de nutrientes, uma vez que a

absorção, o transporte e a redistribuição de nutrientes minerais apresentam controle genético (GABELMAN; GERLOFF, 1983).

2.4. Biometria de frutos e sementes

Em estudos de produção e produtividade do cacau a caracterização biométrica de frutos e sementes é essencial, pois auxilia na escolha de materiais genéticos com potencialidade de melhor desempenho agrícola (LOUREIRO, 2014). Além disso, pode ser usada como processo seletivo de genótipos precoces para a produção de sementes mais desenvolvidas e com qualidade química superior para produção de chocolate (VENIAL et al., 2017). Por outro lado, a biometria de frutos auxilia na detecção de variabilidade genética intraespecífica e a sua relação com fatores ambientais (GUSMÃO et al., 2006). Esses fatores ambientais (bióticos e abióticos) participam da formação do padrão morfométrico das espécies (BEZERRA et al., 2012).

Normalmente, se utiliza de descritores morfológicos para mensurar a diversidade genética, por meio de características quantitativas e qualitativas com pouca variação ambiental e alta herdabilidade, quantificada por meio de diversos métodos de análises multivariadas (CICONINI et al., 2013; PAIVA et al., 2014).

Pesquisas têm mostrado uma grande variabilidade de características no cacauzeiro relacionadas a sementes (VENIAL et al., 2017) e frutos (ALMEIDA et al., 2009; ALEXANDRE et al., 2015), variando de acordo com a fase de desenvolvimento da planta (FARINÂS et al., 2002). Além disso, há outros estudos voltados para a (i) avaliação da biometria de frutos e amêndoas de cacau, tais como teores de flavonoides durante a fermentação de sementes para produção de chocolate (EFRAIM, 2004); (ii) qualidade de solos e qualidade de cacau (LOUREIRO, 2012; 2014); (iii) caracterização de sementes resistentes a doenças (CRUZ, 2012); (iv) caracterização de clones (ALEXANDRE, et al., 2015); (v) classificação de amêndoas (VAZQUEZ-OVANDO et al., 2015); (vi) armazenamento de sementes (VENIAL et al., 2017); (vii) caracterização de frutos e sementes e ecofisiologia da germinação (LAVANHOLE, 2018).

2.5. Origem das contaminações por metais pesados

Desde a década de 1970 alguns elementos minerais já eram investigados por apresentarem potencial de toxidez em amêndoas de cacau e, subsequentemente, no chocolate (KNEZEVIC, 1979, 1980, 1982a, b). Este tema é globalmente discutido no âmbito da segurança alimentar e qualidade (ALLOWAY, 1990; EFSA, 2012 a, b). Essa preocupação mundial vem aumentando a pressão por mudanças nas legislações, a fim de reduzir seus conteúdos em alimentos derivados do cacau. Vários estudos têm sido realizados visando avaliar as contaminações da matéria prima e produtos derivados do cacau por elementos metálicos e os possíveis mecanismos para sua diminuição (JALBANI, 2009; FAO / OMS, 2010; KRUSZEWSKI et al. 2018).

Os metais pesados integram naturalmente os ciclos biológicos e geológicos (GUIZARD, 2006; MATOS, 2004). O cádmio (Cd), níquel (Ni) e chumbo (Pb) são elementos químicos que podem ser encontrados naturalmente no solo, em função da rocha de origem daquele solo e, ou ser incorporado no solo por ações antrópicas como adubação fosfatada, aplicações de fungicidas, inseticidas, dentre outros (MOUNICOU et al., 2003; DAHIYA et al., 2005; REHMAN e HUSNAIN, 2012; BERTOLDI et al., 2016). O Brasil está entre os quatro maiores consumidores de fertilizantes no mundo. Além disso, 40% dos fertilizantes utilizados são fosfatados e podem conter metais pesados, que são incorporados ao solo (KRATZ et al., 2016; IPNI, 2016), constituindo uma das principais vias de contaminação dos solos agrícolas (MCLAUGHLIN; SINGH, 1999; JIAO et al., 2012; CHAVEZ et al., 2015).

Os elementos metálicos tóxicos podem se acumular no organismo humano, em pequenas quantidades pela ingestão de alimentos contaminados, e provocar uma série de doenças crônicas (ROCHA, 2009). Várias são as fontes de contaminação por esses elementos tóxicos. Na produção de chocolate são introduzidos via pó e gordura de cacau, que são obtidos por prensagem da massa de cacau, bem como por óleos vegetais hidrogenados (MOUNICOU et al., 2003; RANKIN et al., 2005). A exposição prolongada ao Ni tem relação direta com câncer de garganta, estômago, pulmão, seios e nariz (DUDA-CHODAK; BŁASZCZYK, 2008). Já a ingestão excessiva ou absorção de Pb causa envenenamento conhecido como saturnismo (AHAMED; SIDDIQUI, 2007). O Cd

na forma de íons livres, pode interferir em vários ciclos metabólicos, como a transformação de tiamina, proteínas e, no caso de envenenamento crônico (BERNARD et al., 2008).

O beneficiamento da matéria prima é uma das principais fontes na variação da concentração desses metais pesado no chocolate, pois varia de fábrica para fábrica nas etapas do processo e nas concentrações da matéria prima (DAHIYA et al., 2005; KRUSZEWSKI, 2018), como nos dispositivos de metal onde ocorre a moagem, mistura e armazenamento (RANKIN et al., 2005; REHMAN; HUSNAIN, 2012). Por outro lado, são também fontes de contaminação do chocolate a origem geográfica do cacau, o ambiente onde as plantas são cultivadas (uso de fertilizantes, aplicação de pesticidas, metais naturais no solo e do ar, uso de combustível) e as condições de transporte das amêndoas de cacau (MOUNICOU et al., 2003; DAHIYA et al., 2005; REHMAN; HUSNAIN, 2012; BERTOLDI et al., 2016).

Alguns estudos mostraram que crianças que consomem muito chocolate podem correr o risco de envenenamento por metais pesados, especialmente de Pb, se excederem o limite diário de ingestão (VILLA et al., 2014; YANUS et al., 2014; PEIXOTO et al., 2016).

As amêndoas de cacau produzidas em vários países, principalmente os países da América Latina, apresentam contaminação por metais pesados (AIKPOKPODION et al., 2013; AREVALO et al., 2017; GRAMLICH et al., 2017). O Brasil e a África Ocidental são responsáveis por cerca de 80% da produção mundial de cacau, os produtos de cacau da América Latina são de qualidade superior e são frequentemente usados para criar produtos de alta qualidade como bombons, que contêm altos teores de cacau (MOUNICOU et al., 2003, JI et al., 2012).

2.6. Cruzamentos dialélicos

O conhecimento sobre os caracteres e mecanismos envolvidos na eficiência nutricional, herança genética para seleção de germoplasma no direcionamento de

cruzamentos, assim como na produção de populações segregantes são de suma importância para os programas de melhoramento (BORÉM, 2001; HIREL et al., 2007). De acordo Ledo et al. (2003) há uma certa dificuldade encontrada num programa de hibridação pelos melhoristas, no que se refere à escolha de materiais promissores para serem usados como genitores. Neste sentido, o cruzamento dialélico auxilia nesta questão, fornecendo parâmetros úteis na seleção de genitores e no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres de interesse (RAMALHO et al., 1993; CRUZ; et al., 2004).

As principais vantagens do cruzamento dialélico são a recombinação da variabilidade disponível e a estimativa de parâmetros genéticos (interações gênicas no controle quantitativo), para o estabelecimento de grupos heteróticos (GERALDI; MIRANDA FILHO, 1988; BERNINI; PATERNIANI, 2012). De acordo com Cruz et al. (2004) os principais esquemas experimentais de um cruzamento dialélico são: (i) dialelo balanceado - todos as possíveis combinações híbridas F1 de um grupo de genitores estão presentes; (ii) dialelo parcial - cruzamento entre dois grupos de genitores, onde já se conhece os grupos heteróticos; (iii) dialelo circulante - todas as combinações híbridas possíveis presentes, e número de genitores iguais; (iv) dialelo incompleto - número variável de cruzamentos de genitores devido a perdas de tratamentos ou pela incapacidade de geração de plantas com combinações híbridas específicas; e (v) dialelo desbalanceado - presença de todos os tratamentos, mas em número de repetições desigual, por perdas.

Em cacau, os trabalhos mais recentes, envolvendo esquema de cruzamentos dialélicos, têm por objetivos estimar a capacidade combinatória de genótipos, pré-selecionados quanto a tolerância à seca (SANTOS, 2016); avaliar as capacidades de combinação em progênies de genitores contrastantes para vigor da copa e estudar os efeitos das progênies como portaenxertos em aspectos morfológicos, fisiológicos, no acúmulo de nutrientes na copa do cacaueiro (PEREIRA et al., 2017).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Material genético e delineamento experimental

Foram utilizados 10 genitores de *T. cacao*, considerados de alta produtividade e tolerantes a vassoura de bruxa (BN 34, CEPEC 2002, CEPEC 2004, CCN 51, FA 13, PH 15, PH 16, PS 10.30, PS 13.19 e SJ 02). Esses genitores foram cruzados entre si a partir de polinização controlada em esquema dialélico para obtenção das progênies (Tabela 1). Este experimento foi conduzido em condições de campo na APA do Pratigi, Bahia, Brasil (39°07'W, 39°13'W e 13°30'S, 13°52'S), localizado na região conhecida como litoral baixo sul da Bahia e também como “Costa do Dendê”. O clima da região é classificado como Tropical Chuvoso de Floresta (Af), de acordo com a classificação de Köppen, com valores médios anuais de precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar de 2600 mm, 26°C e 80%, respectivamente (OCT, 2009, 2019).

Tabela 1 – Esquema de cruzamentos dialélicos envolvendo 10 genótipos de *T. cacao*.

Parental	BN 34	C. 2002	C. 2004	CCN 51	FA 13	PH 15	PH 16	PS 10.30	PS 13.19	SJ 02
BN 34	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17	Y18	Y19	Y110
CEPEC 2002	-	Y12	Y23	Y24	Y25	Y26	Y27	Y28	Y29	Y210
CEPEC 2004	-	-	Y33	Y34	Y35	Y36	Y37	Y38	Y39	Y310
CCN 51	-	-	-	Y44	Y45	Y46	Y47	Y48	Y49	Y410
FA 13	-	-	-	-	Y55	Y56	Y57	Y58	Y59	Y510
PH 15	-	-	-	-	-	Y66	Y67	Y68	Y69	Y610
PH 16	-	-	-	-	-	-	Y77	Y78	Y79	Y710
PS 10.30	-	-	-	-	-	-	-	Y88	Y89	Y810
PS 13.19	-	-	-	-	-	-	-	-	Y99	Y910
SJ 02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Y1010

Y.. híbridos

O experimento foi instalado em delineamento experimental em bloco ao acaso (cinco blocos), em parcelas subdivididas (oito parcelas), e uma planta por unidade experimental, perfazendo um total de 40 plantas por cruzamento. Destas plantas foram coletados dois frutos maduros por planta de cada tratamento para as análises. Ao longo das linhas de cada parcela foram, também, plantados clones da cultivar CEPEC-2002,

como tratamento controle. Perfazendo um total de 2.240 plantas, cultivadas em espaçamento de 3x3.

Foram realizadas análises físico e químicas do solo (Tabela 1) e recomendações de adubação conforme necessidade da cultura: calcário (3t/ha), gesso (1,5 toneladas/ha) e fosfato natural (1,5 t/ha). Na cova (40 x 40 x 40 cm) a adubação utilizada foi a seguinte: 100 gramas do NPK 8-20-8, 50 g (Termofosfato Yoorin), e dois litros de cama de frango. Já na adubação de cobertura no primeiro ano foram quatro adubações com a formulação NPK 20-05-20 com dose de 40 gramas por planta. No segundo ano, mais quatro adubações com a formulação NPK 20-5-20 com dose 80 g por planta. No terceiro ano foram duas adubações com a formulação NPK 12-06-24 com dose de 150 g por planta. E no quarto ano duas adubações com a formulação NPK 12-6-24 com dose de 200 g por planta.

Tabela 2 – Características químicas e físicas do solo, em três profundidades, da área experimental.

Característica	Argila	Argila	Muito argilosa	Unidades
	(0-10 cm)	(10-20cm)	(20-40 cm)	
pH H ₂ O	5,68	5,65	5,48	-
P	2,2	4,9	2,0	mg/dm ³
K	25	18	17	mg/dm ³
Na	-	-	-	mg/dm ³
Ca ²⁺	2,82	2,62	2,22	cmolc/dm ³
Mg ²⁺	1,67	1,17	0,85	cmolc/dm ³
Al ³⁺	0	0	0	cmolc/dm ³
H + Al	5,5	5,2	4,1	cmolc/dm ³
SB	4,55	3,84	3,11	cmolc/dm ³
t	4,55	3,84	3,11	cmolc/dm ³
T	10,05	9,04	7,21	cmolc/dm ³
V	45,3	42,5	43,1	%
m	0	0	0	%
ISNa	-	-	-	%
MO	3,72	2,93	2,93	dag/kg
P-Rem	18,4	17,0	13,0	mg/L
S	1,9	2,6	20,5	mg/dm ³
B	0,53	0,44	0,38	mg/dm ³
N	-	-	-	mg/dm ³
Cu	1,54	2,03	1,24	mg/dm ³
Mn	5,6	4,5	2,4	mg/dm ³
Fe	79	111,1	95,8	mg/dm ³
Zn	4,2	4,65	3,82	mg/dm ³
Cr	0,18	0,27	0,33	mg/dm ³
Ni	0,19	0,3	0,12	mg/dm ³
Cd	0,11	0,14	0,09	mg/dm ³
Pb	1,09	1,08	0,73	mg/dm ³

Método de extração ou determinação: pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5; P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Cd - Pb - Ni - Cr – Extrator Mehlich⁻¹; Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB = Soma de Bases Trocáveis; t - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; T - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V= Índice de Saturação por Bases; m= Índice de Saturação por Alumínio; ISNa - Índice de Saturação por Sódio; MO (Mat. Orgânica) = C.Org x 1,724 -Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente; S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético; B - Extrator água quente; N - N total - Digestão sulfúrica - Destilação Kjeldhal.

3.2. Atributos biométricos e biomassa seca do fruto

Os frutos maduros foram coletados e, em seguida, após medição do maior diâmetro (DF) e comprimento (CF), com o uso de paquímetro digital e régua, respectivamente, e contagem do número de sementes por fruto, as diferentes partes (casca, semente e placenta) foram armazenadas isoladamente em placas de petri e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 75°C até massa constante, para obtenção da biomassa seca total do fruto e de suas partes.

A partir da biomassa seca das diferentes partes do fruto (casca - BSC; placenta - BSP; semente - BSS) das diferentes progênies, foram determinados: (i) biomassa seca total (BST); (ii) biomassa individual de semente (BIS); (iii) Índice de frutos (IF); (iv) razão DF/CF; (v) porcentagem de BSC, BSP e BSS.

3.3. Conteúdo de macro e micronutrientes minerais e metais nas sementes

Para as análises do conteúdo de macro e micronutrientes minerais e metais pesados as sementes dos frutos foram trituradas em moinho tipo Willey até a obtenção de um pó fino. As amostras foram armazenadas em frascos de vidro de 100 mL. Foi realizada digestão nitroperclórica das amostras, e, em seguida, a determinação dos teores nas sementes de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn por espectrofotometria de absorção atômica; de P por colorimetria, utilizando o método da vitamina C (BRAGA; DEFELIPO, 1974); e de K por fotometria de emissão de chama. O teor de N foi determinado pelo método de Kjeldahl, após digestão sulfusalicilica da amostra (JACKSON, 1958). A partir dos teores na semente de macro, micronutrientes minerais e metais, determinou-se o conteúdo por fruto (mg fruto^{-1}) para cada cruzamento. A quantificação do Cd, Ni e Pb foi realizada por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplada (ICP OES) Varian 710 – ES.

3.4. Análise multivariada para variáveis biométricas, nutrientes minerais e metais

A análise de agrupamento foi realizada a partir dos valores das variáveis biométricas, nutrientes minerais e metais. Inicialmente, procedeu-se a padronização dos dados devido a diferenças nas unidades (g, cm, bem como razões). A padronização foi realizada pela equação: $Z_{ij} = (X_{ij} - X_j) / S_j$, onde X_{ij} é o valor da i-ésima observação da variável X_j ; e X_j e S_j é a média e desvio padrão da variável X_j , respectivamente. Em seguida, realizou a análise de agrupamento baseada nas 26 variáveis. Calculou-se a matriz de distância, baseada na distância Euclidiana, e efetuaram, posteriormente, as análises de agrupamento via dendrograma, usando o método hierárquico aglomerativo proposto por WARD (1963) como critério de agrupamento.

3.5. Análises estatísticas

Dos 55 híbridos F1 possíveis, foram obtidos 49 F1 dos cruzamentos dialélicos. As análises biométricas e químicas foram avaliadas em delineamento em blocos casualizados proveniente do cruzamento de 10 genitores considerados de alta produtividade e tolerantes a vassoura de bruxa (BN 34, CEPEC 2002, CEPEC 2004, CCN 51, FA 13, PH 15, PH 16, PS 10.30, PS 13.19 e SJ 02). Para utilizar a metodologia do cruzamento dialélico balanceado de Griffing 1956 foram utilizados 28 F1, proveniente dos cruzamentos de 7 genitores dentre os 10 (BN 34, CEPEC 2002, CCN 51, PH 16, PS 10.30, PS 13.19 e SJ 02), a partir dos desdobramentos das somas de quadrado. Foram realizadas análises de variância (ANOVA) e teste F, e, posteriormente, comparações entre as médias dos tratamentos por meio do Scott e Knott ($p < 0,05$ e $p < 0,01$), quando pertinente.

As análises dialélicas, para obtenção das capacidades combinatórias dos genótipos avaliados, foram realizadas de acordo com o método 2 de Griffing (1956), descrito por Cruz e Regazzi (2004), com modelo fixo:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Em que: Y_{ij} : é a média dos genótipos entre o i-ésimo e j-ésimo progenitor nas r repetições; m: é a média geral; g_i, g_j : é o efeito da capacidade geral de combinação do i-ésimo e j-ésimo progenitor; s_{ij} : é o efeito da capacidade específica de combinação para os cruzamentos entre os progenitores de ordem i e j, respectivamente; ε_{ij} : é o erro experimental médio.

Para análise genética, a soma de quadrado dos tratamentos foi desdobrada e as estimativas da capacidade geral e específica de combinação dos genótipos obtidas (Tabela 3).

Para as análises da CGC e CEC, utilizou-se a metodologia de significância declarada em relação aos desvio médio, citada por Memon et al. (2015), onde '*' $p < 0,05$ e '**' $p < 0,01$, quando o efeito da capacidade é duas e três vezes maiores que o desvio padrão (D_i), respectivamente.

Tabela 3 – Esquema da análise de variância para dialelos balanceados, envolvendo apenas os híbridos F1 segundo metodologia proposta por Griffing (1956).

Fonte de Variação	GL	QM	F	E (QM)
Tratamentos	-	-	-	
CGC	p-1	QMG	QMG/QMR	$\sigma_e^2 + (p-2)\Phi_g$
CEC	p (p-3)/2	QMS	QMS/QMR	$\sigma_e^2 + \Phi_s$
Resíduo médio	F	QMR		σ_e^2

$$\Phi_g = \frac{1}{p-1} \sum g_i^2; \quad \Phi_s = \frac{2}{p(p-3)} \sum_i \sum_{<1} s_{ij}^2$$

f= número de graus de liberdade do resíduo

4. RESULTADOS

4.1. Atributos biométricos

A partir da análise de variância (ANOVA) foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias dos atributos biométricos para as diferentes progênes oriundas dos cruzamentos dialélicos em estudo, exceto para a variável diâmetro de frutos (DF) (Tabela 4). Ademais, os testes de médias para todas as variáveis em estudo, evidenciaram formação de diferentes grupos confirmando os resultados da análise de variância (Tabelas 6, 7, 8 e 9; Figuras 2, 3 e 5). Os coeficientes de variação experimentais observados no presente trabalho variaram de 7,89 a 28,97%, para DF e Ca, respectivamente, para os atributos biometria e biomassa (Tabela 4).

Tabela 4 - Análise de variância das 26 variáveis analisadas no estudo.

Variáveis	Fator de Variação / Quadrado Médio		Média Geral	CV (%)
	Tratamento	Erro		
Diâmetro do fruto (DF)	63,64 ns	43,09	83,19	7,89
Comprimento do fruto (CF)	14,59 *	3,89	18,36	10,76
Razão CF/DF	0,16 *	0,07	2,21	12,34
Número de sementes (NS)	72,44 *	36,42	40,71	14,83
Biomassa seca casca (BSC)	856,46 *	82,23	66,22	13,69
Biomassa seca placenta (BSP)	4,42 *	0,71	2,99	28,22
Biomassa seca semente (BSS)	345,1 *	61,16	50,34	15,54
Biomassa individual de semente (BIS)	0,14 *	0,05	1,25	17,67
Índice de Fruto (IF)	63,31 *	11,16	20,8	16,07
Biomassa seca Total (BST)	1807,18 *	152,37	119,54	10,33
% BSC	0,009749 *	0,002530	0,55	9,10
% BSP	0,000182 *	0,000044	0,025	26,59
% BSS	0,010051 *	0,002503	0,42	11,84
N	147680,66 *	30096,72	1006,29	17,24
P	56501,66 *	12710,5	505,28	22,31
K	56674,55 *	13606,31	619,56	18,83
Ca	6253,36 *	1874,65	149,44	28,97
Mg	5504,17 *	1401,49	194,93	19,2
Na	1692,03 *	588,97	102,55	23,66
Fe	0,85 *	0,23	2,14	22,62
Zn	1,73 *	0,44	3,42	19,34
Cu	0,87 *	0,26	2,1	24,16
Mn	0,24 *	0,07	0,96	27,17
Ni	0,106 *	0,0114	0,49	21,62
Pb	0,0966 *	0,0158	0,65	19,23
Cd	0,00368 *	0,00092	0,11	26,56

*: significativo a 5% de probabilidade; ns: não significativo; CV (%): porcentagem do coeficiente de variação; %BSC: porcentagem de biomassa seca de casca; %BSP: porcentagem de biomassa seca de placenta; %BSS: porcentagem de biomassa seca de semente.

O diâmetro de fruto (DF) foi a única característica que não apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre as progênies. Por outro lado, o comprimento do fruto (CF) diferiu entre as progênies e a média geral correspondeu ao valor de 18,36 cm (Tabela 5). A partir das análises estatísticas foram formados dois grupos com base nos valores médios do CF. As progênies PS 13.19 x SJ 02, PH 16 x SJ 02, PH 16 x PS 13.19 e PH 16 x PH 16, reunidas no grupo com maiores valores médios de CF (20,50 a 21,2 cm), e apresentaram valores médios acima da média geral de 12%, 13%, 15% e 15%, respectivamente. O segundo grupo foi formado com as progênies com os menores valores médios, onde destacou principalmente as progênies CEPEC 2002 x CEPEC 2002 e PH 15 x PH 15, com valores médios abaixo da média geral de aproximadamente 21% (Tabela 5).

Verificou-se a formação de dois grupos com base nos valores médios do número de semente (NS). O grupo com os maiores valores apresentou 21 progênies, variando de 32 a 48,42 sementes por fruto. As progênies PH 16 x PS 10.30 e CCN 51 x PS 13.19 apresentaram NS 18% e 19%, respectivamente, maiores do que média geral. Por outro lado, as progênies com os menores valores médios de NS formaram o segundo com destaque para CEPEC 2002 x CEPEC 2002 e CEPEC 2002 x PS 10.30 apresentaram valores cerca de 21% e 15%, respectivamente, abaixo da média geral para esta variável (Tabela 5).

Para valores de biomassa seca as progênies foram agrupadas pelo teste de média, em 4, 4, 3 e 6 grupos para biomassa seca de casca (BSC), biomassa seca de placenta (BSP), biomassa seca de semente (BSS) e biomassa seca total (BST) respectivamente. A progênie PH 16 x PS 13.19 apresentou o maior valor médio de BSC (121,84 g) com 84% acima da média geral, formando o primeiro grupo no teste de média. O segundo foi formado por 15 progênies (71,48 a 88,33 g) dentre ela destacou-se CEPEC 2004 x CCN 51 (80.14g), CEPEC 2004 x PH 15 (81.08g), BN 34 x BN 34 (81.54g), PS 13.19 x SJ 02 (84.29g), BN 34 x CCN 51 (88.33g), o terceiro foi formado por 19 progênies, com valores médios entre 59 a 69,11 g. Por fim, 14 progênies fizeram parte do grupo com os menores valores médios (45,33 a 57,86 g), dentre as quais BN 34 x PH 15 e CEPEC

2002 x PS 13.19 que apresentaram os menores valores 32 e 28%, respectivamente, abaixo da média geral (Tabela 5).

A BSP variou de 0,97 a 5,42g entre as progênies (Tabela 5). As variações superiores à média se deram para as progênies BN 34 x PS 10.30, PS 13.19 x PS 13.19, PS 13.19 x SJ 02, CCN 51 x PS 13.19 e PH 16 x PS 13.19, com 53%, 54%, 58%, 77% e 81% respectivamente. Em contrapartida, 15 fizeram parte do grupo com os menores valores médios (0,97 a 2,42g), destacando CEPEC 2002 X PH 16 e CEPEC 2004 x FA 13, com valores médios de 67 e 50% respectivamente menores do que a média geral (Tabela 5).

Para BSS foi verificado cinco progênies com os maiores valores médios (63,90 a 69,86g). As progênies dos cruzamentos BN 34 x CCN 51, BN 34 x FA 13, CCN 51 x PS 13.19, PH 16 x SJ 02 e PH 16 x PS 13.19 apresentaram valores de 27% a 39% acima da média geral (50,34g). Por outro lado, as progênies CEPEC 2002 x CEPEC 2002, CEPEC2004 x PS 10.30, BN 34 x PS 13.19, CEPEC2002 x PS 10.30, CEPEC2004 x PH 15 e CEPEC 2004 x SJ 02 tiveram os menores valores médios em relação à média geral com variação de 17% a 37% (Tabela 5). Com base nos valores médios de biomassa seca total (BST), a progênie PH 16 x PS 13.19 apresentou o maior valor médio para esta variável (197,12 g) (Tabela 6). Ademais, as progênies BN 34 x CCN 51, PH 16 x SJ 02 e CCN 51 x PS 13.19 também se destacaram com valores de 36%, 26% e 22%, respectivamente, acima da média geral. Por outro lado, o as progênies com os menores valores de BST foram CEPEC 2002 x CEPEC 2002, CEPEC 2004 x PS 10.30, CEPEC 2002 x PS 10.30 e CEPEC 2002 x PS 13.19, sendo 32%, 23%, 23% e 19% respectivamente inferior à média geral da BST.

Em relação à biomassa seca individual de sementes (BIS) por fruto, as progênies se dividiram em dois grupos de médias ($p < 0,05$). Dentro das progênies com as maiores médias de BIS se destacaram BN 34 x CCN 51, BN 34 x FA 13 e PH 15 x PH 16, que foram 26%, 29% e 30% respectivamente acima da média geral (1,25g). Já dentro dos que apresentaram menores médias de BIS estão as progênies CEPEC 2002 x CEPEC 2002, PH 16 x PS 10.30 e CEPEC 2004 x PS 10.30 foram as que apresentaram os

menores valores médios de BIS, com valores de 25%, 25% e 21% inferiores, respectivamente à média geral (Tabela 5).

Em relação ao índice de fruto (IF), 49% das progênies apresentaram valores acima da média geral, e as progênies CEPEC 2004 x PS 10.30 e CEPEC 2002 x CEPEC 2002 apresentaram as maiores médias (Tabela 6). Por outro lado, no grupo com os menores valores médios (14,39g a 17,36 g) as progênies PS 10.30 x PS 13.19, PS 10.30 x PS 10.30, BN 34 x PH 15, BN 34 x CCN 51, BN 34 x FA 13, PH 16 x SJ 02, CCN 51 x PS 13.19, PH 16 x PS 13.19) tiveram valores que variaram de 17% (PS 10.30 x PS 13.19) a 31% (PH 16 x PS 13.19) menores em relação à média geral (Tabela 6).

Tabela 5 - Dados de biometria dos frutos de progênes de *T. cacao* em cruzamentos dialélicos.

Progênes	DF		CF		NS	BSC		BSP		BSS	BIS			
	(cm)							(g)						
BN34 xBN34	8,68 ± 0,19	a	19,52 ± 0,54	a	35,50 ± 2,31	b	81,54 ± 3,59	b	4,01 ± 0,69	b	52,31 ± 3,92	c	1,48 ± 0,09	a
BN34 xC.2002	8,09 ± 0,14	a	18,49 ± 0,75	a	43,40 ± 1,21	a	63,85 ± 4,97	c	2,97 ± 0,16	c	56,80 ± 2,23	b	1,30 ± 0,05	a
BN34 xCCN51	8,57 ± 0,26	a	20,27 ± 0,86	a	40,50 ± 2,09	a	88,33 ± 5,44	b	4,19 ± 0,33	b	63,90 ± 3,17	a	1,56 ± 0,11	a
BN34 xFA13	8,10 ± 0,22	a	19,47 ± 1,27	a	40,70 ± 3,50	a	69,11 ± 4,22	c	2,75 ± 0,09	c	64,75 ± 4,47	a	1,45 ± 0,13	a
BN34 xPH15	7,93 ± 0,39	a	17,39 ± 0,80	b	44,80 ± 2,17	a	45,33 ± 3,55	d	2,65 ± 0,35	c	60,43 ± 4,23	b	1,23 ± 0,17	b
BN34 xPH16	8,70 ± 0,28	a	18,69 ± 0,76	a	39,76 ± 2,44	b	75,62 ± 5,44	b	3,21 ± 0,23	c	50,43 ± 2,63	c	1,36 ± 0,06	a
BN34 xPS1030	9,04 ± 0,12	a	18,44 ± 0,67	a	45,80 ± 1,49	a	75,89 ± 6,88	b	4,59 ± 0,54	a	55,68 ± 2,36	b	1,35 ± 0,08	a
BN34 xPS1319	8,22 ± 0,40	a	18,49 ± 0,21	a	35,70 ± 2,96	b	59,72 ± 2,94	c	3,55 ± 0,21	b	38,61 ± 2,34	d	1,03 ± 0,04	b
BN34 xSJ02	8,45 ± 0,24	a	19,71 ± 0,84	a	39,85 ± 1,72	b	65,58 ± 4,07	c	2,23 ± 0,44	d	47,78 ± 3,77	c	1,39 ± 0,10	a
C.2002 xC.2002	7,88 ± 0,36	a	14,42 ± 0,73	b	34,74 ± 4,06	b	47,41 ± 5,02	d	2,18 ± 0,31	d	31,30 ± 2,75	d	0,94 ± 0,06	b
C.2002 xCCN51	8,12 ± 0,49	a	18,75 ± 0,90	a	38,26 ± 2,03	b	71,69 ± 3,04	b	2,42 ± 0,25	d	47,05 ± 6,08	c	1,28 ± 0,08	a
C.2002 xPH15	8,54 ± 0,36	a	15,97 ± 1,27	b	40,40 ± 2,34	a	57,70 ± 3,83	d	2,06 ± 0,38	d	54,70 ± 2,90	b	1,31 ± 0,14	a
C.2002 xPH16	7,82 ± 0,29	a	16,34 ± 0,37	b	35,30 ± 2,30	b	52,05 ± 1,95	d	1,51 ± 0,43	d	46,47 ± 0,91	c	1,30 ± 0,05	a
C.2002 xPS1030	7,89 ± 0,18	a	15,58 ± 0,44	b	32,00 ± 3,42	b	49,25 ± 0,69	d	2,12 ± 0,26	d	40,63 ± 1,15	d	1,39 ± 0,14	a
C.2002 xPS1319	8,16 ± 0,14	a	17,50 ± 0,73	b	39,40 ± 0,70	b	47,30 ± 4,15	d	2,95 ± 0,20	c	46,50 ± 6,99	c	1,02 ± 0,06	b
C.2002 xSJ02	8,16 ± 0,39	a	18,14 ± 0,73	a	38,83 ± 2,10	b	61,55 ± 4,31	c	3,09 ± 0,36	c	48,83 ± 2,42	c	1,31 ± 0,10	a
C.2004 xCCN51	8,84 ± 0,21	a	20,24 ± 0,86	a	45,20 ± 0,86	a	80,14 ± 3,65	b	3,54 ± 0,50	b	53,53 ± 3,18	b	1,36 ± 0,11	a
C.2004 xFA13	8,00 ± 0,40	a	18,10 ± 0,23	a	44,80 ± 1,85	a	51,15 ± 1,00	d	0,97 ± 0,17	d	49,25 ± 2,76	c	1,03 ± 0,16	b
C.2004 xPH15	8,30 ± 0,15	a	19,87 ± 0,74	a	41,10 ± 2,61	a	81,08 ± 2,44	b	3,19 ± 0,38	c	41,37 ± 2,61	d	1,06 ± 0,03	b
C.2004 xPH16	7,68 ± 0,11	a	19,70 ± 0,83	a	40,00 ± 1,70	b	59,50 ± 2,44	c	2,53 ± 0,23	c	43,78 ± 0,54	c	1,27 ± 0,06	a
C.2004 xPS1030	8,09 ± 0,33	a	17,46 ± 0,61	b	36,30 ± 3,41	b	55,88 ± 3,29	d	1,90 ± 0,23	d	34,07 ± 3,11	d	1,01 ± 0,08	b
C.2004 xPS1319	8,40 ± 0,30	a	20,27 ± 0,59	a	35,60 ± 3,14	b	71,48 ± 2,08	b	2,98 ± 0,52	c	47,21 ± 5,21	c	1,38 ± 0,07	a
C.2004 xSJ02	8,10 ± 0,23	a	18,37 ± 0,22	a	40,00 ± 2,57	b	61,27 ± 3,31	c	2,19 ± 0,19	d	41,45 ± 3,11	d	1,05 ± 0,09	b
CCN51 xCCN51	8,31 ± 0,15	a	19,02 ± 0,54	a	40,80 ± 2,52	a	63,45 ± 2,82	c	2,94 ± 0,19	c	49,69 ± 2,87	c	1,30 ± 0,04	a
CCN51 xFA13	8,27 ± 0,26	a	17,81 ± 0,50	b	45,40 ± 2,29	a	67,54 ± 5,47	c	2,96 ± 0,42	c	47,29 ± 3,06	c	1,20 ± 0,07	b
CCN51 xPH16	8,18 ± 0,26	a	20,16 ± 1,01	a	41,00 ± 3,13	a	66,00 ± 3,75	c	3,35 ± 0,28	b	45,87 ± 2,55	c	1,22 ± 0,03	b
CCN51 xPS1030	8,60 ± 0,26	a	18,34 ± 1,00	a	36,20 ± 3,68	b	68,14 ± 6,25	c	3,15 ± 0,31	c	45,12 ± 3,14	c	1,25 ± 0,10	a
CCN51 xPS1319	8,44 ± 0,12	a	20,27 ± 0,74	a	48,42 ± 2,42	a	72,32 ± 3,44	b	5,29 ± 0,52	a	68,52 ± 3,73	a	1,44 ± 0,15	a
CCN51 xSJ02	8,42 ± 0,47	a	19,69 ± 0,67	a	44,30 ± 1,92	a	59,03 ± 2,89	c	2,91 ± 0,30	c	52,73 ± 3,59	c	1,32 ± 0,09	a
FA13 xPH15	8,32 ± 0,30	a	19,64 ± 0,83	a	43,00 ± 3,73	a	73,31 ± 3,51	b	3,19 ± 0,40	c	46,52 ± 3,77	c	1,21 ± 0,02	b
FA13 xPH16	8,48 ± 0,10	a	17,49 ± 0,25	b	42,70 ± 3,45	a	67,11 ± 2,45	c	1,70 ± 0,40	d	56,34 ± 3,48	b	1,38 ± 0,16	a
FA13 xPS1030	8,65 ± 0,30	a	20,31 ± 1,14	a	43,20 ± 4,86	a	68,38 ± 4,34	c	2,22 ± 0,27	d	54,37 ± 4,90	b	1,28 ± 0,06	a
FA13 xPS1319	7,67 ± 0,44	a	16,96 ± 0,35	b	38,05 ± 2,47	b	53,53 ± 4,58	d	1,69 ± 0,45	d	44,57 ± 0,87	c	1,22 ± 0,04	b
FA13 xSJ02	8,33 ± 0,32	a	19,55 ± 1,20	a	45,00 ± 1,38	a	73,31 ± 3,51	b	2,63 ± 0,53	c	47,21 ± 3,10	c	1,16 ± 0,05	b
PH15 xPH15	8,45 ± 0,14	a	14,55 ± 1,12	b	41,40 ± 3,86	a	60,48 ± 3,01	c	3,36 ± 0,28	b	47,93 ± 4,61	c	1,21 ± 0,06	b
PH15 xPH16	7,73 ± 0,40	a	15,50 ± 1,16	b	35,00 ± 5,27	b	55,59 ± 2,50	d	2,13 ± 0,32	d	51,97 ± 3,54	c	1,07 ± 0,02	b
PH15 xPS1030	8,25 ± 0,22	a	15,99 ± 0,40	b	38,90 ± 1,52	b	68,72 ± 3,04	c	2,38 ± 0,45	d	44,62 ± 2,46	c	1,08 ± 0,09	b
PH15 xPS1319	8,22 ± 0,23	a	16,77 ± 0,45	b	41,60 ± 1,51	a	63,79 ± 1,31	c	2,94 ± 0,35	c	51,88 ± 1,98	c	1,32 ± 0,06	a
PH15 xSJ02	8,26 ± 0,12	a	17,59 ± 0,63	b	39,10 ± 1,76	b	55,16 ± 2,26	d	3,43 ± 0,09	b	53,33 ± 4,44	b	1,51 ± 0,14	a
PH16 xPH16	9,16 ± 0,35	a	21,05 ± 2,85	a	35,40 ± 1,83	b	76,97 ± 1,79	b	2,83 ± 0,27	c	44,75 ± 1,65	c	1,27 ± 0,03	a
PH16 xPS1030	8,00 ± 0,17	a	16,45 ± 0,05	b	48,12 ± 2,79	a	56,90 ± 1,76	d	2,50 ± 0,28	c	44,92 ± 1,79	c	0,91 ± 0,05	b
PH16 xPS1319	9,07 ± 0,37	a	21,15 ± 1,19	a	47,30 ± 2,56	a	121,84 ± 11,69	a	5,42 ± 0,92	a	69,86 ± 2,65	a	1,57 ± 0,12	a
PH16 xSJ02	8,29 ± 0,44	a	20,71 ± 1,49	a	44,20 ± 3,29	a	77,66 ± 4,77	b	3,41 ± 0,20	b	69,54 ± 7,67	a	1,55 ± 0,10	a
PS1030 xPS1030	8,58 ± 0,21	a	17,77 ± 0,85	b	40,80 ± 3,33	a	60,21 ± 3,13	c	3,98 ± 0,26	b	61,21 ± 6,10	b	1,46 ± 0,09	a
PS1030 xPS1319	8,29 ± 0,22	a	18,77 ± 0,96	a	41,80 ± 2,94	a	68,15 ± 4,96	c	3,47 ± 0,29	b	58,28 ± 3,05	b	1,47 ± 0,10	a
PS1030 xSJ02	8,14 ± 0,41	a	18,70 ± 0,93	a	37,60 ± 2,30	b	74,57 ± 4,39	b	3,26 ± 0,13	c	44,85 ± 2,11	c	1,32 ± 0,16	a
PS1319 xPS1319	8,42 ± 0,26	a	16,34 ± 0,31	b	41,40 ± 2,25	a	57,86 ± 2,52	d	4,61 ± 0,72	a	46,35 ± 1,34	c	1,20 ± 0,03	b
PS1319 xSJ02	9,13 ± 0,48	a	20,50 ± 0,70	a	43,00 ± 1,41	a	84,29 ± 1,75	b	4,74 ± 0,42	a	50,51 ± 0,91	c	1,60 ± 0,19	a
SJ02 xSJ02	8,20 ± 0,14	a	17,38 ± 0,23	b	43,00 ± 2,46	a	57,84 ± 4,76	d	2,19 ± 0,24	d	51,53 ± 2,75	c	1,30 ± 0,08	a

DF: diâmetro de fruto; CF: comprimento de fruto; NS: número de sementes; BSC: biomassa seca de casca; BSP: biomassa seca de placenta; BSS: biomassa seca de semente; BIS: biomassa seca individual de semente; C.2002:CEPEC2002; C.2004:CEPEC2004. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Scott & Knott (1974).

Para a relação comprimento de fruto x diâmetro de fruto (CF/DF) 29 progênies apresentaram os maiores valores médios (2,22 a 2,57), destacando as progênies BN 34 x FA 13, CEPEC 2004 x PS 13.19, CCN 51 x PH 16, PH 16 x SJ 02 e CEPEC 2004 x PH 16, que foram superiores à média geral entre 9% e 16%. Por outro lado, 20 progênies apresentaram os menores valores médios (1,72 a 2,17 cm) dentre as quais se destacaram as progênies PH 15 x PH 15, CEPEC 2002 x CEPEC 2002, CEPEC 2002 x PH 15, PH 15 x PS 10.30 e PS 13.19 x PS 13.19 com valores de 22%, 16%, 15%, 12% e 11%, menores, respectivamente, que a média geral (Tabela 6).

Tabela 6 - Médias da biomassa seca total do fruto (BST), diâmetro do fruto (DF), comprimento do fruto (CF) e relação CF/DF entre progênies de *T. cacao*.

CRUZAMENTO	BST	DF	CF	CF/DF	IF
	(g)	(cm)			
BN34 X BN34	137,85 c	8,68 a	19,52 a	2,25 a	19,78 c
BN34 X CEPEC2002	123,62 d	8,09 a	18,49 a	2,29 a	17,80 c
BN34 x CCN51	156,42 b	8,57 a	20,27 a	2,37 a	16,30 c
BN34 x FA13	136,61 c	8,10 a	19,47 a	2,40 a	18,31 c
BN34 x PH15	108,41 e	7,93 a	17,39 b	2,19 a	19,35 c
BN34 x PH16	129,27 d	8,70 a	18,69 a	2,15 b	18,78 c
BN34 x PS1030	136,16 c	9,04 a	18,44 a	2,04 b	16,37 c
BN34 x PS1319	115,58 e	8,22 a	18,49 a	2,25 a	27,96 a
BN34 x SJ02	101,88 d	8,45 a	19,71 a	2,33 a	18,53 c
CEPEC2002 x CEPEC2002	80,90 f	7,88 a	14,42 b	1,83 b	33,05 a
CEPEC2002 x CCN51	121,16 d	8,12 a	18,75 a	2,31 a	21,20 c
CEPEC2002 x PH15	114,46 d	8,54 a	15,97 b	1,87 b	20,16 c
CEPEC2002 x PH16	100,03 e	7,82 a	16,34 b	2,09 b	22,39 b
CEPEC2002 x PS1030	92,00 f	7,89 a	15,58 b	1,97 b	24,74 b
CEPEC2002 x PS1319	96,75 f	8,16 a	17,50 b	2,14 b	25,24 b
CEPEC2002 x SJ02	113,47 d	8,16 a	18,14 a	2,22 a	20,53 c
CEPEC2004 x CCN51	137,21 c	8,84 a	20,24 a	2,29 a	16,63 c
CEPEC2004 x FA13	101,37 e	8,00 a	18,10 a	2,26 a	24,15 b
CEPEC2004 x PH15	125,64 d	8,30 a	19,87 a	2,39 a	23,31 b
CEPEC2004 x PH16	105,81 e	7,68 a	19,70 a	2,57 a	20,16 c
CEPEC2004 x PS1030	91,85 f	8,09 a	17,46 b	2,16 b	28,42 a
CEPEC2004 x PS1319	121,68 d	8,40 a	20,27 a	2,41 a	21,35 c
CEPEC2004 x SJ02	104,90 e	8,10 a	18,37 a	2,27 a	24,64 b
CCN51 x CCN51	116,08 d	8,31 a	19,02 a	2,29 a	19,36 c
CCN51 x FA13	117,79 d	8,27 a	17,81 b	2,15 b	18,77 c
CCN51 x PH16	115,23 d	8,18 a	20,16 a	2,46 a	20,44 c
CCN51 x PS1030	116,41 d	8,60 a	18,34 a	2,13 b	23,20 b
CCN51 x PS1319	146,12 b	8,44 a	20,27 a	2,40 a	14,91 c
CCN51 x SJ02	123,02 d	8,42 a	19,69 a	2,34 a	17,42 c
FA13 x PH15	114,67 d	8,32 a	19,64 a	2,36 a	19,93 c
FA13 x PH16	125,15 d	8,48 a	17,49 b	2,06 b	17,95 c
FA13 x PS1030	124,97 d	8,65 a	20,31 a	2,35 a	19,18 c
FA13 x PS1319	99,79 e	7,67 a	16,96 b	2,21 a	21,88 c
FA13 x SJ02	123,15 d	8,33 a	19,55 a	2,35 a	19,28 c
PH15 x PH15	111,77 d	8,45 a	14,55 b	1,72 b	20,86 c
PH15 x PH16	109,69 e	7,73 a	15,50 b	2,00 b	29,91 a
PH15 x PS1030	115,71 d	8,25 a	15,99 b	1,94 b	24,59 b
PH15 x PS1319	118,61 d	8,22 a	16,77 b	2,04 b	18,37 c
PH15 x SJ02	111,92 d	8,26 a	17,59 b	2,13 b	17,82 c
PH16 x PH16	124,54 d	9,16 a	21,05 a	2,30 a	22,43 b
PH16 x PS1030	104,32 e	8,00 a	16,45 b	2,06 b	23,29 b
PH16 x PS1319	197,12 a	9,07 a	21,15 a	2,33 a	13,71 c
PH16 x SJ02	150,61 b	8,29 a	20,71 a	2,50 a	15,29 c
PS1030 x PS1030	125,39 d	8,58 a	17,77 b	2,07 b	17,51 c
PS1030 x PS1319	129,90 d	8,29 a	18,77 a	2,26 a	17,08 c
PS1030 x SJ02	122,69 d	8,14 a	18,70 a	2,30 a	21,00 c
PS1319 x PS1319	108,83 e	8,42 a	16,34 b	1,94 b	20,50 c
PS1319 x SJ02	139,55 c	9,13 a	20,50 a	2,25 a	15,44 c
SJ02 x SJ02	111,56 d	8,20 a	17,38 b	2,12 b	18,47 c

DF: diâmetro de fruto; CF; comprimento; BST: biomassa seca total; IF: índice de fruto. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Scott & Knott (1974).

De modo geral, para as razões de biomassa seca das partes/ BST (%BSC, %BSP e %BSS), foi verificado que as progênies com maiores valores de %BSS apresentaram menores valores de %BSC, destacando-se principalmente BN 34 x PH 15 (%BSS= 56% e %BSC= 42%), CEPEC 2004 x FA 13 (%BSS= 49% e %BSC= 50%), PS 10.30 x PS 10.30(%BSS= 49% e %BSC= 48%) e CEPEC 2002 x PH 15 (%BSS= 48% e %BSC= 50%). Por outro lado, as progênies CEPEC 2004 x PH 15, PH 16 x PS 13.19, PH 16 x PH 16 e PS 13.19 x SJ 02 apresentaram os menores valores de %BSS e maiores valores de %BSC (Figura 1). Em relação a %BSP houve variação entre as progênies. Os dois grupos com os maiores contrastes de valores médios foi representado por PS 10.30 x PS 10.30, BN 34 x PS 10.30, PS 13.19 x SJ 02, BN 34 x PS 13.19, CCN 51 x PS 13.19 e PS 13.19 x PS 13.19 com 70, 70, 75, 80, 110%, respectivamente, superiores à média geral. Por outro lado, o grupo com os menores valores médios, representado pelas progênies CEPEC 2004 x FA 13, FA 13 x PH 16, CEPEC 2002 X PH 16, FA 13 x PS 13.19, CEPEC 2002 x PH 15 que apresentaram valores de 55%, 30%, 25%, 20% e 15% inferiores, respectivamente, à média geral (Figura 1).

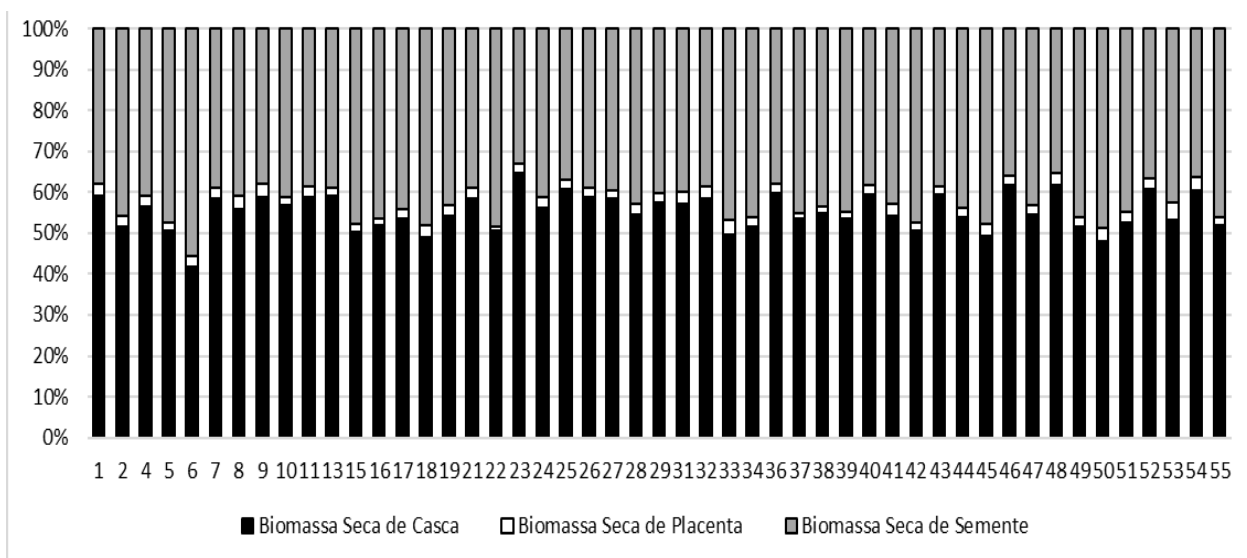


Figura 1- Relação da biomassa seca total em frutos de *T. cacao* em cruzamento dialélico. Progenie: 1) BN 34 X BN 34; (2) BN 34 X C. 2002; (4) BN 34 X CCN 51; (5) BN 34 X FA 13; (6) BN 34 X PH 15; (7) BN 34 X PH 16; (8) BN 34 X PS 10.30; (9) BN 34 X PS 13.19; (10) BN 34 X SJ 02; (11) C. 2002 X C. 2002; (13) C. 2002 X CCN 51; (15) C. 2002 X PH 15; (16) C. 2002 X PH 16; (17) C. 2002 X PS 10.30; (18) C. 2002 X PS 13.19; (19) C. 2002 X SJ 02; (21) C. 2004 X CCN 51; (22) C. 2004 X FA 13; (23) C. 2004 X PH 15; (24) C. 2004 X PH 16; (25) C. 2004 X PS 10.30; (26) C. 2004 X PS 13.19; (27) C. 2004 X SJ 02; (28) CCN 51 X CCN 51; (29) CCN 51 X FA 13; (31) CCN 51 X PH 16; (32) CCN 51 X PS 10.30; (33) CCN 51 X PS 13.19; (34) CCN 51 X SJ 02; (36) FA 13 X PH 15; (38) FA 13 X PS 10.30; (39) FA 13 X PS 13.19; (40) FA 13 X SJ 02; (41) PH 15 X PH 15; (42) PH 15 X PH 16; (43) PH 15 X PS 10.30; (44) PH 15 X PS 13.19; (45) PH 15 X SJ 02; (46) PH 16 X PH 16; (47) PH 16 X PS 10.30; (48) PH 16 X PS 13.19; (49) PH 16 X SJ 02; (50) PS 10.30 X PS 10.30; (51) PS 10.30 X PS 13.19; (52) PS 10.30 X SJ 02; (53) PS 13.19 X PS 13.19; (54) PS 13.19 X SJ 02.

4.2. Conteúdo de macronutrientes minerais em sementes mais polpa

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) no conteúdo de macronutrientes minerais na biomassa seca de sementes mais polpa (BSS+P) entre as progênies avaliadas (Tabela 4). Esta diferença era esperada devido à variação genética dos genitores. As progênies BN 34 x FA 13, PH 16 x PS 13.19 e CCN 51 x PS 13.19 foram as que apresentaram os maiores valores médios de conteúdo de macronutrientes minerais em BSS+P. Por outro lado, as progênies resultantes dos cruzamentos CEPEC 2002 x CCN 51, CEPEC 2002 x PH 15, CCN 51 x FA 13, FA 13 x PH 15, FA 13 x PH 16, PH 15 x PH

15, PH 15 x PH 16 e PS 13.19 x SJ 02 foram as que apresentaram os menores valores médios de conteúdo dos macronutrientes avaliados (Tabela 7).

A média geral do conteúdo de N em BSS+P das progênies correspondeu ao valor de 1006,29 mg fruto⁻¹ (Tabela 4). Formaram-se três grupos a partir dos valores médios com igual nível de significância para o N. O grupo com as maiores médias (1228 a 1439 mg N fruto⁻¹) com sete progênies onde PH 16 x PS 13.19, BN 34 x FA 13, PH 15 x PS 10.30, BN 34 x CCN 51 foram as que apresentaram valores superiores à média geral de aproximadamente 43%, 31%, 30% e 30%, respectivamente, para esta variável. Por outro lado, o grupo com os menores conteúdos de N foi formado pelas progênies CEPEC 2002 x CCN 51, FA 13 x PH 16, PS 13.19 x SJ 02 e PH 15 x PH 16, cujos valores de N foram inferiores à média geral, com 41%, 32%, 22% e 21% respectivamente (Tabela 7).

O conteúdo de P em BSS+P ($p < 0,05$) correspondeu ao valor médio de 505,28 mg P fruto⁻¹ (Tabela 4). Cinco progênies (CCN 51 x PS 13.19, BN 34 x FA 13, PH 15 x PS 10.30, BN 34 x CCN 51 e PH 16 x PS 13.19) representaram o grupo com os maiores valores médios de P em BSS+P, que foram 28%, 37%, 43%, 44% e 50%, respectivamente, acima da média geral. Por outro lado, as progênies resultantes dos cruzamentos CEPEC 2002 x CCN 51, FA 13 x PH 16 e FA 13 x PH 15, foram as que apresentaram os menores valores médios de P em BSS+P (279 a 354 mg P fruto⁻¹), cujos valores médios foram abaixo da média geral de 45%, 41% e 30%, respectivamente (Tabela 7).

O conteúdo de K na BSS+P variou de 375 a 883 mg K fruto⁻¹. As progênies BN 34 x FA 13, BN 34 x CCN 51, PH 15 x PS 10.30, CCN 51 x PS 13.19 e PH 16 x PS 13.19 apresentaram os maiores valores médios acima da média geral com 30%, 33%, 40% e 42 % respectivamente. Por outro lado, 26 progênies apresentaram as menores médias (375 a 612 mg K fruto⁻¹), onde se destacaram as progênies PH 15 x PH 16, CCN 51 x FA 13, FA 13 x PH 16, CEPEC 2002 x CCN 51, cujos valores médios foram de 21%, 21%, 31% e 39%, respectivamente, menores do que a média geral (Tabela 7).

Os maiores valores médios do conteúdo de Ca na BSS+P foram verificados para 20 progênies, dentre as quais se destacaram BN 34 X BN 34, CCN 51 x PS 13.19 e BN 34 x FA 13 que foram 52, 53 e 54%, respectivamente, superior à média geral. Por outro

lado, as outras 29 progênies formaram o segundo grupo com os menores valores médios (66 a 148 mg Ca fruto⁻¹). Neste caso, foram destacadas as progênies CEPEC 2004 x PS 10.30, CCN 51 x FA 13 e CEPEC 2002 x CCN 51 com 36%, 37% e 55%, respectivamente, abaixo da média geral (Tabela 7).

Para o conteúdo Mg na BSS+P a média geral foi de 194,93mg Mg fruto⁻¹ (Tabela 4). Três grupos distintos foram formados pelo teste de média ($p < 0,05$). O primeiro grupo com sete progênies superiores à média geral em até 40%, PH 16 x PS 13.19 (275 mg Mg fruto⁻¹), PH 15 x PS 10.30, (267 mg Mg fruto⁻¹), BN 34 x FA 13 (257 mg Mg fruto⁻¹), FA 13 x SJ 02 (257 mg fruto⁻¹), CCN 51 x PS 13.19 (255 mg Mg fruto⁻¹), BN 34 x CCN 51 (242 mg Mg fruto⁻¹) e BN 34 x PH 15 (235 mg Mg fruto⁻¹). O segundo com valores médios entre 204 a 227 mg Mg fruto⁻¹, formado por 11 progênies. E o terceiro grupo com os menores valores médios estatisticamente (111 a 201 mg Mg fruto⁻¹), composto por 31 progênies chegando a apresentar valores 43% (CEPEC 2002 x CCN 51) menor do que a média geral (Tabela 7).

Tabela 7 - Conteúdo de macronutrientes minerais em biomassa seca de sementes mais polpa (BSS+P) do cruzamento dialélico entre 10 genótipos de *T. cacao*.

CRUZAMENTO	N		P		K		Ca		Mg	
	(mg fruto ⁻¹)									
BN34 x BN34	1073 ±	71 b	531 ±	80,3 b	703 ±	45,8 b	218 ±	17,0 a	227 ±	15,1 b
BN34 x C.2002	1149 ±	99 b	557 ±	40,9 b	715 ±	39,1 b	184 ±	17,9 a	207 ±	9,1 b
BN34 x CCN51	1309 ±	92 a	730 ±	43,0 a	719 ±	38,3 b	131 ±	5,7 b	242 ±	21,0 a
BN34 x FA13	1322 ±	89 a	692 ±	83,4 a	803 ±	34,2 a	231 ±	41,9 a	257 ±	26,9 a
BN34 x PH15	1009 ±	65 c	625 ±	37,5 b	680 ±	56,2 b	125 ±	20,5 b	235 ±	27,8 a
BN34 x PH16	1141 ±	51 b	556 ±	52,5 b	706 ±	32,8 b	139 ±	15,6 b	215 ±	8,1 b
BN34 x PS1030	945 ±	84 c	493 ±	46,2 c	548 ±	43,1 c	119 ±	16,3 b	183 ±	8,7 c
BN34 x PS1319	969 ±	58 c	630 ±	61,1 b	569 ±	40,8 c	135 ±	16,9 b	194 ±	9,4 c
BN34 x SJ02	1085 ±	65 b	445 ±	57,9 c	644 ±	21,4 b	164 ±	17,9 a	208 ±	12,9 b
C.2002 x C.2002	916 ±	118 c	487 ±	81,6 c	608 ±	77,0 c	165 ±	32,0 a	172 ±	22,8 c
C.2002 x CCN51	598 ±	54 c	279 ±	9,1 c	375 ±	46,4 c	66 ±	8,3 b	111 ±	14,4 c
C.2002 x PH15	872 ±	42 c	377 ±	27,3 c	529 ±	52,9 c	147 ±	17,1 b	178 ±	12,3 c
C.2002 x PH16	972 ±	44 c	472 ±	36,0 c	612 ±	30,2 c	156 ±	19,7 a	188 ±	7,9 c
C.2002 x PS1030	933 ±	52 c	446 ±	53,5 c	604 ±	61,6 c	185 ±	28,8 a	194 ±	12,2 c
C.2002 x PS1319	904 ±	75 c	375 ±	14,0 c	531 ±	33,6 c	188 ±	39,0 a	180 ±	14,0 c
C.2002 x SJ02	1165 ±	45 b	548 ±	29,9 b	732 ±	41,0 b	116 ±	14,2 b	222 ±	19,4 b
C.2004 x CCN51	1157 ±	92 b	566 ±	70,4 b	692 ±	54,7 b	184 ±	12,6 a	218 ±	9,7 b
C.2004 x FA13	877 ±	70 c	413 ±	29,6 c	529 ±	50,9 c	115 ±	24,0 b	161 ±	10,7 c
C.2004 x PH15	1103 ±	81 b	489 ±	77,8 c	674 ±	79,2 b	172 ±	14,2 a	181 ±	16,1 c
C.2004 x PH16	1012 ±	99 c	537 ±	74,1 b	644 ±	53,9 b	167 ±	37,4 a	197 ±	21,5 c
C.2004 x PS1030	860 ±	69 c	455 ±	15,1 c	511 ±	31,2 c	95 ±	4,0 b	173 ±	12,4 c
C.2004 x PS1319	1041 ±	98 c	537 ±	67,0 b	677 ±	66,9 b	139 ±	26,6 b	201 ±	21,6 c
C.2004 x SJ02	923 ±	40 c	433 ±	25,1 c	637 ±	55,3 b	114 ±	7,9 b	167 ±	14,9 c
CCN51 x CCN51	958 ±	23 c	534 ±	13,7 b	566 ±	32,1 c	122 ±	9,3 b	175 ±	3,9 c
CCN51 x FA13	854 ±	29 c	490 ±	24,2 c	487 ±	27,6 c	95 ±	9,4 b	169 ±	7,5 c
CCN51 x PH16	1174 ±	120 b	625 ±	38,5 b	724 ±	63,2 b	166 ±	22,4 a	215 ±	16,4 b
CCN51 x PS1030	874 ±	36 c	437 ±	35,5 c	545 ±	26,6 c	125 ±	18,6 b	176 ±	8,8 c
CCN51 x PS1319	1276 ±	141 a	645 ±	73,1 a	870 ±	97,8 a	229 ±	47,0 a	255 ±	23,2 a
CCN51 x SJ02	912 ±	52 c	462 ±	35,5 c	519 ±	44,7 c	143 ±	9,3 b	175 ±	15,4 c
FA13 x PH15	813 ±	21 c	354 ±	21,1 c	516 ±	31,4 c	139 ±	14,1 b	163 ±	10,6 c
FA13 x PH16	683 ±	52 c	299 ±	33,1 c	428 ±	36,7 c	116 ±	25,6 b	131 ±	13,6 c
FA13 x PS1030	1049 ±	68 c	581 ±	49,7 b	633 ±	83,8 b	119 ±	16,5 b	204 ±	19,8 b
FA13 x PS1319	904 ±	52 c	464 ±	40,1 c	576 ±	30,1 c	168 ±	27,3 a	185 ±	7,3 c
FA13 x SJ02	1228 ±	172 a	550 ±	62,6 b	751 ±	79,2 b	194 ±	36,0 a	257 ±	45,1 a
PH15 x PH15	904 ±	46 c	390 ±	14,1 c	538 ±	48,1 c	140 ±	10,6 b	174 ±	11,2 c
PH15 x PH16	794 ±	77 c	400 ±	24,6 c	489 ±	36,0 c	135 ±	21,8 b	164 ±	18,3 c
PH15 x PS1030	1310 ±	72 a	722 ±	69,8 a	824 ±	78,3 a	203 ±	29,6 a	267 ±	21,1 a
PH15 x PS1319	861 ±	136 c	444 ±	73,1 c	556 ±	93,0 c	134 ±	28,8 b	175 ±	29,0 c
PH15 x SJ02	945 ±	98 c	449 ±	58,8 c	553 ±	52,2 c	148 ±	17,2 b	184 ±	20,4 c
PH16 x PH16	914 ±	45 c	513 ±	38,5 c	576 ±	18,6 c	137 ±	21,3 b	168 ±	8,6 c
PH16 x PS1030	983 ±	60 c	471 ±	22,1 c	641 ±	68,5 b	173 ±	20,2 a	199 ±	17,9 c
PH16 x PS1319	1439 ±	94 a	758 ±	83,0 a	883 ±	34,7 a	183 ±	13,3 a	275 ±	10,4 a
PH16 x SJ02	1057 ±	53 c	596 ±	58,4 b	674 ±	55,5 b	126 ±	5,6 b	211 ±	8,7 b
PS1030 x PS1030	1035 ±	37 c	425 ±	21,1 c	559 ±	19,7 c	136 ±	14,8 b	174 ±	6,6 c
PS1030 x PS1319	936 ±	22 c	481 ±	43,0 c	561 ±	33,0 c	119 ±	16,5 b	188 ±	10,5 c
PS1030 x SJ02	1034 ±	85 c	568 ±	58,1 b	641 ±	67,5 b	121 ±	11,8 b	204 ±	19,4 b
PS1319 x PS1319	976 ±	88 c	567 ±	51,6 b	672 ±	36,8 b	180 ±	20,4 a	204 ±	14,6 b
PS1319 x SJ02	783 ±	73 c	361 ±	38,5 c	535 ±	40,7 c	122 ±	12,4 b	161 ±	5,7 c
SJ02 x SJ02	1279 ±	69 a	501 ±	50,3 c	597 ±	56,1 c	177 ±	16,5 a	189 ±	13,4 c

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Scott & Knott (1974).

4.3. Conteúdo de micronutrientes minerais em sementes mais polpa

De modo geral, para o conteúdo de micronutrientes na biomassa seca de sementes mais polpa (BSS+P), as progênies BN 34 x FA 13, FA 13 x PS 10.30, FA 13 x SJ 02, PH 15 x PS 10.30 e PH 16 x PS 13.19 apresentaram os maiores valores para Fe (2,32 a 3,32 mg fruto⁻¹), Zn (4,07 a 4,96 mg fruto⁻¹), Cu (2,14 a 3,21 mg fruto⁻¹) e Mn (1,06 a 1,64 mg fruto⁻¹). Em contrapartida, as progênies CEPEC 2002 x CCN 51, CEPEC 2004 x PS 10.30, CCN 51 x FA 13 e FA 13 x PH 16 apresentaram os menores valores médios para Fe (1,31 a 2,26 mg fruto⁻¹), Zn (2,36 a 3,42 mg fruto⁻¹), Cu (1,38 a 2,07 mg fruto⁻¹) e Mn (0,48 a 1,03 mg fruto⁻¹) (Tabela 8).

O Na teve sua média geral de 102,55 mg Na fruto⁻¹ para seu conteúdo em BSS+P ($p < 0,05$). Foram formados dois grupos pelo teste de média. No primeiro as progênies FA 13 x SJ 02, PH 16 x PS 13.19, PH 15 x PS 10.30 e CCN 51 x PS 13.19 se destacaram dentre as 20 progênies, com valores de aproximadamente 28%, 32%, 37% e 50% respectivamente acima da média geral. Já no segundo grupo dentre as 29 progênies se destacaram as progênies CEPEC 2002 x CCN 51, FA 13 x PH 16 e CCN 51 x SJ 02 que foram 42%, 40% e 22%, respectivamente, inferiores à média geral (Tabela 8).

Tabela 8- Conteúdo de micronutrientes minerais em biomassa seca de sementes mais polpa (BSS+P) de cruzamento dialélico de 10 genótipos de *T. cacao*.

CRUZAMENTO	Fe Zn Cu Mn Na					
	(mg fruto-1)					
BN34 x BN34	2,03 ± 0,2	b	4,20 ± 0,2	a	2,57 ± 0,3	a
BN34 x C.2002	2,17 ± 0,3	b	4,07 ± 0,3	a	2,34 ± 0,1	a
BN34 x CCN51	2,32 ± 0,1	a	4,61 ± 0,2	a	2,83 ± 0,3	a
BN34 x FA13	2,99 ± 0,4	a	4,09 ± 0,4	a	2,39 ± 0,3	a
BN34 x PH15	1,87 ± 0,1	b	3,70 ± 0,3	b	2,24 ± 0,3	a
BN34 x PH16	2,26 ± 0,2	b	3,71 ± 0,2	b	2,46 ± 0,0	a
BN34 x PS1030	1,99 ± 0,3	b	3,29 ± 0,4	c	1,57 ± 0,2	b
BN34 x PS1319	2,06 ± 0,2	b	3,07 ± 0,2	c	1,70 ± 0,2	b
BN34 x SJ02	2,44 ± 0,1	a	3,56 ± 0,2	b	1,81 ± 0,2	b
C.2002 x C.2002	2,03 ± 0,2	b	3,16 ± 0,5	c	2,21 ± 0,3	a
C.2002 x CCN51	1,31 ± 0,2	b	2,40 ± 0,1	c	1,64 ± 0,2	b
C.2002 x PH15	1,82 ± 0,2	b	2,83 ± 0,3	c	1,75 ± 0,2	b
C.2002 x PH16	2,01 ± 0,2	b	3,56 ± 0,3	b	2,32 ± 0,2	a
C.2002 x PS1030	2,45 ± 0,1	a	3,40 ± 0,3	c	1,76 ± 0,1	b
C.2002 x PS1319	1,81 ± 0,3	b	2,71 ± 0,2	c	1,66 ± 0,2	b
C.2002 x SJ02	2,68 ± 0,3	a	4,32 ± 0,4	a	2,04 ± 0,2	b
C.2004 x CCN51	2,19 ± 0,2	b	3,42 ± 0,2	c	2,50 ± 0,2	a
C.2004 x FA13	2,25 ± 0,2	b	2,71 ± 0,2	c	1,83 ± 0,1	b
C.2004 x PH15	2,08 ± 0,2	b	3,14 ± 0,2	c	2,33 ± 0,3	a
C.2004 x PH16	2,21 ± 0,2	b	3,55 ± 0,2	b	2,37 ± 0,2	a
C.2004 x PS1030	1,59 ± 0,1	b	2,67 ± 0,1	c	1,57 ± 0,2	b
C.2004 x PS1319	1,87 ± 0,1	b	3,39 ± 0,4	c	1,60 ± 0,2	b
C.2004 x SJ02	1,84 ± 0,2	b	2,95 ± 0,2	c	2,05 ± 0,2	b
CCN51 x CCN51	1,85 ± 0,1	b	3,51 ± 0,2	b	2,53 ± 0,1	a
CCN51 x FA13	1,51 ± 0,1	b	3,08 ± 0,1	c	1,93 ± 0,1	b
CCN51 x PH16	2,50 ± 0,3	a	4,15 ± 0,3	a	2,58 ± 0,3	a
CCN51 x PS1030	2,79 ± 0,1	a	3,00 ± 0,1	c	1,63 ± 0,1	b
CCN51 x PS1319	2,17 ± 0,2	b	3,80 ± 0,5	b	3,21 ± 0,5	a
CCN51 x SJ02	1,62 ± 0,1	b	3,31 ± 0,3	c	1,64 ± 0,1	b
FA13 x PH15	1,80 ± 0,1	b	2,87 ± 0,1	c	1,77 ± 0,2	b
FA13 x PH16	1,43 ± 0,2	b	2,36 ± 0,3	c	1,64 ± 0,2	b
FA13 x PS1030	2,77 ± 0,4	a	4,10 ± 0,5	a	2,21 ± 0,2	a
FA13 x PS1319	1,70 ± 0,1	b	2,86 ± 0,2	c	2,07 ± 0,1	b
FA13 x SJ02	2,89 ± 0,5	a	4,17 ± 0,4	a	2,47 ± 0,3	a
PH15 x PH15	2,07 ± 0,2	b	2,90 ± 0,2	c	1,97 ± 0,2	b
PH15 x PH16	1,76 ± 0,1	b	2,72 ± 0,3	c	2,20 ± 0,2	a
PH15 x PS1030	2,52 ± 0,2	a	4,96 ± 0,4	a	2,59 ± 0,3	a
PH15 x PS1319	1,97 ± 0,3	b	2,98 ± 0,5	c	1,38 ± 0,3	b
PH15 x SJ02	2,09 ± 0,2	b	3,56 ± 0,4	b	2,35 ± 0,3	a
PH16 x PH16	2,14 ± 0,2	b	3,28 ± 0,2	c	2,73 ± 0,2	a
PH16 x PS1030	2,19 ± 0,1	b	3,73 ± 0,2	b	2,15 ± 0,1	a
PH16 x PS1319	3,32 ± 0,2	a	4,52 ± 0,5	a	2,50 ± 0,5	a
PH16 x SJ02	2,44 ± 0,2	a	3,64 ± 0,3	b	2,14 ± 0,2	a
PS1030 x PS1030	1,82 ± 0,2	b	2,99 ± 0,1	c	2,03 ± 0,1	b
PS1030 x PS1319	2,67 ± 0,3	a	3,30 ± 0,3	c	1,74 ± 0,1	b
PS1030 x SJ02	2,10 ± 0,2	b	3,68 ± 0,3	b	1,73 ± 0,1	b
PS1319 x PS1319	1,92 ± 0,2	b	3,36 ± 0,1	c	2,06 ± 0,3	b
PS1319 x SJ02	2,38 ± 0,2	a	2,72 ± 0,3	c	1,40 ± 0,1	b
SJ02 x SJ02	2,26 ± 0,2	b	3,63 ± 0,3	b	2,71 ± 0,2	a
	1,08 ± 0,1	a				

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Scott & Knott (1974).

4.4. Concentrações de Ni, Cd e Pb em sementes mais polpa

Para o conteúdo de Ni, Cd e Pb na biomassa seca de sementes mais polpa (BSS+P) foram formando 5, 4 e 3 grupos, respectivamente, pelo teste de média, mostrando a variabilidade genética existente entre as progênies. De modo geral, verificou-se que as progênies CEPEC 2002 x CCN 51, CEPEC 2002 x PH 16 e CEPEC 2004 x SJ 02 apresentaram os menores valores médios de Ni, Pb e Cd na BSS+P, respectivamente. Em contrapartida, as progênies CCN 51 x PS 13.19 e PH 16 x SJ 02 apresentaram os maiores valores médios do conteúdo de Ni, Pb e Cd na BSS+P (Figura 2A, B e C).

As progênies CCN 51 x PS 13.19, PH 16 x PS 13.19 e PH 16 x SJ 02 apresentaram os maiores valores médio do conteúdo de Ni na BSS+P, cujos valores foram de 63%, 63% e 55%, respectivamente, maiores do que a média geral, formando o primeiro dos cinco grupos de médias compostos a partir do teste de média. O quinto grupo foi formado pelas progênies com as menores médias, representado por 13 progênies (0,27 a 0,36 mg Ni fruto⁻¹), sendo destacadas as progênies CEPEC 2002 x CCN 51, (0,268 mg Ni fruto⁻¹), CEPEC 2004 x PH 15 (0,269 mg Ni fruto⁻¹), CEPEC 2002 x PS 10.30 (0,270 mg Ni fruto⁻¹), CEPEC 2002 x CEPEC 2002 (0,275 mg Ni fruto⁻¹) e PS 13.19 x PS 13.19 (0,287 mg Ni fruto⁻¹), cujos valores foram 45%, 45%, 45%, 45% e 41%, respectivamente, menores do que a média geral (Figura 2A).

A média geral do conteúdo de Pb em BSS+P ($p < 0,05$) correspondeu ao valor de 0,65 mg Pb fruto⁻¹ (Tabela 4). O primeiro grupo, formado por sete progênies (BN 34 x PH 15, PH 16 x SJ 02, PS 10.30 x PS 10.30, BN 34 x FA 13, BN 34 x CCN 51, CCN 51 x PS 13.19 e PH 16 x PS 13.19), apresentou os maiores valores médios superiores à média geral (27% a 48%). Por outro lado, o último grupo apresentou os menores valores médios de Pb (0,36 a 0,52 mg Pb fruto⁻¹) e foi representado por nove progênies (CEPEC 2002 x PH 16; CEPEC 2002 x CEPEC 2002, CEPEC 2004 x PS 10.30, BN 34 x SJ 02, PS 13.19 x PS 13.19, CCN 51 x PS 10.30, FA 13 x PS 13.19, CEPEC 2002 x PS 10.30 e PH 16 x PS 10.30) que foram inferiores a média geral (44% a 20%) (Figura 2B).

Em relação ao conteúdo de Cd em BSS+P, os maiores valores médios (0,14 a 0,19mg Cd fruto⁻¹) foram verificados para seis progênies (PH 16 x SJ 02, CCN 51 x PS 13.19, PS 10.30 x PS 13.19, FA 13 x PS 10.30, BN 34 x CCN 51 e CEPEC 2002 x PH 15) que foram 75%, 44%, 42%, 42%, 32% e 30%, respectivamente, superiores à média geral. Por outro lado, as progênies CEPEC 2004 x SJ 02, PS 10.30 x PS 10.30, CEPEC 2004 x PH 15, CEPEC 2002 x CEPEC 2002 e CEPEC 2002 x CCN 51 apresentaram valores médios de conteúdo de Cd 71%, 37%, 30%, 28% e 26%, respectivamente, inferiores à média geral (0,11 mg Cd fruto⁻¹) (Figura 2C).

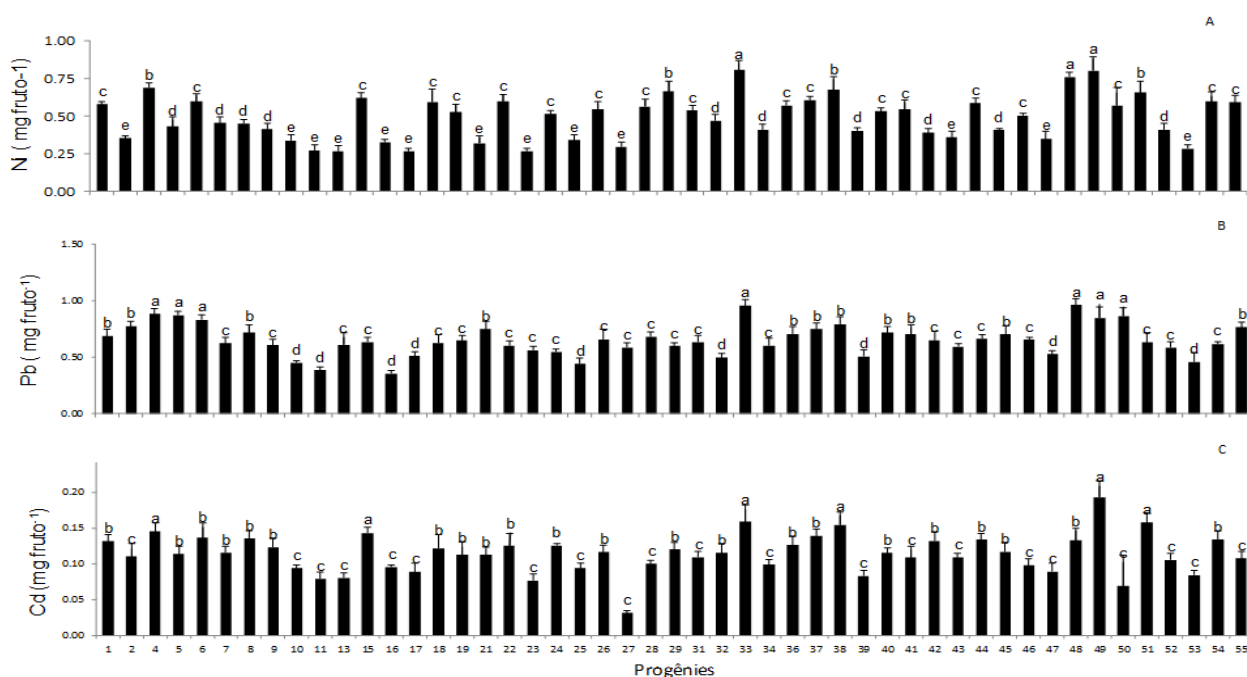


Figura 2. Conteúdo de Ni (A), Pb (B) e Cd (C) em biomassa seca de sementes mais polpa de *T. cacao* resultante do cruzamento dialélico entre genótipos de cacau. Progenie: (1) BN 34 x BN 34; (2) BN 34 x C. 2002; (4) BN 34 x CCN 51; (5) BN 34 x FA 13; (6) BN 34 x PH 15; (7) BN 34 x PH 16; (8) BN 34 x PS 10.30; (9) BN 34 x PS 13.19; (10) BN 34 x SJ 02; (11) C. 2002 x C. 2002; (13) C. 2002 x CCN 51; (15) C. 2002 x PH 15; (16) C. 2002 x PH 16; (17) C. 2002 x PS 10.30; (18) C. 2002 x PS 13.19; (19) C. 2002 x SJ 02; (21) C. 2004 x CCN 51; (22) C. 2004 x FA 13; (23) C. 2004 x PH 15; (24) C. 2004 x PH 16; (25) C. 2004 x PS 10.30; (26) C. 2004 x PS 13.19; (27) C. 2004 x SJ 02; (28) CCN 51 x CCN 51; (29) CCN 51 x FA 13; (31) CCN 51 x PH 16; (32) CCN 51 x PS 10.30; (33) CCN 51 x PS 13.19; (34) CCN 51 x SJ 02; (36) FA 13 x PH 15; (38) FA 13 x PS 10.30; (39) FA 13 x PS 13.19; (40) FA 13 x SJ 02; (41) PH 15 x PH 15; (42) PH 15 x PH 16; (43) PH 15 x PS 10.30; (44) PH 15 x PS 13.19; (45) PH 15 x SJ 02; (46) PH 16 x PH 16; (47) PH 16 x PS 10.30; (48) PH 16 x PS 13.19; (49) PH 16 x SJ 02; (50) PS 10.30 x PS 10.30; (51) PS 10.30 x PS 13.19; (52) PS 10.30 x SJ 02; (53) PS 13.19 x PS 13.19; (54) PS 13.19 x SJ 02. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Scott e Knott (1974).

4.5. Análise de agrupamento

A partir das análises de agrupamento baseada na similaridade, foi possível verificar a formação de quatro grupos distintos (Figura 3). O primeiro grupo (I) foi representado por quatro cruzamentos, o segundo (II) por nove, o terceiro (III) por 17 e o quarto (IV) por 19 cruzamentos. Houve relação entre os grupos formados e os maiores valores dos atributos de crescimento dos frutos e da composição química das sementes mais polpa de diversas progênies de cacau, resultantes do cruzamento dialélico. Os cruzamentos BN 34 x CCN 51, BN 34 x FA 13, CCN 51 x PS 13.19 e PH 16 x PS 13.19 foram agrupados formando o primeiro grupo, principalmente pelos maiores valores de BST, N, P, K, Ni e Pb em relação aos demais cruzamentos. Por outro lado, os cruzamentos CEPEC 2002 x CEPEC 2002, CEPEC 2004 x PS 10.30, CEPEC 2004 x SJ 02, CEPEC 2002 x CCN 51, CEPEC 2002 x PH 16, FA 13 x PS 13.19, CEPEC 2002 x PS 10.30, PH 16 x PS 10.30 e PS 13.19 x PS 13.19 formaram o segundo grupo, principalmente pelos menores valores para a maioria dos macro e micronutrientes minerais, metais pesados e BST. O terceiro e o quarto grupo apresentaram variação entre os valores para os diferentes atributos avaliados.

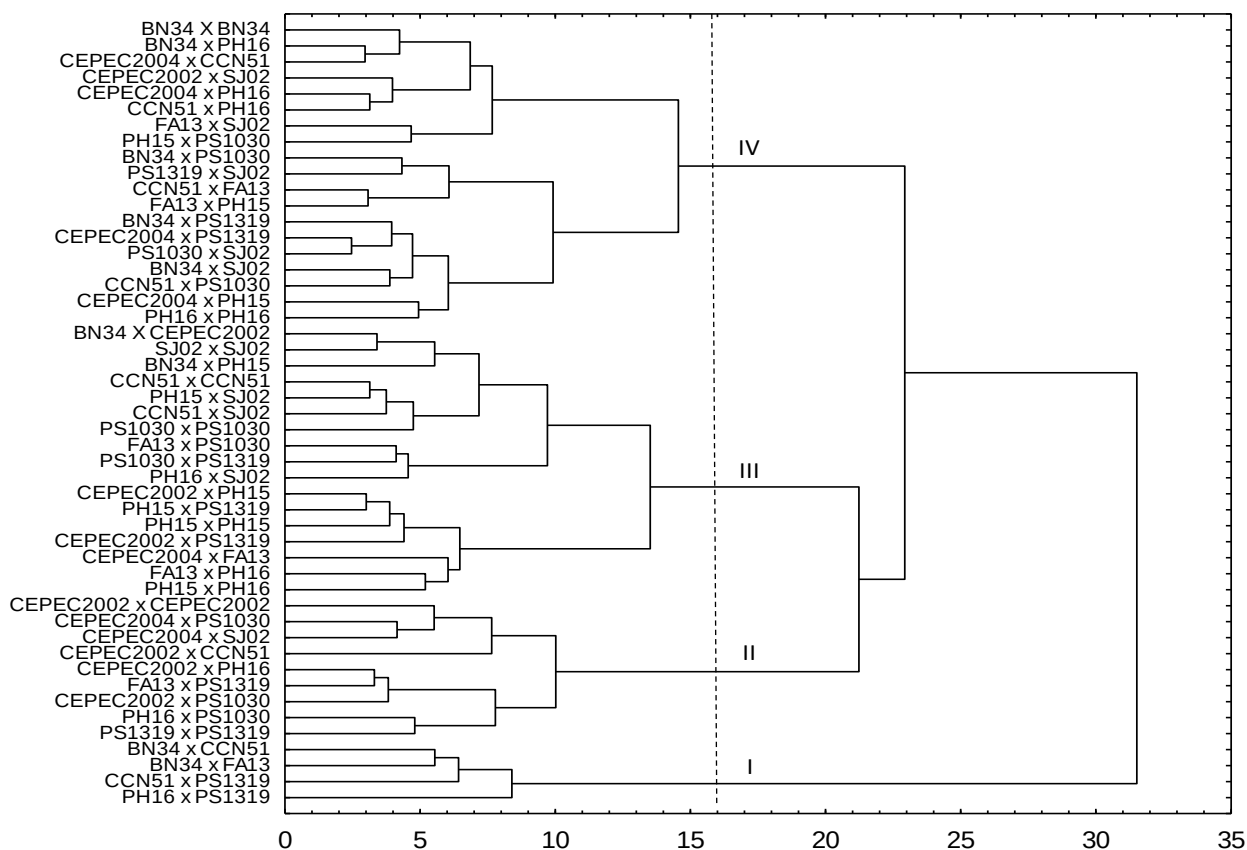


Figura 3. Análise de agrupamento de genótipos de *T. cacao*, resultantes de cruzamento dialélico com base na distância euclidiana para variáveis de crescimento do fruto e da composição química das sementes mais polpa, avaliada usando o método de agrupamento.

4.6. Análise dialélica

Nas análises de variância dos tratamentos, os quadrados médios obtidos mostraram diferenças estatísticas significativas pelo teste F ($p < 0,01$) para todos os atributos biométricos e de biomassa, sendo decompostos em capacidades gerais (CGC) e específicas de combinação (CEC) ($p < 0,01$) (Tabela 9). Para o entendimento da variação genética observada, foram calculadas as porcentagens das somas de quadrados dos tratamentos/progênes, respondidas por CGC e CEC (SPRAGUE; TATUM, 1942).

Para a maioria dos caracteres biométricos e de biomassa seca dos frutos de cacau e de suas partes (DF, NS, PIS, BSC, BSP e BSS), das diversas progênes avaliadas, as maiores porcentagens das somas dos quadrados dos tratamentos foram respondidas pelas capacidades específicas de combinação, com amplitude de 61,3 (BSP) a 83,8 (BIS). Para as demais características, ocorreu um predomínio relativo das %SQCEC para CF (CGC= 42,1% e CEC= 57,9%), BSS (CGC= 41,1% e CEC= 58,9%) e CF/DF (CGC= 42,8% e CEC= 57,2%), em relação as %SQCGC. Para o IF houve um equilíbrio entre as %SQ das capacidades de combinação (CGC= 49,3% e CEC= 50,7%). Os menores valores de herdabilidade no sentido amplo foram 36,4 (DF), 38,9 (CF/DF), 50,8 (IF), 64,8 (NS), 69,3 (CF). Já as variáveis BIS, BSP, BSS, BSC e BST apresentaram os maiores valores 72,6, 84,6, 86,3, 90,7 e 93,8, respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9 - Análise de variância dos efeitos dos tratamentos para os caracteres biométricos e de biomassa seca dos frutos de *T. cacao* e de suas partes.

FV	GL	DF	CF	NS	BIS	IF	BSC	BSP	BSS	BST	CF/DF
TRATAMENTO	27	3,21 **	33,29 **	248,37 **	0,285 **	95,71 **	0,065 **	0,763 **	0,051 **	5217,70 **	0,321 **
C.G.C	6	3,69 **	63,05 **	334,44 **	0,208 **	208,30 **	0,069 **	1,327 **	0,094 **	6294,57 **	0,618 **
C.E.C	21	3,07 **	24,79 **	223,77 **	0,307 **	63,54 **	0,064 **	0,602 **	0,039 **	4910,03 **	0,236 **
RESÍDUO	108	0,45	4,39	32	0,046	10,47	0,004	0,055	0,004	163,40	0,078
SQCGC (%)		25,6	42,1	29,9	16,2	49,3	23,7	38,7	41,1	26,8	42,8
SQCEC (%)		74,4	57,9	70,1	83,8	50,7	76,3	61,3	58,9	73,2	57,2
h ² =		36,4	69,3	64,8	72,6	50,8	90,7	84,6	86,3	93,8	38,9

Grau de liberdade (GL), Capacidade Geral de Combinação (CGC), Capacidade Específica de Combinação (CEC), Soma dos Quadrados da CGC (SQCGC), Soma dos Quadrados da CEC (SQCEC), herdabilidade no sentido amplo (h²), Diâmetro do fruto (DF), comprimento do fruto (CF), número de sementes (NF), biomassa individual de sementes (BIS), índice de fruto (IF), biomassa seca da casca (BSC), biomassa seca da placenta (BSP), biomassa seca de sementes (BSS), biomassa seca total (BST), CF/DF = razão entre o comprimento e o diâmetro do fruto. Significância declarada (citada por Memon et al, 2015): ‘*’ p<0,05 e ‘**’ p<0,01, quando o efeito da CGC é duas e três vezes maiores do que desvio padrão (Di), respectivamente.

No que diz respeito às capacidades gerais de combinação, os efeitos significativos, alguns acompanhados de sinal positivo e outros de negativo, demonstraram que os genitores se apresentaram contrastante para todas as características biométricas e de biomassa seca do fruto e de suas partes avaliadas (Tabela 10). Procuramos destacar

aqui no estudo os genitores que além de apresentarem efeitos significativos, transmitem essas características para suas progênes na produção de sementes.

Dentre os atributos avaliados, destacamos as variáveis IF e BSS, uma vez que são importantes na produção de sementes. Os genitores BN 34 e PH 16 apresentaram efeitos negativos e significativos de CGC ($p < 0,01$) para IF e positivos para BSS, assim como para o PS 10.30 que ainda apresentou efeitos positivos significativos para BIS da CGC ($p < 0,05$). De maneira geral o CEPEC 2002 apresentou efeitos negativos e significativos de CGC para todos os atributos avaliados, exceto IF que mostrou efeitos positivos significativos ($p < 0,01$) (Tabela 10).

Tabela 10 - Efeito da capacidade geral de combinação (CGC) dos genitores de *T. cacao* para os caracteres e de biomassa seca do fruto e de suas partes.

Genitores	DF	CF	NS	PIS	IF	BSC	BSP	BSS	BST	CF/DF
BN 34	0,190 *	0,752 *	0,956	0,058	-1,668 **	0,034 **	0,054	0,034 **	7,664 **	0,037
CEPEC 2002	-0,227 *	-2,556 **	-5,972 **	-0,070 *	4,586 **	-0,070 **	-0,290 **	-0,097 **	-23,579 **	-0,238 **
CCN 51	-0,214 *	0,595	-0,217	0,008	-0,337	-0,005	0,047	0,003	-2,160	0,117 **
PH 16	0,257 *	0,319	0,967	0,057	-1,344 **	0,040 **	-0,036	0,032 **	13,530 **	-0,025
PS 1030	-0,404 **	-0,320	1,056	0,076 *	-1,290 *	-0,032 **	0,132 **	0,029 **	-1,727	0,061
PS1319	0,357 **	0,505	2,222 *	-0,097 **	0,461	0,021 *	0,226 **	-0,008	5,801 **	-0,026
SJ02	0,041	0,704 *	0,989	-0,032	-0,408	0,011	-0,133 **	0,007	0,470	0,074
DP(Gi)	0,093	0,289	0,781	0,030	0,447	0,009	0,032	0,009	1,764	0,039

Diâmetro do fruto (DF), comprimento do fruto (CF), número de sementes (NF), biomassa individual de sementes (BIS), índice de fruto (IF), biomassa seca da casca (BSC), biomassa seca da placenta (BSP), biomassa seca de sementes (BSS), biomassa seca total (BST), CF/DF = razão entre o comprimento e o diâmetro do fruto. Significância declarada (citada por Memon et al, 2015): '*' $p < 0,05$ e '**' $p < 0,01$, quando o efeito da CGC é duas e três vezes maiores do que desvio padrão (Di), respectivamente.

Para a capacidade específica de combinação (CEC), houve variação entre progênes apresentando dois e três desvios (positivos e negativos) significativos em relação ao desvio padrão para os atributos analisados, principalmente para IF e BSS. Três progênes (PH 16 x PS 13.19, PH 16 x PS 10.30 e PH 16 x SJ 02) apresentaram combinação de efeitos com o genitor PH 16 para os atributos IF e BSS, o que demonstra que esse progenitor proporciona uma maior heterose para suas progênes. A progênie

PH 16 x PS 13.19 apresentou estimativas significativas (positivas e negativas) para todos os atributos biométricos e de biomassa seca do fruto e de suas partes, exceto para a relação DF/CF ($p < 0,01$ e $p < 0,05$). Esse efeito observado no cruzamento de PH 16 x PS 13.19 para as variáveis IF e BSS tem uma relação de combinação com os efeitos negativo e positivo, respectivamente do genitor PH 16 ($p < 0,01$), e com valores de 42,70% (IF) e 14,80% (BSS) de heterose. Já o cruzamento PH 16 x PS 10.30 apresentou estimativas significativas (+ e -) para todas as variáveis exceto para DF e CF/DF. O efeito observado para PH 16 x PS 10.30 foi combinado com o efeito negativo de CGC somente com o genitor PH 16 para IF, mesmo o genitor PS 10.30 apresentando efeito de CGC significativamente positivo para IF. Também combinou com os efeitos positivos da CGC de ambos os genitores na BSS, com um desvio em relação à média e com valores de heterose de 14,78% e 3,93% para IF e BSS, respectivamente (Tabela 11).

A progênie PH 16 x SJ 02 apresentou estimativas significativas (positivas e negativas) para todas as variáveis avaliadas, exceto para DF, NS e BSP. O efeito observado para PH 16 x SJ 02 foi combinado com o efeito positivo da CGC do genitor PH 16 para a característica BSS e uma heterose de 15,13%, e efeito negativo para IF apresentando 44,52% de heterose. A progênie do cruzamento CCN 51 x PS 13.19 também apresentou estimativas significativas positivas para BIS e BSS com heterose de 41,47 e 7,74%, respectivamente, e negativa para o IF com heterose de 26,56%. Entretanto, este efeito não foi combinado com nenhum dos genitores. A progênie PS 10.30 x PS 13.19 apresentou estimativas significativas positivas (CF, BSS e CF/DF) e negativas (IF, BSC) exceto para DF, NS, BIS, BSP e BST que não foram significativos ($p < 0,05$). O efeito observado para PS 10.30 x PS 13.19 foi combinado com o efeito negativo de CGC do genitor PS 10.30 para IF, e positivo para BSS. Além disso, apresentaram para IF e BSS desvios significativos duas e três vezes maiores do que o desvio padrão e heterose de 3,50% e 3,70%, respectivamente (Tabela 11).

Tabela 11 - Estimativas das capacidades específicas de combinação (sij) relativas às características biométricas e de biomassa seca de frutos de *T. cacao* e de suas partes.

Progênes	DF		CF		NS		BIS		IF		BSC		BSP		BSS		BST		CF/DF	
	CEC	H (%)	CEC	H (%)	CEC	H (%)	CEC	H (%)	CEC	H (%)	CEC	H (%)	CEC	H (%)	CEC	H (%)	CEC	H (%)	CEC	H (%)
BN34 X CEPEC2002	-0,01	-3,41	2,52 **	21,82	10,33 **	35,10	-0,24 *	-24,16	-2,42	-9,86	-0,01	0,28	0,24 *	15,86	0,04	1,49	3,09	0,62	0,29 *	25,80
BN34 X CCN51	0,88 **	13,94	3,24 **	24,69	-0,43	-3,53	0,21 *	13,02	-2,32	-10,01	0,12 **	7,65	0,34 **	23,89	0,06 *	2,54	31,42 **	24,84	0,14	9,37
BN34 X PH16	0,15	2,23	-2,03 *	-5,93	-6,91 **	-8,46	0,14	9,32	1,18	-2,37	0,05 *	4,28	0,19 *	12,04	-0,04		1,56	11,43	-0,26 *	-8,20
BN34 X PS1030	0,97 **	9,41	0,95	3,05	2,30	-1,10	-0,10	-13,29	-0,26	15,29	0,10 **	6,04	0,45 **	25,06	0,01	-3,24	20,62 **	8,22	-0,12	-5,85
BN34 X PS1319	-0,90 **	-5,20	-1,47 *	2,21	1,13	11,11	-0,30 **	-26,46	4,12 **	16,67	-0,10 **	-2,73	-0,30 **	-1,12	-0,10 **	-4,35	-32,76 **	-14,49	0,05	7,88
BN34 X SJ02	-0,63 *	-2,98	-2,17 **	-5,98	-1,23	7,53	-0,10	-14,71	1,67	7,09	-0,12 **	-5,41	-0,50 **	-21,43	-0,04	-1,99	-25,37 **	-16,33	-0,10	-3,10
CEPEC2002 X CCN51	-0,16	-4,79	0,22	12,21	4,05	5,47	-0,22 *	-12,84	0,89	3,18	0,15 **	9,51	0,02	-5,14	-0,02	-1,23	21,30 **	20,46	0,06	15,91
CEPEC2002 X PH16	-1,63 **	-23,20	-0,75	3,66	-3,68	-3,18	0,21 *	23,48	-2,26	-18,43	-0,11 **	-4,79	-0,89 **	-65,24	0,03	5,30	-18,53 **	-6,16	0,32 **	35,40
CEPEC2002 X PS1030	-0,47 *	-13,37	-0,51	-3,75	-10,77 **	-36,79	0,46 **	32,30	-0,56	5,25	-0,03	-2,03	-0,18	-18,99	0,00	-3,23	-5,32	-14,26	0,03	10,12
CEPEC2002 X PS1319	-0,08	-1,71	0,39	18,56	2,06	12,88	-0,27 **	-20,86	4,01 **	8,90	-0,04	0,29	0,09	10,03	-0,08 *	-2,53	-16,08 **	-3,32	0,05	20,28
CEPEC2002 X SJ02	0,74 *	7,06	0,44	12,35	-0,70	7,53	0,01	-1,97	-0,71	-7,54	0,04	3,13	0,34 **	22,58	0,01	1,86	7,40	9,63	-0,12	3,70
CCN51 X PH16	0,01	1,18	1,07	15,94	-3,44	-8,43	-0,08	7,60	2,16	0,96	-0,14 **	-6,01	-0,06	-8,18	-0,06 *	-0,29	-32,35 **	-13,67	0,12	13,82
CCN51 X PS1030	-0,23	-4,35	-2,49 **	-11,98	-14,53 **	-43,75	0,14	15,73	5,85 **	50,06	0,04	2,81	-0,39 **	-22,74	-0,13 **	-10,25	-10,12	-13,28	-0,24 *	-7,96
CCN51 X PS1319	-0,09	4,88	0,89	20,92	-1,69	-4,65	0,34 **	41,47	-4,28 **	-26,56	-0,03	1,12	0,11	14,21	0,09 **	7,74	4,27	18,16	0,12	14,78
CCN51 X SJ02	0,23	8,30	0,99	15,83	6,54 *	17,07	-0,08	-2,55	-1,77	-12,98	-0,09 **	-3,87	-0,07	-1,21	0,04	3,51	-8,59	-2,29	0,06	6,94
PH16 X PS1030	-0,20	-6,29	-1,71 *	-9,19	6,29 *	10,11	-0,42 **	-24,20	2,69 *	14,78	-0,12 **	-6,04	-0,20 *	-16,75	-0,07 *	-3,93	-33,41 **	-20,99	-0,16	-3,54
PH16 X PS1319	1,04 **	14,61	1,76 *	24,55	7,62 *	30,38	0,24 *	32,99	-5,94 **	-42,70	0,32 **	20,77	0,48 **	30,50	0,16 **	14,80	102,14 **	112,18	-0,04	8,72
PH16 X SJ02	0,35	6,36	4,46 **	34,09	9,36	38,67	0,31 **	29,96	-6,24 **	-44,52	0,06 *	4,86	0,15	8,26	0,18 **	15,13	37,06 **	45,48	0,39 **	25,41
PS1030 X PS1319	-0,10	-0,59	3,25 **	24,42	1,03	-2,17	0,15	14,87	-3,50 *	-16,43	-0,07 *	-2,25	0,02	6,63	0,08 **	3,70	-5,56	0,60	0,41 **	24,95
PS1030 X SJ02	-1,09 **	-13,41	-2,05 *	-10,29	-0,73	-4,55	-0,26 **	-20,72	3,51 *	27,02	0,07 *	3,89	0,04	2,52	-0,09 **	-6,44	-0,70	-3,81	0,06	3,62
PS1319 X SJ02	1,45 **	24,55	1,58 *	23,70	-1,90	7,69	0,02	3,17	-0,07	-10,88	0,07 *	6,63	0,31 **	33,54	-0,01	3,01	7,67	23,73	-0,16	-0,97

DF: Diâmetro de frutos, CF: Comprimento de frutos; NS: número de sementes; BSC: biomassa seca de casca; BSP: biomassa seca de placenta; BSS: biomassa seca de sementes, BIS: biomassa seca individual de sementes; PTF: peso total do fruto; IF: índice de fruto. Significância declarada (citada por Memon et al, 2015): ‘*’ p<0,05 e ‘***’ p<0,01, quando o efeito da CGC é duas e três vezes maiores que desvio padrão (Sij), respectivamente.

De acordo com as análises dialélicas de variância, houve diferenças estatísticas (teste F, p<0,01) para o conteúdo de todos os minerais em semente mais polpa (BSS+P) de frutos de cacau das progênes analisadas (Tabela 12). Quando esta variação foi analisada sob a dinâmica das porcentagens das somas dos quadrados de CGC e CEC, observou se que a maior parte da variação foi respondida pela SQCEC que variou de 56,4 (P) a 92,3% (Ca). Os resultados também mostraram alta herdabilidade no sentido amplo, para os macros e micronutrientes minerais variando de 71,05% a 81,98% para Zn e N, respectivamente. Esses resultados deixam claro a pouca influência ambiental,

podendo ser explorados em programas de melhoramento da espécie, uma vez que são altas as influências genéticas.

Tabela 12 - Análise de variância dos efeitos dos tratamentos para os macro e micronutrientes minerais em sementes mais polpa (BSS+P) de frutos de *T. cacao* das progênies analisadas.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Cu	Mn
TRATAMENTO	27	308069 **	121161 **	149661 **	19174 **	9501 **	5011 **	1,66 **	3,71 **	2,49 **	0,64 **
C.G.C	6	491599 **	237838 **	126613 **	6616 **	9648 **	4366 **	0,99 **	3,97 **	2,59 **	0,62 **
C.E.C	21	255632 **	87824 **	156246 **	22762 **	9459 **	5195 **	1,86 **	3,64 **	2,47 **	0,65 **
RESÍDUO	108	27023	12274	10767	1647	938	569	0,20	0,42	0,20	0,06
SQCGC (%)		35,5	43,6	18,8	7,7	22,6	19,4	13,2	23,8	23,1	21,4
SQCEC (%)		64,5	56,4	81,2	92,3	77,4	80,6	86,8	76,2	76,9	78,6
h ² =		81,98	77,68	80,92	73,81	81,22	64,68	73,8	71,05	81,5	75,2

Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), ferro (Fe) zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn). FV- Fonte de variação, GL – Grau de liberdade, CGC – capacidade geral de combinação, CEC – capacidade específica de combinação, SQCGC – soma de quadrado de CGC, SQCEC – soma de quadrado de CEC e h₂ – herdabilidade média.

Os efeitos significativos na CGC mostraram que pelo menos um genitor distinguiu-se dos demais ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) para os minerais na BSS+P. O genitor BN 34 apresentou estimativas significativas positivas para o conteúdo de todos os elementos minerais analisados em BSS+P, exceto para o Fe (Tabela 13). Em contrapartida, CEPEC 2002 apresentou efeitos significativos negativos para o conteúdo dos elementos analisados, exceto para o Ca. Considerando-se que os maiores custos para a adubação sejam oriundos de NPK, e que se buscam plantas mais eficientes no uso dos nutrientes. Os genitores BN 34 (N= 137, P= 87 e K= 53) e o PH 16 (N= 49,5, P= 37 e K= 46) apresentaram as estimativas dos efeitos significativos positivos da CGC para o conteúdo de NPK na BSS+P. Em contraste, CEPEC 2002 (N= -187, P= -114 e K= -57) e PS 10.30 (N= -44, P= - 55 e K= -71) se destacam por apresentarem estimativas dos efeitos significativos negativos da CGC para o conteúdo de NPK na BSS+P, assim como também o CCN 51 que apresentou os mesmos efeitos para o conteúdo de N (-35) e P (-15) (Tabela 13).

Tabela 13 - Efeito da capacidade geral de combinação (CGC) dos genitores de *T. cacao* para macro e micronutrientes minerais.

Genitores	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Cu	Mn
BN 34	136,9 **	87,4 **	52,7 **	14,8	23,6 **	16,4 **	0,1	0,3 **	0,2 **	0,1 **
CEPEC 2002	-186,6 **	-114,0 **	-57,0 **	1,3	-23,9 **	-14,5 **	-0,2 **	-0,5 **	-0,2 *	-0,2 **
CCN 51	-35,4	-14,9	0,3	-9,9	0,4	-3,0	-0,1 *	0,0	0,2 **	0,1 *
PH 16	49,5 *	36,6 *	45,9 **	14,2 *	8,0	7,0 *	0,2 **	0,4 **	0,3 **	0,0
PS 1030	-44,2	-54,6 **	-71,0 **	-18,0 **	-3,1	-5,9	0,0	-0,3	-0,4 **	0,0
PS1319	0,1	78,6 **	55,1 **	3,1	3,4	2,4	0,0	0,1	0,0	0,1
SJ02	79,6 **	-19,1	-26,0	-5,4	-8,3	-2,5	0,1	0,1	-0,1 *	-0,1 **
DP(Gi)	22,69	15,29	14,32	5,60	4,23	3,29	0,06	0,09	0,06	0,03

Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), ferro (Fe) zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn). '*' p<0,05 e '**' p<0,01, quando o efeito da CGC é duas e três vezes maiores que desvio padrão (Di), respectivamente. Significância declarada (citada por Memon et al, 2015): '*' p<0,05 e '**' p<0,01, quando o efeito da CGC é duas e três vezes maiores que desvio padrão (Di), respectivamente.

Já para os efeitos da CEC, o cruzamento CEPEC 2002 x CCN 51 apresentou estimativas significativas negativas (p<0,05 e p<0,01) para o conteúdo de todos os elementos minerais analisados na BSS+P de frutos das progênes, exceto para o conteúdo de Fe que mesmo apresentando valores negativos não diferiu estatisticamente (Tabela 14). O efeito observado para CEPEC 2002 x CCN 51 foi combinado com o efeito negativo da CGC do pai CEPEC 2002 para o conteúdo de todos os nutrientes minerais analisados, exceto para Ca. Além disso, combinou com o efeito negativo do genitor CCN 51 para o conteúdo de Fe. Em contrapartida, o cruzamento PH 16 x PS 13.19 apresentou estimativas significativas positivas (p<0,05 e p<0,01) para o conteúdo de todos os elementos minerais analisados na BSS+P. O efeito observado em PH 16 x PS 13.19 foi combinado com o efeito positivo de CGC do genitor PH 16 para o conteúdo de todos os elementos minerais analisados exceto para o conteúdo de Mg (Tabela 14).

Tabela 14 - Estimativas das capacidades específicas de combinação (sij) relativas aos nutrientes minerais de sementes mais polpa dos frutos das progênes de *T. cacao*.

Genitores	N		P		K		Ca		Mg		Na		Fe		Zn		Cu		Mn	
	CEC	Het. (%)	CEC	Het. (%)	CEC	Het. (%)	CEC	Het. (%)	CEC	Het. (%)	CEC	Het. (%)	CEC	Het. (%)	CEC	Het. (%)	CEC	Het. (%)	CEC	Het. (%)
BN34 X CEPEC2002	-116,42 *	-12,99	-37,91	-21,73	16,74	-3,45	12,61	-11,61	-22,46	-20,19	12,93	10,73	0,22	13,46	-0,32	-11,02	0,16	-13,20	-0,11	-15,09
BN34 X CCN51	302,31 **	29,60	72,38	3,45	56,54	4,35	-39,90 *	-30,06	42,33 **	18,69	10,96	7,54	0,37 *	21,25	0,81 **	8,28	0,22	-3,14	0,42 **	40,71
BN34 X PH16	30,16	10,71	50,93	16,32	-9,43	7,20	-57,50 **	-39,60	1,73	9,10	17,41	33,04	-0,18	2,77	-0,36	-0,48	-0,25	-14,87	-0,18	-18,82
BN34 X PS1030	-61,51	-2,40	-81,43	-17,58	-21,19	-9,29	-42,22 *	-40,50	-38,58 **	-17,19	-25,78 *	-6,62	-0,24	3,41	-0,43	-12,41	-0,48 *	-39,94	-0,16	-29,20
BN34 X PS1319	-80,79	7,80	-106,79 *	-15,32	-97,76 *	-8,73	-67,90 **	-38,73	-28,39 *	-11,55	-3,70	24,61	-0,36	0,35	-0,42	-8,57	-1,21 **	-51,19	-0,16	-6,82
BN34 X SJ02	-2,10	-0,90	-39,19	-11,11	-98,16 *	-12,40	51,49 **	-2,55	-12,56	-7,76	-17,59	-16,36	-0,01	9,76	-0,21	-3,42	-0,24	-30,93	-0,09	-21,99
CEPEC2002 X CCN51	-139,09 *	-17,79	-137,33 **	-43,71	-151,93 **	-22,69	-82,49 **	-46,76	-39,49 **	-19,44	-32,80 **	-33,83	-0,29	-1,76	-0,60 *	-19,71	-0,38 *	-14,57	-0,37 **	-29,32
CEPEC2002 X PH16	-63,24	-2,67	-69,58	-9,90	39,89	23,53	40,61 *	23,84	8,21	19,95	-13,74	11,26	-0,23	9,39	0,63 *	46,79	-0,10	2,08	0,38 **	57,85
CEPEC2002 X PS1030	44,49	2,40	52,96	2,14	-44,47	-9,61	55,89 **	33,01	29,80 *	21,70	16,17	52,57	0,36 *	51,09	0,81 **	44,03	0,18	-5,19	0,32 **	16,67
CEPEC2002 X PS1319	-74,49	4,00	-163,91 **	-35,69	-121,73 *	-9,00	23,41	37,50	-22,71	-8,28	-5,75	36,75	-0,63 **	-6,69	-0,71	-8,54	-0,36	-10,24	-0,15	4,02
CEPEC2002 X SJ02	191,40 **	11,85	126,59 *	16,13	247,77 **	52,60	-58,70 **	-44,71	13,42	8,91	26,66 *	26,02	1,04 **	79,49	0,84 **	45,30	0,08	-13,03	0,03	-7,47
CCN51 X PH16	-162,51	-6,32	26,11	19,74	-5,11	17,75	1,60	17,70	-7,30	24,13	7,09	31,04	-0,21	11,68	-0,60 *	-6,36	0,14	21,26	-0,21 **	-5,85
CCN51 X PS1030	-130,98	-9,67	-87,15	-18,90	-106,17	-16,12	-14,62	1,88	-3,91	14,98	-8,10	14,77	0,85 **	78,48	-0,63 *	-18,27	-0,31	-15,93	-0,43 **	-41,52
CCN51 X PS1319	574,74	83,52	146,98 **	28,97	499,17 **	88,67	209,40 **	244,40	87,18 **	67,82	55,68 **	105,64	0,56 **	68,29	1,16 **	34,08	1,86 **	102,28	1,00 **	144,44
CCN51 X SJ02	-361,17	-32,27	-77,92	-17,21	-232,63 **	-28,19	5,99	2,95	-21,39	1,65	-32,51 **	-31,75	-0,72 **	-15,60	-0,96 **	-23,03	-1,00 **	-44,41	0,09	10,81
PH16 X PS1030	92,97	18,72	-32,61	15,42	58,86	26,70	43,18 *	27,56	36,39 *	52,58	30,46 **	102,24	0,18	44,23	0,11	28,38	-0,08	-0,51	-0,23 *	-32,54
PH16 X PS1319	416,49 **	69,99	364,53 **	91,00	208,69 **	61,09	38,60 *	50,37	84,08 **	81,21	53,74 **	152,81	1,19 **	105,62	1,85 **	82,68	1,22 **	81,38	0,45 **	69,20
PH16 X SJ02	-0,92	4,25	-2,47	18,50	106,69 *	45,88	-50,31 **	-35,50	6,31	30,48	-6,45	13,77	0,42 *	48,52	0,66 *	46,35	0,09	2,13	-0,12	-21,02
PS1030 X PS1319	-97,88	7,23	44,77	18,13	-149,37 **	-14,26	-49,32 **	-17,42	-35,34 *	-2,14	34,55 **	145,89	0,38 *	73,54	-0,32	5,97	-0,23	-8,36	-0,21 *	-21,85
PS1030 X SJ02	217,11 **	18,08	155,97 **	39,00	234,93 **	50,65	-5,43	-18,13	71,50 **	58,22	33,96 **	60,32	-0,11	29,28	1,24 **	56,98	0,18	-12,65	-0,03	-26,13
PS1319 X SJ02	-155,17 *	-3,53	-146,39 **	-19,33	-61,33	9,61	-29,21	-12,77	-17,91	5,08	-13,16	17,65	0,51 *	69,48	-0,33	8,85	-0,29	-14,73	-0,34 **	-32,44

Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), ferro (Fe) zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn). Het. (%) = porcentagem de Heterose. Significância declarada (citada por Memon et al, 2015): ‘*’ p<0,05 e ‘***’ p<0,01, quando o efeito da CGC é duas e três vezes maiores que desvio padrão (Sii), respectivamente.

Não foi diferente para o conteúdo de Ni, Pb e Cd na BSS+P as análises de variância entre os tratamentos mostram as diferenças significativas por meio dos quadrados médios obtido pelo teste F (p<0,01) para o conteúdo de Ni, Pb e Cd BSS+P, que foram decompostos em capacidades gerais (CGC) e específicas (CEC), para o entendimento da dinâmica dessa variação genética (Tabela 15). Entre os tratamentos, as maiores porcentagens das somas dos quadrados foram respondidas por CEC, com 71,1% (Ni), 76,9% (Pb) e 76,0% (Cd). Os valores médios de herdabilidade no sentido amplo, para o conteúdo dos metais na BSS+P, foram de 71, 87 e 90% para Cd, Pb e Ni, respectivamente. Esses dados trazem a possibilidade de utilização destes atributos em programas de melhoramento da espécie, com possibilidade de ganho genético, pois há pouca influência ambiental, podendo ser utilizada na fitorremediação desses metais ou redução desses metais nas sementes da espécie.

Tabela 15 - Análise de variância dos efeitos dos tratamentos sobre as absorções de níquel (Ni), chumbo (Pb) e cádmio (Cd).

FV	GL	Ni	Pb	Cd
TRATAMENTO	27	0,241 **	0,205 **	0,009 **
C.G.C	6	0,313 **	0,213 **	0,010 **
C.E.C	21	0,220 **	0,203 **	0,009 **
RESÍDUO	108	0,013	0,017	0,001
SQCGC (%)		28,9	23,1	24,0
SQCEC (%)		71,1	76,9	76,0
h ² =		90,27	86,64	71,10

Ni = níquel, Pb = chumbo, Cd = cádmio. FV- Fonte de variação, GL – Grau de liberdade, CGC – capacidade geral de combinação, CEC – capacidade específica de combinação, SQCGC e SQCEC – somas dos quadrados das capacidades geral e específica de combinação respectivamente, h² = herdabilidade média no sentido amplo.

As análises de CGC mostraram que o genitor CEPEC 2002 apresentou efeitos significativos e negativos de CGC para o conteúdo de Ni, Pb e Cd na BSS+P (p<0,01). Por outro lado, o genitor PS 10.30 apresentou efeitos significativos positivos (p<0.05 e p<0,01). O CCN 51 também apresentou efeito negativo para o conteúdo de Cd na BSS+P, sendo três vezes superior ao desvio padrão (Gi) (Tabela 16).

Tabela 16 - Efeito da capacidade geral de combinação (CGC) dos genitores de *T. cacao* para Ni, Pb e Cd.

Genitores	Ni	Pb	Cd
BN 34	-0,021	0,041 *	0,011 *
CEPEC 2002	-0,179 **	-0,145 **	-0,025 **
CCN 51	0,034 *	0,021	-0,014 **
PH 16	0,065 **	0,052 *	0,005
PS 1030	0,046 *	0,044 *	0,017 **
PS1319	0,034 *	0,008	0,004
SJ02	0,022	-0,021	0,002
DP(Gi)	0,016	0,018	0,004

Ni = níquel, Pb = chumbo, Cd = cádmio. ‘*’ p<0,05 e ‘***’ p<0,01, quando o efeito da CGC é duas e três vezes maiores que desvio padrão (Gi), respectivamente. Significância declarada (citada por Memon et al, 2015): ‘*’ p<0,05 e ‘***’ p<0,01, quando o efeito da CGC é duas e três vezes maiores que desvio padrão (Gi), respectivamente.

Quando foram analisadas as CEC, as progênes BN 34 x SJ 02, CCN 51 X PS 10.30 e PH 16 X PS 10.30 apresentaram efeitos negativos significativos para as estimativas de CEC do conteúdo de Ni, Pb e Cd na BSS+P de frutos das progênes, sendo três vezes maiores que o desvio padrão (Tabela 17).

Tabela 17 - Estimativas das capacidades específicas de combinação (sij) relativas aos metais pesados.

Progênes	Ni		Pb		Cd	
	CEC	Heterose (%)	CEC	Heterose (%)	CEC	Heterose (%)
BN34 X BN34	0,118 **	.	0,041	.	0,014	.
BN34 X CEPEC2002	-0,045	-34,558	0,116 *	14,643	-0,031 *	-33,621
BN34 X CCN51	0,227 **	18,644	0,157 **	11,198	0,059 **	37,984
BN34 X PH16	-0,080	-11,922	-0,095	-8,655	-0,002	12,863
BN34 X PS1030	-0,067	-38,267	-0,064	-26,977	-0,012	-23,546
BN34 X PS1319	-0,112 *	-9,623	-0,031	15,275	0,002	6,513
BN34 X SJ02	-0,159 **	-37,162	-0,166 **	-32,731	-0,044 **	-30,000
CEPEC2002 X CEPEC2002	0,093 *	.	0,027	.	0,002	.
CEPEC2002 X CCN51	-0,162 **	-53,396	-0,096	-28,007	-0,010	-16,092
CEPEC2002 X PH16	-0,072	-12,133	-0,162 **	-24,012	-0,002	27,389
CEPEC2002 X PS1030	-0,107 *	-53,226	0,080	-12,832	0,012	-9,025
CEPEC2002 X PS1319	0,063	45,691	-0,024	27,100	0,004	18,644
CEPEC2002 X SJ02	0,136 *	20,759	0,033	-5,614	0,023	38,636
CCN51 X CCN51	0,094 *	.	0,101 *	.	0,006	.
CCN51 X PH16	0,018	7,107	-0,028	-3,156	0,022	47,541
CCN51 X PS1030	-0,185 **	-49,010	-0,295 **	-55,605	-0,041 **	-44,554
CCN51 X PS1319	0,169 **	47,409	0,249 **	58,603	-0,014	-3,448
CCN51 X SJ02	-0,254 **	-47,717	-0,189 **	-39,506	-0,026 *	-16,832
PH16 X PH16	-0,143 **	.	-0,113 *	.	-0,050 **	.
PH16 X PS1030	-0,265 **	-49,632	-0,214 **	-38,061	-0,055 **	-37,762
PH16 X PS1319	0,230 **	98,157	0,394 **	118,328	0,020	62,366
PH16 X SJ02	0,455 **	95,620	0,330 **	51,608	0,118 **	167,027
PS1030 X PS1030	0,353 **	.	0,312 **	.	0,047 **	.
PS1030 X PS1319	0,126 *	11,094	0,018	-0,071	0,034 *	15,686
PS1030 X SJ02	-0,209 **	-49,903	-0,148 *	-41,190	-0,033 *	-29,180
PS1319 X PS1319	-0,249 **	.	-0,275 **	.	-0,027 *	.
PS1319 X SJ02	0,022	31,034	-0,057	5,960	0,008	32,683
SJ02 X SJ02	0,004	.	0,098 *	.	-0,024 *	.

Ni = níquel, Pb = chumbo, Cd = cádmio. Significância declarada (citada por Memon et al, 2015): '*' p<0,05 e '**' p<0,01, quando o efeito da CGC é duas e três vezes maiores que desvio padrão (Gi), respectivamente.

A progênie CCN 51 x SJ 02 apresentou efeito de CEC três, três e duas vezes maiores do que o desvio padrão para o conteúdo Ni e Cd e Pb respectivamente na BSS+P. Também a progênie PS 10.30 x SJ 02 apresentou efeito da CEC três vezes maior do que o desvio padrão (Gi) para Ni e duas vezes maiores para Cd e Pb (Tabela 17). O efeito observado para BN 34 x SJ 02 foi combinado com o efeito negativo de CGC do genitor BN 34 para os metais Pb e Cd. Assim como o efeito observado para CCN 51 x PS 10.30 e para CCN 51 x SJ 02 foi combinado com o efeito negativo de CGC do genitor CCN 51 para o conteúdo de Cd.

5. DISCUSSÃO

Os programas de melhoramento do cacau vêm estudando diversas temáticas como resistência a doenças, respostas aos estresses abióticos, qualidade de sementes e seus componentes de rendimento (CERVANTES et al., 2006; LOUREIRO, et al., 2012; BARRETO et al., 2015; SANTOS, 2016). A busca de uma agricultura com menor consumo energético e ecologicamente sustentável tem estimulado pesquisas para a identificação e seleção de material genético e entendimento dos mecanismos responsáveis pela maior eficiência nutricional de plantas. Neste trabalho, utilizou-se genótipos de cacau em cruzamentos dialélicos completos a fim de estimar a capacidade combinatória, e obter informações genéticas identificando genitores e progênes com capacidade diferenciada em relação ao acúmulo de nutrientes minerais, Cd, Ni e Pb nas sementes com polpa, partição de biomassa seca em frutos e produção potencial de frutos. Neste estudo os resultados obtidos para todos os atributos exceto para DF, reafirmaram a variabilidade genética existente entre os genitores utilizados, que são oriundos dos grupos *Criollo*, *Forasteiro* e *Trinitário*. Os genitores apresentam diversas origens genéticas e geográficas o que poderá contribuir na seleção de progênes que apresentem melhores características genéticas e fenotípicas quanto ao acúmulo de nutrientes e rendimento (TUCCI et al., 1996; MELO; CHITARRA, 1999; ÁLVAREZ et al., 2002; ALMEIDA et al., 2009, ALEXANDRE et al., 2015).

Os coeficientes de variação das variáveis BSC, BSS, IF apresentaram uma variabilidade semelhante ao de outros estudos (PINTO, 2013; ALEXANDRE et al., 2015; SILVA, 2015; SANTOS, 2018). Para as demais variáveis também apresentaram um baixo CV sendo inferior a 29%. As progênies BN 34 x CCN 51, BN 34 x FA 13, PH 16 x PS 13.19, PH 16 x SJ 02 e CCN 51 x PS 13.19 apresentaram os maiores valores em relação à média geral para número de sementes (NS), biomassa seca individual de sementes (BIS) e biomassa seca de semente mais polpa (BSS+P). Estas progênies também apresentaram os menores valores para o índice de frutos (IF). Além disso, se destacaram pelo menor número de frutos kg^{-1} de biomassa seca de semente de cacau, que após os processos de fermentação e secagem é o principal produto comercializado para fabricação de vários tipos de chocolates (SILVA NETO, 2009).

As progênies PH 16 x PH 16 e PH 16 x PS 13.19, apresentaram maior comprimento de fruto, em contrapartida as progênies CEPEC 2002 x CEPEC 2002 e PH 15 x PH 15, tiveram os menores comprimentos (Tabela 5). Isto corrobora os resultados encontrado por Alexandre et al. (2015) em estudo com genitores CCN 51 e PH 16 em que os frutos foram mais oblongos, ao contrário do CEPEC 2002 e PH 15 que foram menos oblongos.

Segundo Wood e Lass (1955), número de sementes por fruto (NS) e peso de semente individual fazem parte dos componentes de rendimento. As progênies PH 16 x PS 10.30 (NS= 48,1) e CCN 51 x PS 13.19 (NS= 48,4) se destacaram com os maiores valores de NS. Resultados semelhantes foram encontrados por Alexandre et al. (2015), ao avaliar NS do clone CCN 51 (NS= 45,1). Por outro lado, estes autores encontraram para o clone PH 16 um valor de NS igual a 36,9, ao passo que Lopes et al. (2011) e Pinto (2013) obtiveram um valor de NS igual 38,0 e 39,87. A origem genética tem sido relacionada com as variações na forma da amêndoa, como o comprimento, largura, espessura e peso em cacau (CLEMENT et al., 2003).

A progênie PH 16 x PS 13.19 apresentou o maior valor médio de BSC (121,8 g) com 84% acima da média geral, valores altos quando se compara com estudos de Silva (2009) e Pinto (2013) que encontraram valores médios para o PH 16 de 47,8g e 59,8 g, respectivamente inferiores. Também em nossos estudos a progênie resultante da

autofecundação do PH 16 obteve 76,97 g. Já no segundo grupo formado pelas progênes que também produziram mais BSC destacou-se C. 2004 x CCN 51 (80,14 g), CEPEC 2004 x PH 15 (81,08 g), BN 34 x BN 34 (81,53 g), PS 13.19 x SJ 02 (84,29 g), BN 34 x CCN 51 (88,33 g) teve uma média de 71,48 a 88,33 g superior a encontrada por Silva (2015) para o clone CCN 51. Por fim, 14 progênes fizeram parte do grupo que produziram menos BSC com uma média de 45,33 a 57,87 g. As progênes PS 13.19 x PS 13.19 (57,86 g) e CEPEC 2002 x CEPEC 2002 (47,41 g) estão entre as progênes que produziram menos BSC. Estes resultados corroboram os de Santos (2018) em que os clones PS 13.19 e CEPEC 2002 apresentaram as menores média de BSC (Tabela 5). A biomassa seca de placenta (BSP) variou de 0,97 a 5,52 g entre as progênes do estudo representando de 1% a 4% da BST entre as progênes (Tabela 5).

Em relação à biomassa seca de sementes (BSS), as progênes BN 34 x CCN 51 (63,9 g), BN 34 x FA 13 (64,7 g), CCN 51 x PS 13.19 (68,5 g), PH 16 x SJ 02 (69,5 g) e PH 16 x PS 13.19 (69,9 g) apresentaram valores acima da média geral (50,34 g) sendo 27% a 39% superiores. Em contrapartida, as progênes CEPEC 2002 x CEPEC 2002 (31,3 g), CEPEC 2004 x PS 1030 (34,1 g), BN 34 x PS 1319 (38,6 g), CEPEC 2002 x PS 1030 (40,6 g), CEPEC 2004 x PH 15 (41,4 g) e CEPEC 2004 x SJ 02 (41,4 g) tiveram os menores pesos em relação à média geral, sendo 17% a 37% inferiores (Tabela 5). Os valores das progênes CEPEC 2002 x CEPEC 2002 (31,30 g) e PH 16 x PH 16 (44,7 g) corroboraram com o estudo de Alexandre et al. (2015), onde os clones CEPEC 2002 e PH 16 também apresentaram os mesmos valores médios de 29,9 g e 44,3 g, respectivamente. O mesmo foi observado por Pinto (2013) para o PH 16 com uma média de 47,07 g. Já as progênes CCN 51 x CCN 51 (49,7 g), PH 15 x PH 15 (47,9 g) apresentaram resultados diferentes dos clones CCN 51 e PH 15, com valores de 64,23 g e 29,31 g, respectivamente. A progênie PH 16 x PS 13.19 além de apresentar sementes mais pesadas também apresentou frutos mais longos e mais pesados (Tabela 6). Ao contrário das progênes CEPEC 2002 x CEPEC 2002 e CEPEC2002 x PS 10.30, que apresentaram os frutos mais curtos e menos pesados (Tabela 6). O mesmo fato foi observado por Alexandre et al. (2015) para os clones CEPEC 2002, PH 15 e PS 13.19, que apresentaram frutos menores e mais leves, divergindo apenas para BSS para o clone

PH 15 (29,31 g). No presente estudo, a progênie PH 15 x PH 15 (47,9 g) apresentou os frutos menores e mais leves (Tabela 6). No estudo destaca-se também a progênie CCN 51 x CCN 51 que apresentou médias superiores as progênies autofecundadas PH 15, PS 13.19, CEPEC 2002, o que corrobora com estudos de Alexandre et al. (2015) e Santos (2018) para os mesmos clones.

Elain Apshara et al. (2009) e Oyedokun et al. (2011) realizaram um estudo com 44 e 14 genótipos, respectivamente, e verificaram variação no peso de sementes superior a 1 g. Por outro lado, Alexandre et al. (2015) obtiveram valores de peso médio de sementes de 0,94 g para o clone CEPEC 2002, resultados similares aos encontrados no presente estudo. Duas progênies apresentaram médias de PIS abaixo de 1,0 g PH 16 x PS 10.30 (0,91 g) e CEPEC 2002 x CEPEC 2002 (0,94 g), entre as progênies que apresentaram as maiores médias destacam-se PH 13.19 x SJ 02 (1,60 g), BN 34 x CCN 51 (1,56 g), PH 16 x SJ 02 (1,55 g), PH 15 x SJ 02 (1,51 g), BN 34 x BN 34 (1,48 g), PS 10.30 x PS 13.19 (1,47 g), PS 10.30 x PS 10.30 (1,46 g), BN 34 x FA 13 (1,45 g). Segundo Monteiro et al. (2009), genótipos de cacau com peso médio de sementes superior a 1 g são considerados superiores.

Com base nos valores médios de biomassa seca total do fruto (BST), a progênie PH 16 x PS 13.19 apresentou o maior valor médio para esta variável (197,12 g). Ademais, as progênies BN 34 x CCN 51, PH 16 x SJ 02 e CCN 51 x PS 13.19 também se destacaram com valores de 36%, 26% e 22%, respectivamente, acima da média geral (119,54 g). Por outro lado, as progênies com os menores valores de BST foram CEPEC 2002 x CEPEC 2002, CEPEC 2004 x PS 10.30, CEPEC 2002 x PS 10.30 e CEPEC 2002 x PS 13.19, sendo 32%, 23%, 23% e 19% respectivamente inferior à média geral da BST. Estas progênies tiveram em comum um dos pais (CEPEC 2002) para a maioria das progênies (Tabela 6). Os resultados inferiores à média geral das progênies CEPEC 2002 x CEPEC 2002, PH 15 x PH 15 e PS 13.19 x PS 13.19 para BST, também foram encontrados por Alexandre et al. (2015) ao avaliarem a BST dos frutos dos clones CEPEC 2002, PH 15 e PS 13.19, que apresentaram as menores médias entre os sete clones avaliados. Em relação ao índice de fruto (IF), que corresponde à quantidade de frutos necessária para a produção de um 1,0 kg de biomassa seca de semente, sendo que

quanto maior for o peso da amêndoa por fruto, menor será a quantidade de frutos necessária para se alcançar um quilograma ou uma tonelada de sementes secas. Foram formados dois grupos de médias, onde 49% das progênies apresentaram valores acima da média geral. As progênies CEPEC 2004 x PS 10.30 e CEPEC 2002 x CEPEC 2002 apresentaram os maiores valores médios. Em seu estudo Santos (2018) teve resultados semelhante para o clone CEPEC 2002. O restante das progênies, 51% apresentaram as menores médias de IF (14,39 a 17,36 frutos por kg ou de 14390 a 17360 frutos por tonelada). As progênies PS 10.30 x PS 13.19, PS 10.30 x PS 10.30, BN 34 x PH 15, BN 34 x CCN 51, BN 34 x FA 13, PH 16 x SJ 02, CCN 51 x PS 13.19 e PH 16 x PS 13.19 tiveram valores que variaram de 17% (PS 10.30 x PS 13.19) a 31% (PH 16 x PS 13.19), menores em relação à média geral (Tabela 6). Estes resultados são de interesse pois o IF é uma variável que se refere à operacionalidade da colheita, envolvendo a quebra e o descaroçamento do fruto.

Para a relação comprimento x diâmetro de fruto (CF/DF), 29 progênies apresentaram os maiores valores médios (2,21 a 2,57), ou seja, os maiores frutos, destacando as progênies resultantes dos cruzamentos BN 34 x FA 13, CEPEC 2004 x PS 13.19, CCN 51 x PH 16, PH 16 x SJ 02 e CEPEC 2004 x PH 16, que foram superiores à média geral (Tabela 6). Esses resultados são semelhantes ao encontrado por Alexandre et al. (2015) referente ao clone PH 16 (2,46) que apresentou as maiores médias para esta relação, assim como em nossos estudos a progênie PH 16 x PH 16 apresentou 2,30. Por outro lado, 20 progênies apresentaram os menores valores de CF/DF (1,72 a 2,16), dentre as quais se destacam as progênies PH 15 x PH 15, CEPEC 2002 x CEPEC 2002, CEPEC 2002 x PH 15, PH 15 x PS 10.30 e PS 13.19 x PS 13.19. Esses resultados corroboram com o estudo de Alexandre et al. (2015) para os clones PH 15 e PS 13.19. Estes clones se agruparam no grupo de menores valores de média, assim como as progênies resultante da autofecundação de PH 15 e PS 13.19, respectivamente.

Analisando mais detalhadamente as razões de biomassa seca para os componentes do fruto, uma variável de importância para o produtor, pois traz a informação de maneira integrada da proporção das partes. As progênies com as maiores %BSS apresentaram médias (56% a 64%) superiores às médias encontradas por

Alexandre et al. (2015), Silva (2015) e Santos (2018) em seus estudos, para CCN 51 e PS 13.19. Verificou-se que a progênie BN 34 x PH 15 (%BSS= 56% e %BSC= 42%), apresentou a maior %BSS e a progênie CEPEC 2004 x PH 15 (%BSS= 33% e %BSC= 65%) o menor valor de %BSS (Figura 1). A ordem decrescente dos teores dos nutrientes na BSS+P foram N>K>P>Mg>Ca>Na>Zn>Fe>Mn. Considerando a importância de se buscar plantas mais eficientes no uso dos nutrientes, as progênies BN 34 x FA 13, PH 16 x PS 13.19 e CCN 51 x PS 13.19 apresentaram os maiores valores do conteúdo dos nutrientes minerais analisados na BSS+P. Por outro lado, as progênies CEPEC 2002 x CCN 51, CEPEC 2002 x PH 15, CCN 51 x FA 13, FA 13 x PH 15, FA 13 x PH 16, PH 15 x PH 15, PH 15 x PH 16 e PS 13.19 x SJ 02 apresentaram os menores valores médios de conteúdo para os mesmos nutrientes (Tabelas 7 e 8). Uma vez que um dos maiores custos da produção de cacau está associado à adubação, principalmente com NPK, verificou-se que as progênies PH 15 x SJ 02, CEPEC 2002 x PH 15, BN 34 x PS 10.30, FA 13 x PH 16, PS 10.30 x PS 13.19 e PS 10.30 x PS 10.30 foram as que apresentaram os menores valores médios para o conteúdo NPK na BSS+P. Além disso, estas progênies apresentaram uma boa produção de BSS por fruto (Tabela 5), destacando-se as progênies PH 15 x SJ 02 (53,3 g) e PS 10.30 x PS 13.19 (58,28 g), que também apresentaram valores medianos de BST (Tabela 6), variando de 112 a 130 g (média geral= 119,5). Isto é, plantas que produziram muita BSS e apresentaram os menores conteúdos de NPK na BSS+P.

Os valores do conteúdo de N na BSS+P variou de 683 a 1439 mg fruto⁻¹. O grupo com as maiores médias (1228 a 1439 mg kg⁻¹) foi composto por sete progênies, onde PH 16 x PS 13.19, BN 34 x FA 13, PH 15 x PS 10.30 e BN 34 x CCN 51 apresentaram valores superiores à média geral de aproximadamente 43%, 31%, 30% e 30%, respectivamente. Por outro lado, o grupo com os menores conteúdos de N foi formado pelas progênies CEPEC 2002 x CCN 51, FA 13 x PH 16, PS 13.19 x SJ 02 e PH 15 x PH 16, cujos valores foram 41%, 32%, 22% e 21% inferiores a média geral, respectivamente (Tabela 7). No presente estudo, os diferentes cruzamentos apresentaram variação quanto ao conteúdo de macro e micronutrientes minerais. Com valores médios acima da média geral para cerca de 45% das progênies dos cruzamentos.

A progênie PH 16 x PS 13.19, que apresentou os maiores valores para N, obteve resposta semelhantes quanto aos valores médios de N, e divergente para P e K onde foi superior as observadas no clone de PH 16 por Barreto et al. (2012). Já para P variou de 299 (FA 13 x PH 16) a 493 mg fruto⁻¹ (BN 34 x PS 10.30) de BSS+P. Pinto (2013) encontrou valores médios inferiores para o clone PH 16. E para K a amplitude de variação foi de 428 (FA 13 x PH 16) a 561 mg fruto⁻¹ de BSS+P (PS 10.30 x PS 13.19) de BSS+P (Tabela 7). Pinto (2013) em seu estudo obteve valores médios maiores para o clone PH 16 (590 mg fruto⁻¹).

Os metais pesados são globalmente discutidos no âmbito da segurança alimentar e qualidade de produtos alimentícios, o chocolate não foge dessa realidade. Vários estudos têm sido realizados visando avaliar as contaminações da matéria prima e produtos derivados do cacau por elementos metálicos e os possíveis mecanismos para sua diminuição. Os elementos metálicos causam sérios problemas à saúde humana, como várias doenças crônicas e câncer (ALLOWAY, 1990; ROCHA, 2009; JALBANI, 2009; FAO/OMS, 2010; EFSA, 2012 a, b; KRUSZEWSKI et al., 2018). O Cd, Ni e Pb fazem parte desse grupo de metais pesados que ganhou a atenção dos órgãos de fiscalização e normatização como a FAO/OMS, Comissão Européia, EFSA (European Food Safety Authority), dentre outros. As amêndoas de cacau produzidas em vários países, principalmente os países da América Latina, apresentam contaminação por metais pesados (AIKPOKPODION et al., 2013; AREVALO et al., 2017; GRAMLICH et al., 2017). Pesquisas recentes mostraram diferenças genotípicas na absorção e acúmulo de Cd em folhas e sementes de cacau (ARÉVALO et al., 2017; LEWIS et al., 2018). Esta diversidade genética, em relação ao acúmulo de Cd em sementes de cacau, permitirá que se faça a seleção de genótipos que acumulam baixas concentrações deste elemento metálico nas sementes.

Neste trabalho foram analisados os conteúdos de Ni, Cd e Pb em cruzamentos dialélicos a fim de estimar a capacidade diferenciada de genitores e progênies em relação ao acúmulo dos mesmos na BSS+P. De modo geral, verificou-se que as progênies CEPEC2002 x CCN 51 (0,27 mg Ni fruto⁻¹, 0,61 mg Cd fruto⁻¹ e 0,08 mg Pb fruto⁻¹), CEPEC 2002 x PH 16 (0,33 mg Ni fruto⁻¹, 0,36 mg Cd fruto⁻¹ e 0,1 mg Pb fruto⁻¹) e CEPEC

2004 x SJ 02 (0,3 mg Ni fruto⁻¹, 0,59 mg Cd fruto⁻¹, 0,31 mg Pb fruto⁻¹) apresentaram os menores valores de conteúdo de Ni, Pb e Cd em BSS+P. Por outro lado, a progênie CCN 51 x PS 13.19 (0,80 mg Ni fruto⁻¹, 0,96 mg Cd fruto⁻¹ e 0,16 mg Pb fruto⁻¹) apresentou os maiores valores médios do conteúdo de Ni, Pb e Cd na BSS+P por fruto, seguido das progênies PH 16 x PS 13.19 (0,76 mg Ni fruto⁻¹, 0,96 mg Cd fruto⁻¹ e 0,13 mg Pb fruto⁻¹) e BN 34 x CCN 51 (0,70 mg Ni fruto⁻¹, 0,88 mg Cd fruto⁻¹ e 0,15 mg Pb fruto⁻¹), que também apresentaram altos valores médios para o conteúdo de Ni, Pb e Cd em BSS+P por fruto (Figuras 2A, B e C). Analisando o conteúdo do Ni em BSS+P no estudo variaram de 0,268 a 0,808 mg fruto⁻¹. Arévalo Gardine et al. (2017) encontraram concentrações de níquel de 3,5 µg g⁻¹ MS a 9,25 µg g⁻¹ MS em cinco regiões no Peru. Assim como Silva (2015) em seu estudo encontrou valores de 2,68 a 4,13 µg g⁻¹ MS. O clone CEPEC 2002 apresentou as menores médias do estudo com resultado semelhante encontrado pela progênie CEPEC 2002 x CEPEC 2002. Bertoldi et al. (2016) em seu estudo nas cinco regiões mundiais (Leste e Oeste da África, Ásia, América do sul e Central), produtoras de cacau encontraram valores do conteúdo de Ni (mg/kg MS) variando de 4,91 (Ásia) a 12,1 mg/kg MS (América central). Na América central foi a região que apresentou o maior conteúdo de Ni em sementes de cacau, as demais regiões não diferiram estatisticamente.

Para o conteúdo de Pb, foi encontrado no presente estudo uma variação de 0,357 a 0,962 g fruto⁻¹. Bertoldi et al. (2016) nas mesmas cinco regiões produtoras de cacau mencionadas encontraram valores do conteúdo de Pb (µg/kg MS) variando de 52,8 (América Central) a 108 µg/kg MS (Oeste Africano), não diferindo estatisticamente. Concentrações de Pb encontradas no Peru por Arévalo-Gardine et al. (2017) variaram de 1,00 µg g⁻¹ MS a 3,78 µg g⁻¹ MS nas amostras coletadas em cinco regiões produtoras do país.

A União Europeia (UE) restringiu a concentração de Cd nos produtos à base de cacau, que varia de 0,1 mg kg⁻¹ para o chocolate ao leite com menos de 30% de sólidos secos totais de cacau a 0,8 mg kg⁻¹ para chocolate com 50% de sólidos secos totais de cacau. Essas restrições entraram em vigor desde o dia 1º de janeiro de 2019 e dificultará principalmente a exportação da matéria prima (UE, 2014). Bertoldi et al. (2016), em seu estudo nas cinco regiões mundiais (Leste e Oeste da África, Ásia, América do sul e

Central), produtoras de cacau encontraram valores do conteúdo de Cd ($\mu\text{g kg}^{-1}$ MS) variando de 92,6 (Oeste Africano) a 1388 $\mu\text{g kg}^{-1}$ MS (Oeste Africano). Arévalo-Gardini et al. (2017) encontraram concentração de 0,8 mg Cd kg^{-1} MS em 57% das amostras de amêndoas de cacau do Peru. Gramlich et al. (2018), avaliando o conteúdo de Cd em sementes de cacau provenientes de seis substratos geográficos em Honduras, relataram valores médios entre 0,1 e 1,8 mg Cd kg^{-1} MS. Lewis et al. (2018), em estudos no *International Cocoa Genebank*, em Trinidad Tobago, avaliaram 100 acessos de vários grupos genéticos e populações híbridas de cacau, encontraram concentrações de Cd na semente que variou entre 0,17 e 2,31 mg kg^{-1} MS. Além disso, estes autores também demonstraram a existência de diferenças na distribuição de Cd entre o tegumento da semente e os cotilédones. Em média, a concentração de Cd na semente variou numa proporção de 2:1, sendo maior no tegumento (testa) da semente do que no cotilédone. Contudo, existem evidências de que isso pode variar dependendo do genótipo de 13% a 81%. Uma vez que o tegumento é descartado no processamento de sementes para fabricação de chocolate, podem-se adotar estratégias de mitigação do Cd. Em relação ao conteúdo de Cd em BSS+P as progênies apresentaram uma variação de 0,031 a 0,193 mg fruto⁻¹. Destacando nesse estudo as progênies que apresentaram os menores valores de médias, as progênies CEPEC 2004 x SJ 02 (0,031 mg fruto⁻¹), PS 10.30 x PS 10.30 (0,069 mg fruto⁻¹), CEPEC 2004 x PH 15 (0,077 mg fruto⁻¹), CEPEC 2002 x CEPEC 2002 (0,079 mg fruto⁻¹) CEPEC 2002 x CCN 51 (0,081 mg fruto⁻¹) que apresentaram as médias de teor de Cd com menores valores. Estas cinco progênies se destacaram dentre as 21 progênies que apresentaram os menores valores do conteúdo de Cd na BSS+P e foram 71%, 37%, 30%, 28% e 26% respectivamente inferiores à média geral (0,11 mg fruto⁻¹) para esta variável (Figura 2B).

Já na análise de agrupamento as progênies BN 34 x CCN 51, BN 34 x FA 13, CCN 51 x PS 13.19 e PH 16 x PS 13.19 foram agrupados formando o primeiro grupo, principalmente pelos maiores valores de BST, N, P, K, Ni e Pb em relação aos demais cruzamentos. Por outro lado, os cruzamentos CEPEC 2002 x CEPEC 2002, CEPEC 2004 x PS 10.30, CEPEC 2004 x SJ 02, CEPEC 2002 x CCN 51, CEPEC 2002 x PH 16, FA 13 x PS 13.19, CEPEC 2002 x PS 10.30, PH 16 x PS 10.30 e PS 13.19 x PS 13.19

formaram o segundo grupo, principalmente pelos menores valores para a maioria dos macro e micronutrientes minerais, metais pesados e BST. O terceiro e o quarto grupo apresentaram variação entre os valores para os diferentes atributos avaliados. A similaridade de atributos entre as progênies é uma medida de sua associação baseada nas variáveis de agrupamento. A proximidade entre cada par de atributos pode ser determinada pelas medidas de distância. A distância é convertida em um valor onde as menores distâncias representam maior similaridade. Para Cruz et al. (2011) as medidas de similaridade são importantes na avaliação genética, principalmente quando o objetivo é utilizar clones na melhoria da produção. Entre as progênies que formaram o primeiro agrupamento houve semelhança em pelo menos um genitor (BN 34 x CCN 51, BN 34 x FA 13, CCN 51 x PS 13.19 e PH 16 x PS 13.19). Por outro lado, entre as que formaram o segundo grupo, as progênies CEPEC 2002 x CEPEC 2002, CEPEC 2004 x SJ 02, CEPEC 2002 x CCN 51, CEPEC 2002 x PH 16, CEPEC 2002 x PS 10.30 tiveram um dos genitores (CEPEC 2002) idênticos no agrupamento, exceto as progênies PH 16 x PS 10.30, PS 13.19 x PS 13.19 e CEPEC 2004 x SJ 02. Dentro do agrupamento 1, as características biomassa seca de semente (33,33%), macronutrientes minerais (25%), micronutrientes minerais (16,66%), IF (16,66%) e %BSS (8,33%) foram as que mais contribuíram na diversidade genética dos genitores. Por outro lado, no agrupamento 2, as características BSS (33,33%), metais (33,33%), macronutrientes minerais (11,11%), micronutrientes minerais (11,11%) e %BSS (11,11%) foram as que mais contribuíram na diversidade genética dos genitores. (Figura 3). Dentro do grupo 1 as progênies tiveram em comum os maiores valores de médias de BSS. Também se destacou a progênie PH 16 x PS 13.19 que apresentou o maior número de atributos e as maiores médias (BSS, %BSS, macro e micronutrientes, metais e IF. Já entre as progênies do grupo 2, CEPEC 2002 x CCN 51 se destacou apresentando as menores médias de três atributos (macro e micronutrientes minerais e metais).

A seleção de genitores e progênies com base no desempenho da planta é um método mais simples porém demorado. A capacidade de combinação se torna importante para a seleção, pois a CGC de forma simples prediz os efeitos aditivos que contribuem para a heterose (MELCHINGER et al., 1987) e a CEC desempenha papel importante na

heterose (GARDNER; EBERHART, 1996). Através das análises dialélicas de variância dos tratamentos e desdobramento dos quadrados médios obtidos ficaram evidentes as diferenças estatísticas pelo teste F ($p < 0,01$), para todos os atributos avaliados (biometria e biomassa, nutrientes minerais e metais). Os cálculos das porcentagens das somas de quadrados dos tratamentos/progênes, para os caracteres biométricos e de biomassa, mostraram que as maiores porcentagens das somas dos quadrados dos tratamentos foram respondidas pelas capacidades específicas de combinação (57,2% a 83,78%). Isto demonstra um predomínio de efeitos não aditivos e por consequência, a exploração de tais características deve ser dirigida para a produção de híbridos em programas de melhoramento. Entretanto alguns valores de porcentagem respondidos pelas capacidades gerais de combinação como nas variáveis CF, IF, BSP, BSS que apresentaram uma %SQCGC de 42,1%, 49,3%, 38,7% e 41,1% respectivamente, podem ser utilizados na exploração desses efeitos aditivos onde as progênes F1 e F2 têm valores próximos aos genitores (RAMALHO et al., 2008). Os genitores com altos valores de estimativas e positivos são os que mais contribuirão para o aumento da expressão da variável, enquanto aqueles com valores altos e negativos contribuem com a redução de sua expressividade. Os genitores quando apresentam altos valores positivos dos efeitos da CGC deve obter médias das progênes em que participaram superiores à média geral das progênes F1 (CRUZ et al., 2004). De modo contrário, os genitores com altos valores negativos terão que apresentar médias de suas progênes menores que a média geral das progênes F1. Através das estimativas dos efeitos da CGC se obtém informações sobre a concentração de genes de efeitos, predominantemente aditivos. Essas estimativas são de grande utilidade na escolha de parentais a serem utilizados em programas de melhoramento. Se as estimativas forem altas, mesmo sendo positivas ou negativas, o genitor em questão é muito superior ou inferior aos demais, e quanto mais perto de zero, seu comportamento não é diferente da média geral das progênes (CRUZ et al., 2004).

Em relação à herdabilidade (h^2) no sentido amplo pode-se observar que a Biomassa seca total (BST), a biomassa seca de casca (BSC) e a biomassa seca de semente (BSS) foram as características que mais influenciaram a próxima geração,

apresentando valor genético igual a 93,74%, 90,65% e 86,28% respectivamente (Tabela 9). Entre os minerais o N (82%), Cu (81,52), Mg (81,21%) e K (81,19%), apresentaram os maiores valores de herdabilidade. Todos os nutrientes apresentaram h^2 acima de 70% exceto o Na que apresentou um valor de 67,13%. Já entre os metais o Ni apresentou o maior valor 90,27%, seguido do Pb com 86,63% e o Cd obteve o menor valor de 71,10% de herdabilidade no sentido amplo. Esses resultados demonstram pouca influência do ambiente sobre as variáveis do estudo e no processo de seleção pode permitir maior ganho genético (Tabelas 9, 13 e 15).

Dentre os atributos biométricos, destacamos as variáveis IF e BSS, uma vez que são importantes na produção de sementes. Para o IF, o interesse é em genótipos que possam diminuir os valores médios do IF. Já para a BSS o interesse é em genótipos que contribuam para o aumento da expressão dessa variável. Os genitores BN 34 e PH 16 apresentaram efeitos negativos e positivos significativos da CGC ($p < 0,01$) para IF e BSS, respectivamente, assim como o PS 10.30 que ainda apresentou efeitos positivos significativos para BIS da CGC ($p < 0,05$). De maneira geral o CEPEC 2002 apresentou efeitos negativos e significativos da CGC para todos os atributos, exceto IF que mostrou efeitos positivos significativos ($p < 0,01$) (Tabela 10). Os efeitos gênicos não aditivos são comprovados através da significância dos quadrados médios relativos à CEC o que demonstra que estes estão envolvidos no controle dessa característica (SIBIYA et al., 2011).

Para a CEC houve variação entre progênies apresentando dois e três desvios (positivos e negativos) significativos em relação ao desvio padrão para os atributos analisados, principalmente IF e BSS. Esses efeitos significativos da CEC indicam que estas combinações híbridas apresentam um incremento ou redução do valor dos caracteres e que não são explicados pela média dos pais e suas capacidades gerais de combinação (KOSTETZER et al., 2009).

As progênies PH 16 x PS 13.19, PH 16 x PS 10.30, PH 16 x SJ 02 apresentaram combinação de efeitos com o genitor PH 16 para os atributos IF e BSS. A progênie PH 16 x PS 13.19 apresentou estimativas significativas (positivas e negativas) para todos os atributos biométricos e de biomassa exceto para a relação DF/CF ($p < 0,01$ e $p < 0,05$).

Esse efeito observado em PH 16 x PS 13.19 para os atributos IF e BSS tem uma relação de combinação com os efeitos negativo e positivo respectivamente do genitor PH 16 ($p < 0,01$) para as duas variáveis, e com valores de 51% (IF) e 25% (BSS) de heterose. Já o cruzamento PH 16 x PS 10.30 apresentou estimativas significativas (positivas e negativas) para todos os atributos exceto para DF e CF/DF. O efeito observado em PH 16 X PS 10.30 foi combinado com o efeito positivo da CGC somente com o genitor PS 10.30 para IF, e para ambos os genitores na BSS, com dois desvios em relação ao desvio padrão com valores de heterose de 29% e 6,67% para IF e BSS, respectivamente.

Já a progênie PH 16 x SJ 02 apresentou estimativas significativas (positivas e negativas) para todos os atributos exceto para DF, NS e BSP. O efeito observado em PH 16 x SJ 02 foi combinado com o efeito positivo da CGC do genitor PH 16 para os atributos BSS e uma heterose de 6% e um efeito negativo para IF apresentando 32% de heterose. CCN 51 x PS 13.19 apresentou estimativas significativas (positivas e negativas) para todos os atributos exceto para NS, BIS, IF e BSS. Esse efeito não foi combinado com nenhum dos genitores. Mas mesmo assim apresentou efeito significativo negativo para IF e positivo para BSS, com três desvios em relação ao desvio padrão e 52% de heterose para IF e 6,28% para BSS.

A progênie PS 10.30 X PS 13.19 apresentou estimativas significativas positivas (CF, BSS e CF/DF) e negativas (IF, BSC) exceto para DF, NS, BIS, BSP e BST que não foram significantes ($p < 0,05$), contribuindo para a expressão dessas duas principais características (IF e BSS) na produção de sementes. O efeito observado em PS 10.30 x PS 13.19 foi combinado com o efeito negativo da CGC do genitor PS 10.30 para IF, e positivo para BSS. Apresentando para o IF e BSS desvios significativos duas e três vezes maiores do que o desvio padrão, e heterose de 32% e 6% de heterose, respectivamente.

Para os nutrientes minerais não foi diferente, as análises dialélicas de variância demonstraram diferenças estatísticas (teste F, $p < 0,01$) para o conteúdo de todos os minerais em semente mais polpa (BSS+P) de frutos de cacau das progênies analisadas (Tabelas 7 e 8). Foram observados valores da estimativa dos desvios ($\hat{\sigma}_{ii}$) negativos e positivos relativos aos genitores. Isto indica desvios da dominância bidirecional, na qual genes que aumentam a expressão do caráter e outros, igualmente dominantes, que

diminuem essa expressão (CRUZ; VENCovsky, 1989). Quando esta variação foi analisada sob a dinâmica das porcentagens das somas dos quadrados da CGC e CEC, observou-se que a maior parte da variação foi respondida pela SQCEC que variou de 56,40% (P) a 92,30% (Ca). Os resultados também mostram alta herdabilidade no sentido amplo para os macros e micronutrientes minerais variando de 71,05% a 81,98% para Zn e N, respectivamente. Esses resultados deixam claro a pouca influência ambiental, podendo ser explorados em programas de melhoramento da espécie, uma vez que são altas as influências genéticas. Esses efeitos significativos na CGC mostraram que pelo menos um genitor distinguiu-se dos demais ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) para os minerais na BSS+P. O genitor BN 34 apresentou estimativas significativas positivas para o conteúdo de todos os elementos minerais analisados em BSS+P exceto para o Fe. Em contraste o CEPEC 2002 apresentou efeitos significativos negativos para o conteúdo dos elementos analisados, exceto para o Ca. Para NPK os genitores BN 34 (N= 137, P= 87, K= 53) e o PH 16 (N= 49,5, P= 37, K= 46) apresentaram as estimativas dos efeitos significativos positivos da CGC para o conteúdo de NPK na BSS+P (Tabela 13). Em contraste, CEPEC 2002 (N= -187; P= -114; K= -57) e PS 10.30 (N= -44; P= -55; K= -71) se destacam por apresentarem estimativas dos efeitos significativos negativos da CGC para o conteúdo de NPK na BSS+P, assim como também o CCN 51 que apresentou os mesmos efeitos para o conteúdo de N (-35) e P (-15). Já para os efeitos da CEC, o cruzamento CEPEC 2002 x CCN 51 apresentou estimativas significativas negativas ($p < 0,05$ e $p < 0,01$) para o conteúdo de todos os elementos minerais analisados na BSS+P de frutos das progênies, exceto para o conteúdo de Fe que mesmo apresentando valores negativos não diferiu estatisticamente (Tabela 14). O efeito observado em CEPEC 2002 x CCN 51 foi combinado com o efeito negativo da CGC do pai CEPEC 2002 para o conteúdo de todos os nutrientes analisados exceto para Ca, e também combinou com o efeito negativo do genitor CCN 51 para o conteúdo de Fe.

Já para os metais (Ni, Pb e Cd) devido as preocupações e danos à saúde humana, o objetivo foi encontrar genitores e progênies que contribuem para suprimir a expressão dessa variável e por consequência passe a apresentar menores conteúdo desses metais na BSS. A análise de variância deixou evidente as diferenças significativas entre os

tratamentos/progênes pelo teste F ($p < 0,01$) para o conteúdo de Ni, Pb e Cd na BSS+P. Os quadrados médios obtidos foram decompostos em capacidades gerais (CGC) e específicas (CEC), e as maiores porcentagens foram respondidas pelas CEC, com 71,10% (Ni), 76,90% (Pb) e 76,0% (Cd). Os valores médios de herdabilidade no sentido amplo para o conteúdo dos metais na BSS+P foram de 71,10 para o Cd, 86,64 para o Pb e 90,27 para o Ni (Tabela 15). Esses resultados mostram a possibilidade da utilização desses atributos em programas de melhoramento da espécie com possibilidade de ganho genético, pois há pouca influência ambiental, podendo ser utilizada na fitorremediação desses metais ou redução desses metais nas sementes da espécie. Com o objetivo de se conseguir genitores e progenitores que apresentem valores negativos para essas características, as análises da CGC mostraram que o genitor CEPEC 2002 apresentou efeitos significativos e negativos da CGC para o conteúdo de Ni, Pb e Cd na BSS+P ($p < 0,01$). Assim como o BN 34 apresentou de forma isolada efeitos negativos para o conteúdo de níquel em BSS+P (Tabela 16).

Quando foram analisadas as CEC, as progênes BN 34 x SJ 02, CCN 51 x PS 10.30, PH 16 x PS 10.30 apresentaram efeitos negativos significativos para as estimativas da CEC do conteúdo de Ni, Pb e Cd na BSS+P de frutos das progênes, sendo três vezes maiores que o desvio padrão (Tabela 17). Assim como CCN 51 x SJ 02 que apresentou efeitos significativos da CEC maiores do que o desvio padrão (D_i) para o conteúdo Ni ($3x > D_i$), Cd ($2x > D_i$) e Pb ($2x > D_i$) na BSS+P. Também a progêne PS 10.30 x SJ 02 apresentou efeito da CEC três vezes maior do que o desvio padrão para Ni e duas vezes maior para Cd e Pb. O efeito observado em BN 34 x SJ 02 foi combinado com o efeito negativo da CGC do genitor BN 34 para os metais Pb e Cd. Assim como o efeito observado em CCN 51 x PS 10.30 e CCN 51 x SJ 02 foi combinado com o efeito negativo da CGC do genitor CCN 51 para o conteúdo de Cd (Tabela 17).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Houve diferenças significativas para os atributos de crescimento (biometria e biomassa) dos frutos das progênies de *T. cacao* avaliadas. As progênies BN 34 x CCN 51, BN 34 x FA 13, PH 16 x PS 13.19, PH 16 x SJ 02 e CCN 51 x PS 13.19 apresentaram os maiores valores médios para as variáveis: número de sementes (NS), peso individual de sementes (PIS) e biomassa seca de semente mais polpa (BSS+P) e os menores valores para o índice de frutos (IF).

Foi demonstrado, a partir da análise dialélica, que os efeitos de CGC e CEC foram significativos para as variáveis analisadas, havendo um predomínio dos efeitos não aditivos sobre aditivos na expressividade do caráter. O genitor CEPEC 2002 apresentou alta CGC e efeito negativo para as variáveis de crescimento. Os genitores BN 34, PH 16 e PS 10.30 apresentaram alta CGC, principalmente para as variáveis de produção IF e BSS. As progênies PH 16 x PS 13.19, PH 16 x PS 10.30, PH 16 x SJ 02 e PS 10.30 x PS 13.19 tiveram alta CEC, com efeitos negativos para IF e positivo para BSS. Além disso, estas progênies foram consideradas mais produtivas, pois alcançam uma tonelada de sementes secas de *T. cacao* com menor quantidade de frutos.

O genitor BN 34 apresentou alta CGC e efeitos positivos significativos para todos os nutrientes minerais, exceto para Fe. Por outro lado, o genitor CEPEC 2002 apresentou efeitos significativos negativos e uma alta CGC para todos os nutrientes minerais, exceto para Ca. As progênies CEPEC 2002 x CCN 51 e PH 16 x PS 1319 apresentaram uma alta CEC com efeitos negativos (exceto para Fe) e positivos, respectivamente, para todos nutrientes minerais analisados.

O genitor CEPEC 2002 apresentou alta CGC para Ni, Pb e Cd, com efeitos significativo negativo para esses metais. Por outro lado, o genitor PS 10.30 apresentou efeitos significativos positivos para o conteúdo de Ni, Pb e Cd na BSS+P. As progênies BN 34 x SJ 02, CCN 51 x PS 10.30, CCN 51 x SJ 02 e PH 16 x PS 10.30 foram superiores, apresentando alta CEC para o baixo acúmulo de conteúdo de Ni, Pb e Cd na BSS+P de fruto de *T. cacao*.

Verificou-se alta herdabilidade, principalmente para as variáveis BST, N, P, K e Ni. Além disso, as variáveis BST, N, P e K tiveram maior contribuição na separação dos cruzamentos e podem ser utilizadas na seleção de plantas nos programas de melhoramento genético de *T. cacao*.

7. REFERÊNCIAS

ABT, E. et al. Cadmium and lead in cocoa powder and chocolate products in the U.S. Market. **Food Additives & Contaminants**: Part B. 11: 2, 92-102, 2018.

AFOAKWA, E. O. et al. Effect of pulp preconditioning on acidification, proteolysis, sugars and free fatty acids concentration during fermentation of cocoa (*Theobroma cocoa*) beans. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 62, n. 7, p. :755-64, 2011.

AHAMED, M.; SIDDIQUI, M.K.J. Environmental lead toxicity and nutritional factors. **Clinical Nutrition**, 26: 400-408, 2007.

AIKPOKPODION, E. et al. A survey of copper, lead, cadmium and zinc residues in cocoa beans obtained from selected plantations in Nigeria. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**. 5. 88-98, 2013.

ALEXANDRE, R. S. et al. Caracterização de frutos de clones de cacaueiros na região litorânea de São Mateus, ES. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.8, p. 785–790. 2015.

ALLOWAY, N. J. **Heavy metals in soils**. London, United Kingdom: Blackie & Sons, p. 339. 1990.

ALMEIDA, A-A. F.; VALLE, R. R. **Ecophysiology of the cacao tree**. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, p. 425-448, 2007.

ALMEIDA, C. M. V. C. de. et al. **Implantação do cacaueiro em sistemas agroflorestais**. Brasília, DF, Mapa/ACS. 61p. 2011.

ALMEIDA, C. M. V. C. et al. Fatores que afetam a produtividade do cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) em Rondônia, Brasil. **Revista Agrotrópica**, Ilhéus, Bahia, v. 15, n. 3, p. 161-168, 2003.

ALMEIDA, C. M. V.C.; DIAS, L. A. DOS S.; SILVA, A. DE P. Caracterização agronômica de acessos de cacau. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.4, p. 368-373, 2009.

ALMEIDA, L. C. et al. Desempenho agronômico de variedades clonais de cacaueiros em ouro preto do oeste, Rondônia. **Agrotrópica** (Brasil). 13(1):9-20. 28. 221-232, 2016.

ALVAREZ, C.; PEREZ, E.; LARES, M. Morfología de los frutos y características físico-químicas del mucílago del cacao de tres zonas del Estado Aragua. **Agronomía Tropical**, Maracay, v.52, n. 4, p.497-506, 2002.

ALVERSON, W. S.; WHITLOCK, B.A; NYFFELER, R.; BAYER, C.; BAUM, D.A. Phylogeny do núcleo Malvales: Evidência de dados de seqüência de *ndhF*. **American Journal Botany**, 1999.

ALVIM, P. de T. *Cacao*. In: Alvim, P. de T.; Kozlowski. T. T. eds. *Ecophysiology of cacao crops*. New York, **Academic Press**. pp. 279-313, 1977.

AMARAL, J.F.T. et al. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, 41 (4): 621-629, 2011.

APG II. Uma atualização da classificação do Angiosperm Phylogeny Group para as ordens e famílias de plantas com flores: APG II. **Revista Botânica da Sociedade Lineana**, 2003.

ARAÚJO, I. S. et al. Mapping of quantitative trait loci for butter content and hardness in cocoa beans (*Theobroma cocoa* L.). **Plant Mol Biol**, v. 27, p. 177–183, 2009.

AREVALO-GARDINI, et al. Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cocoa* L.) in major cacao growing regions in Peru. **Science of The Total Environment**. 605-606. 792-800, 2017.

ARNON, D. I; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantities for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, v. 14, p. 371-375, 1939.

BARRETO, M. A. et al. Detecção da resistência genética à doença da vagem negra do cacau causada por três espécies de *Phytophthora*. **Euphytica**. 206: 677-687. 2015.

BARRETO, W. S. et al. Concentração de nutrientes em amêndoas de cacau produzido no Sul da Bahia. 2012, Ilhéus, Bahia: III CBC, 2012.

BARTLEY, B.G.D. **The genetic diversity of cacao and its utilization**. CABI Publishing, Wallingford, UK, 341p, 2005.

BERNARD, A. et al. Cadmium & its adverse effects on human health. **Indian Journal of Medical Research**, v. 128, n. 4, p. 557, 2008.

BERNINI, C. S.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Estimativas de parâmetros de heterose em híbridos de populações F2 de milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 42(1):56-62, 2012.

BERTOLDI D, et al. Multielemental fingerprinting and geographic traceability of *Theobroma cacao* beans and cocoa product. **Food Control**, 65 46-53, 2016.

BEZERRA, A. R. G. **Capacidade combinatória entre progênies, controle genético e seleção, via modelos mistos, de populações segregantes de soja**. 2017. Xii, 79f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.

BEZERRA, F. T. C. et al. Biometry of fruits and seeds and pre-germination treatments in *Cassia grandis* L. f. (Fabaceae). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2863-2876, 2012.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. 3 ed. 500p. Viçosa: UFV, 2001.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. B. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. **Revista Ceres**, v. 6, n. 1, p. 73-85, 1974.

CARR, M.K.V.; LOCKWOOD, G: The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): A review, **Experimental Agriculture**, 47 (4): 653-676, 2011.

CASTRO, A. C. R. **Deficiência de macronutrientes em helicônia "Golden Torch"**. 2007. 102 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

CASTRO, G.C.T.; BARTLEY, B.G.D. Caracterização dos recursos genéticos do cacaueiro. I. Folha, fruto e semente de seleções da Bahia das séries SIC e SIAL. **Revista Theobroma**, v.13, p.263-273, 1983.

CASTRO, G.C.T.; BARTLEY, B.G.D. Caracterização dos recursos genéticos do cacaueiro. II. Flor de seleções da Bahia das séries SIC e SIAL. **Revista Theobroma**, v.15, p.49-55, 1985.

CERVANTES, M.C. et al. Combinando a capacidade para resistência a doença, rendimento e traços hortícolas de clones de cacau (*Theobroma cacao* L.). **J Am Soc Hortic Sci**. 2006; 131: 231–241.

CHAVEZ, E. et al. Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. **Science Total Environmental**. 533, 205–214, 2015.

CHEESMAN, E.E. Notes on the nomenclature, classification and possible relationship of cocoa populations. **Tropical Agriculture**, v. 21, p. 144-159, 1944.

CICONINI, G. et al. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Industrial Crops and Products** (Print), v.45, p.208-214, 2013.

CLARK, R.B. Plant genotype differences in uptake, translocation, accumulation and use of mineral elements required for plant growth. **Plant Soil**, 72:175-196, 1983.

CLARKSON, D.T.; HANSON, J.B. The mineral nutrition of higher plants. **Ann. Rev. Plant Phys.**, 31:239-298, 1980.

CLEMENT, D. et al. Mapping quantitative trait loci for bean traits and ovule number in *Theobroma cocoa* L. **Genome**, v.46, p.103-111, 2003.

COOKE, G.W. Maximizing fertilizer efficiency by overcoming constraints to crop growth. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.10, p.1357-1369, 1987.

CRUZ, C.D.; FERREIRA, M.F.; PESSONI, A.L. Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética, Vol.1, **Viçosa: UFV**, 620 p. 2011.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 1997.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG, UFV, 2004.

CRUZ, C.D.; VENCOVSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialética. **Revista Brasileira de Genética**, 12 (2): 425-438, 1989.

CRUZ, J. F. M. **Caracterização das sementes de variedade de cacau *Theobroma cacao* L. resistentes à vassoura de bruxa durante a fermentação e após a secagem**. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2012.

CUATRECASAS, J. Cacao and its allies: A taxonomic revision of the genus *Theobroma*. Washington: **Smithsonian Institution**, 1964.

DAHIYA, S. et al. Lead, cadmium and nickel in chocolate and candies from suburban areas of Mumbai, India. **Journal of Food Composition and Analysis**, 18:6, 517-522, 2005.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Orgs.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, Minas Gerais: SBCE/UFV, p. 92-132. 2007.

DEON, M. D. **Crescimento e nutrição mineral da soja submetida a excesso de P, S, K, Ca e Mg em solução nutritiva**. 2007. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, p. 72, 2007.

DIAS, L.A.S. Origem e dispersão de *Theobroma cocoa* L.: um novo cenário. In: DIAS, L.A.S. (Ed.). **Melhoramento genético do cacaueiro**. Viçosa: Funape, 2001.

DUDA-CHODAK, A.; BLASZCZYK, U. The impact of nickel on human health. **Journal of Elementology**, 13, 685-693, 2008.

EFRAIM, P. **Estudo para minimizar as perdas de flavonoides durante a fermentação de sementes para produção de chocolate**. 2004. 110 f. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2004.

EFSA (EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY). Cadmium in food. **EFSA Journal**, v. 980, p. 1-139, 2009.

EFSA (EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY). Lead dietary exposure in the European population. **EFSA Journal**, v. 10, n. 7, p. 2831(1–21), 2012b.

ELAIN APSHARA S. et al. Evaluation and identification of high yielding trees in Nigerian cocoa germplasm. **Journal of Plantation Crops**. 37(2):111-116, 2009.

EPSTEIN, E. Physiological genetics of plant nutrition. In: EPSTEIN, E. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. New York, **J. Wiley**, p.325-344. 1972.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA-CNPAP, 425p.1989.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Lowland rice response to nitrogen fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.32, p.1405-1429, 2001.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **Agricultural Commodities: profiles and relevant WTO negotiating issues**. Rome, Italy: FAO, p. 89, 2003.

FAO / OMS. 2010. 73ª Reunião, Genebra, 8 e 17 de junho de 2010. **Summary report of the seventy-third meeting of JECFA**. Genebra, Suíça: Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura; Organização Mundial da Saúde. Disponível em: < acessado em 20 de novembro de 2018>

FARIÑAS, L. G. et al. Características físicas del fruto de cacaos tipos criollo, forastero y trinitario de la localidad de Cumboto, Venezuela. **Agronomia Tropical**, v.52, n.3, p. 1-10, 2002.

FIGUEIRA, A.V.O.; JANICK, J.; GOLDSBROUGH, P. Genome size and DNA polymorphism in *Theobroma cocoa*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 1992.

FONSECA, S.E.A.; ALBUQUERQUE, P.S.B. Avaliação de clones de cacau na Amazônia brasileira em relação à incidência de vassoura-de-bruxa. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 12., 1996, Salvador. **Proceedings**. Lagos: Cocoa Producers' Alliance, p.149-153, 1999.

FRITSCHÉ-NETO, R.; et al. Herança de caracteres associados à eficiência de utilização do fósforo em milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 45 (5): 465-471, 2010.

GABELMAN, W.H.; GERLOFF, G.C. The search for and interpretation of genetic controls that enhance plant growth under deficiency levels of a macronutrient. **Plant and Soil**, 72: 335-350, 1983.

GARDNER, C.O, EBERHART, S.A. Análise e interpretação da variedade dialélica cruzada e populações relacionadas. **Biometria** 22 (3): 439-452.1966.

GERALDI, I. O.; MIRANDA FILHO, J. B. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Brazilian Journal of Genetics**, 11:419-430,1988.

GLOBALFERT. Gasto com fertilizante é um dos vilões do custo de produção no Brasil. Gazeta do Povo - **Globalfert**, 06 de mar. 2018. Disponível em: <https://globalfert.com.br/culturas/gasto-com-fertilizante-e-um-dos-viloes-do-custo-de-producao-no-brasil>.

GOMES, M. Produção nacional de cacau movimentou R\$ 14 bilhões por ano. **CORREIO BRAZILIENSE**. 19 mar. 2018. Disponível em: https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2018/03/19/internas_economia,666957/producao-nacional-de-cacau-movimentou-r-14-bilhoes-por-ano.shtml. Acesso em 19 de nov. de 2018.

GRAMLICH, A. et al. Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. **Science of The Total Environment**. 612. 370, 2017.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, 9: 462-493, 1956.

GUISARD, C. L. M. P. A vigilância ambiental em saúde sobre o uso agrotóxico em um município do vale de Paraíba; **Universidade de Taubaté**; Taubaté; Brasil; 2006.

GUSMÃO, E.; VIEIRA, F. A.; FONSECA-JUNIOR, E. M. Biometria de frutos e endocarpos de murici (*Byrsonima verbascifolia* Rich. ex A. Juss.). **Cerne**, Lavras-MG, v.12, n.1, p.84-91, 2006.

HIREL, B. et al. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. **Journal of Experimental Botany**, 587: 2369-2387, 2007.

HORN, D. et al. Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 77-85, 2006.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA) **Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil**, 2018. Disponível em:

<[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201801.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201801.pdf)> Acesso em 19 de nov. de 2018.

ICCO (INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION). **The world cocoa economy**.

Boletim Trimestral da ICCO de Estatísticas do Cacau, vol. XLIII, nº 3, ano cacau 2016/17. 31 de agosto de 2017. Disponível em: <

(<https://www.icco.org/statistics/monthly-review-of-the-market.html>)>. Acesso em: 11 de maio de 2018.

IPNI, International Plant Nutrition Institute. 2016. **Consumo aparente de fertilizantes e matérias-primas em 2015**. Disponível em: <http://www.brasil.ipni.net/article/BRS-3132#aparente>. Acesso em: dezembro de 2018.

ISRAEL, D.W.; RUFTY JUNIOR, T.W. Influence of phosphorus nutrition on phosphorus and nitrogen utilization efficiencies and associated physiological response in soybean. **Crop Science**, Madison, v.28, p.954-960, 1988.

JACKSON ML. **Soil chemical analysis**. New Jersey: Prentice Hall. 498p. 1958.

JALBANI, N. et al. Determination of toxic metals in different brand of chocolates and candies, marketed in Pakistan. Anal. **Environ. Chem.** 10. 48-52. 2009.

Jl, K. et al. Genetic diversity and parentage in farmer varieties of cacao (*Theobroma cocoa* L.) from Honduras and Nicaragua as revealed by single nucleotide polymorphism (SNP) markers. **Genetic Res. Crop Evol.**, 60 (2): 441–453, 2012.

JIAO, W. et al. Environmental risks of trace elements associated with long-term phosphate fertilizers applications: a review. **Environmental Pollution**, 168, 44–53, 2012.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A, 472p. 2004.

KNEZEVIC, G. Determination of arsenic in cocoa containing foods by hydride generation AAS. **Zucker-Suesswaren Wirtsch**, v. 35, n. 6, p. 199–200, 1982a.

KNEZEVIC, G. Heavy metals in food stuff. The copper content of raw cocoa, intermediate and finished cocoa products. **Glacier Garlock Bearings**, v. 5, n. 2, p. 24–26, 1980.

KNEZEVIC, G. Heavy metals in food. Part 1. Content of cadmium in raw cocoa beans and in semifinished and finished chocolate products. **Deutsche Lebensmittel-Rundschau**, v. 75, n. 10, p. 305–309, 1979.

KNEZEVIC, G. Heavy metals in food. Part 2. Lead content in unrefined cocoa and in semifinished and finished cocoa products. **Deutsche Lebensmittel-Rundschau**, v. 78, n. 5, p. 178–180, 1982b.

KOSTETZER, V.; MOREIRA, R. M. P.; FERREIRA, J. M. Cruzamento dialélico parcial entre variedades locais do Paraná e variedades sintéticas de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1152–1159, 2009.

KRATZ, S.; SCHICK, J.; SCHNUG, E. Trace elements in rock phosphates and P containing mineral and organo-mineral fertilizers sold in Germany. **Sci. Total Environ.** 542, 1013–1019, 2016.

KRUSZEWSKI, B.; OBIEDZINSKI, M. W.; KOWALSKA, J. Nickel, cadmium and lead levels in raw cocoa and processed chocolate mass materials from three different manufacturers. **Journal of Food Composition and Analysis**, 66, 127–135, 2018.

LAVANHOLE, D. F. **Caracterização dos frutos e sementes e ecofisiologia da germinação de *Theobroma cacao* L.** 2018. 55 f. Tese (Mestre em Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, ES. 2018.

LAVIOLA, B.G.; DIAS, L.A.S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-mansão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 1969–1975, 2008.

LEAL, R. M; PRADO, R. M. Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.3, n.4, p.301–306, 2008.

LEDO, CA da S.; FERREIRA, D. F.; RAMALHO, M. A. P. Análise de variância multivariada para os cruzamentos dialélicos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 6, p. 1214-1221, 2003.

LEWIS, C. et al. Genetic variation in bioaccumulation and partitioning of cadmium in *Theobroma cocoa* L., **Science of The Total Environment**, V 640–641, p 696-703, 2018.

LOCKWOOD, G.; PANG, J.T.Y. Additive inheritance of yield in cocoa. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 11, 1993, Yamoussoukro. **Proceedings**. Yamoussoukro: Cocoa Producers' Alliance, p.415-423, 1993.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Uso eficiente de fertilizantes. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, p.1-58, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1989.

LOPES, U. V. et al . Cacao breeding in Bahia, Brazil: strategies and results. **Crop Breed. Appl. Biotechnol.**, Viçosa , v. 11, n. spe, p. 73-81, 2011.

LOUREIRO, G. A. H. A. **Atributos qualitativos de solo e amêndoas de cacau comum: revisão, análises e interpretação de relações**. Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, 87 f. 2012. Monografia (Bacharelado em Engenharia Agrônômica), 2012.

LOUREIRO, G. A. H. A. **Qualidade de solo e qualidade de cacau**. 2014. 207 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2014.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: Nutrição de plantas e fertilizantes do solo**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 528 p. 1976.

MALAVOLTA, E. O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 121, 2008.

MARITA, J.M. et al. Analysis of genetic diversity in *Theobroma cacao* with emphasis on witches' broom disease resistance. **Crop Science**, v.41, p.1305-1316, 2001.

MATOS, O. C. Substâncias naturais de origem vegetal com actividade biocida: seu uso na protecção de culturas; Departamento de Fisiologia Vegetal; **Estação Agronómica Nacional**, Biocidas; Oeiras; Portugal; Fevereiro; 2004.

MCLAUGHLIN, M. J.; SINGH, B. R. **Cadmium in soil and plants**. Dordrecht, Kluwer Academic, 364p, 1999.

MCNEIL, C.L. **Chocolate in Mesoamerica: A Cultural History of Cacao**. Univ Press of Florida, Gainesville, FL, 2006.

MELO, G. R. P.; CHITARRA, A. B. Características qualitativas de importância na gordura da amêndoa em nove híbridos de cacau (Theobroma cacao L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v.23, p.161-169, 1999.

MEMON, S. et al. Combining ability through line × tester analysis for phenological, seed yield, and oil traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Euphytica**, v. 204, n. 1, p. 199–209, 2015.

MENDES, F. A. T.; LIMA, E. L. A cacauicultura amazônica – um negócio indispensável no contexto nacional. In: Seminário Internacional do Agronegócio do Cacau: Uma alternativa para o desenvolvimento sustentável da Amazônia, Porto Velho, RO, **IICA/CEPLAC**, 26p, 2001.

MONTEIRO W.R.; AHNERT, D. Melhoramento genético do cacau. In: Valle R. R. (Ed). **Ciência, tecnologia e manejo do cacau**. 2ª Ed. Brasília, DF. 2012, p. 11-29, 2012.

MORAIS, F. I.; SANTANA, M. B. M.; SANTANA, C. J. L. Nutrição mineral e adubação do cacau. **Boletim Técnico**, n 88. 53p.1981.

MOUNICOU, S. et al. Concentrations and bioavailability of cadmium and lead in cocoa powder and related products. **Food Addit. Contam.**, 20 (4): 343-352, 2003.

MUNIZ, M.R.A. et al. Exportação de nutrientes pelos frutos de cacau de diferentes cultivares nas Fazendas Reunidas Vale do Juliana. **Adubare**, 24: 5-9, 2013.

NOGUEIRA, et al. Estatística descritiva dos caracteres morfoagronômicos, altura, circunferência a altura do peito (CAP), e diâmetro a altura do peito (DAP), de plantas de cacau em comunidades da região do médio rio Purus. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.

OCT – Organização de Conservação de Terras do Baixo Sul. PDCIS – **Programa de Desenvolvimento e Crescimento Integrado com sustentabilidade**. Localização. Disponível :<https://www.oct.org.br/pdcis/localizacao/28> Acessado 29 de maio de 2019.

OCT – Organização de Conservação de Terras do Baixo Sul. **Plano de Desenvolvimento Integrado e Sustentável da APA do Pratigi**. Versão atualizada em 27/08/2009.

OLIVAS, D. B. L. **Cultivos consorciados de cafeeiro arábica: caracterização morfológica, fisiológica e nutricional**. 2018. 84 f. Tese (Doutorado em Produção

Vegetal)) - Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, 2018.

OYEDOKUN A.V. et al. Phenotypic variability and diversity analysis of bean traits of some cocoa hybrids in Nigeria. **Asian Journal Agricultural Science**. 127-131, 2011.

PAIVA, C.L. et al. Diversidade genética de espécies do gênero *Passiflora* com o uso da estratégia WARD-MLM. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v.36, n. 2, p. 381 - 390, 2014.

PEREIRA A.S. et al. Capacidade de combinação, herdabilidade e relações genotípicas de diferentes características fisiológicas em híbridos de cacau. **PLoS ONE** 12 (6): e0178790. 2017.

PEREIRA, W. et al. Diversidade genética entre cajueiros comerciais. **Scientia Plena**, v. 8, n. 6, p. 1-9, 2012.

PINTO, F. C. **Fertilidade do solo e partição de nutrientes em cacauzeiros**. 103 f. Dissertação (Mestrado Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2013.

PINTO, S.I.C. et al. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivadas em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 523-533, 2011.

PIRES, J.L. et al. Correlation between clone values in the germplasm collection and hybrid produced by these clones at CEPEC, with special emphasis on the yield x vigour relationship. In International workshop on cocoa breeding for improved production systems. Accra, Ghana, **Proceedings**. London, INGENIC and Ghana Cocoa Board, p.74 – 78, 2003.

POZZA, A. A. A. et al. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, 2001.

RABBANI, A. R. C. et al. Diversidade genética entre cajueiros comerciais. **Scientia Plena** 8: 1-9. 2012.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na Agropecuária**. 4. ed. Lavras: UFLA, 464 p. 2008.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; ZIMMERMANN, M.J.O. **Genética quantitativa em plantas autógamas; aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: Editora da UFG, 271 p., 1993.

RANKIN, C.W. et al. Lead contamination in cocoa and cocoa products: isotopic evidence of global contamination. **Environmental Health Perspectives**, 113:10, 1344-1348, 2005.

REHMAN, S.; HUSNAIN, S. Assessment of trace metal contents in chocolate samples by Atomic Absorption Spectrometry. **Journal of Trace Element Analysis**. 10. 1-11, 2012.

RICHETTI, P. Tendências da produção de fertilizantes no Brasil. **Notícias Agrícolas**. 19 de setembro de 2018. Disponível em: <
<https://www.noticiasagricolas.com.br/artigos/artigos-principais/221636-tendencias-da-producao-de-fertilizantes-no-brasil-por-priscila-richetti.html#.XDQ7R1xKjDd>> Acesso em: 25 dezembro 2018.

ROCHA, A. F. **Cádmio, Chumbo, Mercúrio – A problemática destes metais pesados na Saúde Pública?**. 2009. Monografia (Ciências da Nutrição) – Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação- Universidade do Porto, Porto – 2009.

SÁNCHEZ, S.E.M. **Cacau e graviola: descrição e danos das principais pragas-de-insetos**. Ilhéus, EDITUS, 2011.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do Estado de São Paulo. **Revista Árvore**, 26: 447-457, 2002.

SANTOS, A. A. **Diversidade genética morfoagronômica e resistência a podridão parda e vassoura-de-bruxa em cultivares locais de cacaueiro da Bahia**. 2015. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus – BA, 2015.

SANTOS, D. M. M. **Nutrição Mineral**. Apostila de Fisiologia Vegetal. UNESP. Jaboticabal, 13p. 2004.

SANTOS, E. A. **Capacidade combinatória, análise de trilha e plasticidade fenotípica para características de crescimento associadas com resistência à seca em cacau**. 2016. xii, 127 f. Tese (Doutorado em Genética e Biologia Molecular) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2016.

SANTOS, E. R. **Produtividade e exportação de nutrientes por cacaueiros**. 64 f. Dissertação (Mestrado Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2018.

SARTORETTO, L. M.; FARIAS, P. C. M. **Diversidade genética e técnicas biotecnológicas**. Unoesc & Ciências, v. 1, n. 2, p. 155-162, 2010.

SIBIYA, J. et al. Combining ability analysis for Phaeosphaeria leaf spot resistance and grain yield in tropical advanced maize inbred lines. **Field Crops Research**, v. 120, n. 1, p. 86-93, 2011.

SILVA NETO, P. J. et al, Sistema de produção de cacau para a Amazônia brasileira. **CEPLAC**, 1999.

SILVA, P. H. L. **Produtividade e exportação de nutrientes catiônicos por cacaueiros no Sul da Bahia**. 2015.50p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2015.

SINDONI, N. R. Beneficio del cacao (*Theobroma cocoa* L.). Caracas, **Facultad de Agronomía de La Universidad Central de Venezuela**, p.32. 2006.

SOUZA JÚNIOR, J. O. et al. Diagnose foliar na cultura do cacau. In: PRADO, R. M. (Org.). **Nutrição de plantas: diagnose foliar em fruteiras**. Jaboticabal, São Paulo: FCAV/CAPES/FAPESB/CNPq, 2012. p. 443–476.

SPRAGUE, G. F.; TATUM, L. A. General vs specific combining ability in single crosses of corn. *J. American Soc. Agron*, v. 34, p. 923–932, 1942.

TOMAZ, M.A, et al. Eficiência de absorção, translocação e uso de cálcio, magnésio e enxofre por mudas enxertadas de *Coffea arábica* L. 2003. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 27: 885-892.

TUCCI, M. L. S. et al. Teores de gordura e ácidos graxos de clones de cacau nas condições do Vale do Ribeira (SP). **Bragantia**, Campinas, SP, v.55, p.207-213, 1996.

UE (EUROPEAN UNION). Comission Regulation (EU) No 488/2014 of 12 May 2014 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in foodstuffs. **Official Journal of the European Union**, v. 138, p. 75–79, 2014. Disponível em: <<http://data.europa.eu/eli/reg/2014/488/oj>> acesso: 7 de jan de 2019.

VAZQUEZ-OVANDO, A. et al. Classification of cacao beans (*Theobroma cocoa* L.) of Southern Mexico based on chemometric analysis with multivariate approach. **European Food Research and Technology**, v. 240, p. 1117-1128, 2015.

VENIAL, L. R. et al. Biometria e armazenamento de sementes de genótipos de cacaueiro. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.37, n.89, p.39-46, 2017.

VILLA, J. E.; PEIXOTO, R.; CADORE, S. Cadmium and lead in chocolates commercialized in Brazil. **Journal of agricultural and food chemistry**. 62. 8759-8763. 2014.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, p. 236-244, 1963.

WOOD, G.A.R.; LASS, R.A. **Cocoa**. Longman group limited, longman house, England. 620 p. 1955.

YANUS, R.L. et al. Trace elements in cocoa solids and chocolate: an ICP-MS study, **Talanta**, 119,1-4. 2014.

ZARCINAS, B. et al. Heavy metals in soils and crops in Southeast Asia. **Environ. Geochem. Health** 26, 343–357. 2004.

ZARRILLO, S. et al. The use and domestication of *Theobroma cocoa* during the mid-Holocene in the upper Amazon. **Nature Ecology & Evolution**. 2018.

ZHANG. Y.; SMITH. P.; MAXIMOVA. S. N.; GUILTINAN. M. J: Application of glycerol as a foliar spray activates the defence response and enhances disease resistance of *Theobroma cacao*. **Molecular Plant Pathology**. 16(1): 27–37, 2015.