

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO

RAQUEL SCHMIDT

**ATRIBUTOS RADICULARES, FOLIARES E PRODUTIVOS EM DIVERSOS
GENÓTIPOS CULTIVADOS DE *Coffea canephora* Pierre ex Froehner**

Alegre – ES, 2022

RAQUEL SCHMIDT

**ATRIBUTOS RADICULARES, FOLIARES E PRODUTIVOS EM DIVERSOS
GENÓTIPOS CULTIVADOS DE *Coffea canephora* Pierre ex Froehner**

Tese de doutorado apresentada à
Universidade Federal do Espírito Santo,
como parte das exigências do Programa de
Pós Graduação em Genética e Melhoramento
para obtenção do título de Doutora em
Genética e Melhoramento.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Partelli

Alegre - ES, 2022

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

S349a Schmidt, Raquel, 1990-
Atributos radiculares, foliares e produtivos em diversos
genótipos cultivados de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner /
Raquel Schmidt. - 2022.
95 f. : il.

Orientador: Fábio Luiz Partelli.
Tese (Doutorado em Genética e Melhoramentos) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências
Agrárias e Engenharias.

1. *Coffea canephora*. 2. Plantas - Melhoramento genético. 3.
Nutrição de planta. 4. Raízes (Botânica). I. Partelli, Fábio Luiz. II.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências
Agrárias e Engenharias. III. Título.

CDU: 631.523

RAQUEL SCHMIDT

**ATRIBUTOS RADICULARES, FOLIARES E PRODUTIVOS EM DIVERSOS
GENÓTIPOS CULTIVADOS DE *Coffea canephora* Pierre ex Froehner**

Tese de doutorado apresentada à
Universidade Federal do Espírito Santo,
como parte das exigências do Programa de
Pós Graduação em Genética e Melhoramento
para obtenção do título de Doutora em
Genética e Melhoramento.

Comissão examinadora:

Prof. Dr. Fabio Luiz Partelli - Orientador
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof (a). Dra. Marcia Flores da Silva Ferreira
Universidade Federal do Espírito Santo

Dr. Marcelo Curitiba Espindula
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Dr. José Cochicho de Ramalho
Instituto Superior de Agronomia - Universidade de Lisboa

Prof. Dr. Eliemar Campostrini
Universidade Estadual do Norte Fluminense

“... Tudo tem o seu tempo determinado, e todo propósito debaixo do céu
Tem o seu tempo: Há tempo de nascer, e tempo de morrer;
tempo de plantar, e tempo de colher
o que se plantou...” Eclesiastes 3: 1e2

Ofereço

A todos os cafeicultores, pela luta diária de se tornar melhores.
Aos viveiristas que sempre buscam por novos genótipos de café e assim renovando a
cafeicultura.

A minha irmã Rutte Paula Schmidt
Meus Sobrinhos Raíssa Alípio Schmidt e Hugo Schmidt Alípio
Meus avós Holdina Piske Schmidt e Berthin Schmidt

Dedico

A meu pai Ademar Schmidt Cafeicultor e melhorista nato e a minha mãe Vilma Nedes
Dubberstein Schmidt nossa fortaleza.

Anne Schmidt minha primogenita que esteve em meu ventre durante as avaliações em
campo e longas horas de estudo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida; por me amparar, conceder força para vencer as dificuldades, por me dar coragem para as mudanças e novas escolhas e suprir todas as minhas necessidades.

A Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade na realização do curso de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento.

A Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pela concessão da bolsa. A Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro das pesquisas realizadas.

Ao Prof. Dr. Fábio Luiz Partelli, pelos excelentes anos de orientação, encorajamento e conselhos. Gratidão a essa vivência produtiva, sem dúvida é um exemplo de Orientador zeloso, responsável e acima de tudo humano, obrigada.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento essenciais para a formação. Ao professor Adésio Ferreira pelo conhecimento dividido e apoio nas análises estatísticas. Aos profissionais de laboratórios que me auxiliaram em processos laboratoriais, por todo conhecimento transmitido e ajuda no dia a dia.

Aos amigos conquistados ao longo desses quatro anos Bhrenda, Gaby, Ana Elisa, Poly, Maiara, Gleyse, Cleidson, Jackson Braz. Gratidão aos bons velhos amigos Dany, Gleice, Sol, Jhon, Vivi, Hely, Thaimã.

Agradeço de forma especial a Larícia, pelo apoio nas atividades laboratoriais, escrita de artigos e atividades extra classe, mas quero deixar aqui expresso a minha gratidão ao apoio durante a gravidez para que eu pudesse ter uma licença maternidade minimamente tranquila.

Aos amigos de Rondônia que estiveram presentes e que ajudaram a cuidar da minha pequena Anne enquanto dedicava meu tempo a escrita da tese. Elisangela e família, Alcione e família.

Agradeço a toda minha família e todos os amigos que considero parte da família, pelo apoio, amor, amizade e compreensão das inúmeras ausências durante este tempo.

Por fim e não menos importante, agradeço o apoio incondicional de meus pais Ademar e Vilma. Ao longo desses quatro anos me auxiliaram nas avaliações dos experimentos em Rondônia e cuidam de tudo para que esse sonho seja realizado.

BIOGRAFIA

Raquel Schmidt, nascida em Alta Floresta D'Oeste, Estado de Rondônia, em 15 de fevereiro de 1990, filha de Ademar Schmidt e Vilma Nedes Dubberstein Schmidt. Coursou os estudos fundamentais na escola estadual Juscelino Kubitschek e na municipal Pedro Aleixo na zonal rural do município de Alta Floresta D'Oeste - Rondônia. Em 2008 ingressou na Universidade Federal de Rondônia, campus de Rolim de Moura, para cursar agronomia e em 2013 se tornou bacharel em agronomia, no mesmo ano, ingressou na turma de 2013 do mestrado em agronomia/produção vegetal da Universidade Federal do Acre, obtendo título de mestra em 2015. Em 2018 retornou a Universidade para iniciar o Doutorado, dessa vez na Universidade Federal do Espírito Santo, em Alegre – ES. A área de pesquisa escolhida foi melhoramento de plantas, na qual se encontra para a defesa da tese.

Sumário

RESUMO GERAL	7
OVERVIEW	9
INTRODUÇÃO GERAL	11
REFERÊNCIAS	13
CAPÍTULO 1	16
DIVERSIDADE GENÉTICA NO SISTEMA RADICULAR DE GENÓTIPOS DE <i>Coffea canephora</i>	16
1. INTRODUÇÃO	17
2. MATERIAIS E MÉTODOS	19
2.1 - Instalação do experimento, caracterização da área e materiais genéticos	19
2.2 - Coletas das raízes, estudo da distribuição do sistema radicular e avaliação da parte aérea.....	20
2.3 - Análise estatística	21
3.1- Parâmetros e diversidade genética.....	25
3.2- Análise de grupos	26
3.3- Correlação entre as características das raízes e as características da parte aérea das plantas.....	29
4. DISCUSSÃO	30
4.2- Análise de grupos	32
4.3- Correlação entre as características das raízes e as características da planta.....	33
5. CONCLUSÕES	33
6. REFERÊNCIAS	34
CAPÍTULO 2	39
ACÚMULO DE NUTRIENTES E A RELAÇÃO ENTRE FRUTO, PALHA E GRÃOS DE GENÓTIPOS DE <i>Coffea canephora</i> CULTIVADO NA AMAZÔNIA	39
2. MATERIAIS E MÉTODOS	41
2.1- Instalação do experimento, caracterização da área e materiais genéticos	41
2.2.1- Coleta de frutos.....	43
2.2.2- Relação grão e palha.....	43
2.3- Análise estatística	43
3. RESULTADOS	44
3.1- Parâmetros e diversidade genética.....	44
3.2- Agrupamentos de genótipos e contribuição genética	45
3.3- Acúmulo de nutrientes em fruto, grão e palha	46
3.4- Peso de fruto e relação de palha e grão	49

3.5- Correlação entre os acúmulos de nutrientes no fruto e a relação de palha e grãos.....	50
4. DISCUSSÃO.....	53
4.1- Parâmetros e diversidade genética.....	53
4.2- Agrupamentos de genótipos e contribuição genética	53
4.3- Acúmulo de nutrientes no fruto, grão e palha	54
4.4- Peso de fruto e relação de palha e grãos.....	55
4.5 - Correlação entre os acúmulos de nutrientes no fruto e relação de palha e grãos	56
5. CONCLUSÕES.....	56
6. REFERÊNCIAS.....	57
CAPÍTULO 3	61
GENETIC DIVERSITY BASED ON NUTRIENT CONCENTRATIONS IN DIFFERENT ORGANS OF ROBUSTA COFFEE.....	61
1. INTRODUCTION	61
2. MATERIALS AND METHODS	62
2.2- Flower, Fruit, and Leaf Collection.....	63
2.3- Statistical Analysis	63
3. RESULTS	64
3.2- Groupings of Genotypes and Genetic Contribution.....	65
3.3- Nutrient Concentration in Flowers, Grain and Husk	66
3.4- Nutrient Concentrations in Coffee Leaves in Two Sampling Periods	68
3.5- Correlation between Nutrient Concentrations of Flowers, Grain, Husk, and Leaves during Pre-Flowering and during Grain-Filling	72
4. DISCUSSION	74
4.1-Parameters and Genetic Diversity	74
4.2- Genotype Clustering and Genetic Contribution.....	74
4.3- Nutrient Concentration in Flowers, Grain and Husk	75
4.4- Nutrient Concentrations in Coffee Leaves in Two Sampling Periods	75
4.5- Correlation between the Nutritional Concentrations of Flowers, Grain and Husk, and Leaves during Pre-Flowering and Grain-Filling	76
5. CONCLUSIONS	76
6. REFERENCES.....	77
CAPÍTULO 4	80
GENETIC DIVERSITY OF <i>Coffea canephora</i> CV. CONILON GENOTYPES REGARDING THEIR ROOT SYSTEM SIZE AND DISTRIBUTION.....	80
1. INTRODUCTION	81

2. MATERIALS AND METHODS	81
2.1- Plant Material and Experimental Design	81
2.2- Root Traits	82
2.3- Statistical Analyses	83
3. RESULTS	83
4. DISCUSSION	88
5. CONCLUSIONS	89
6. REFERENCE	89

RESUMO GERAL

Esta tese é composta por quatro capítulos de estudos da diversidade genética de genótipos de robustas e conilons cultivados em Rondônia e no Espírito Santo. Os Capítulos 1, 2 e 3 tem como objetivo estudar o sistema radicular, aspectos nutricionais de folhas em duas épocas de amostragens, flores, frutos, grãos e palha, identificar o acúmulo de nutrientes em palha, grãos e frutos e identificar o peso dos frutos secos e a relação palha/grãos de cada indivíduo em um grupo de 16 genótipos de *Coffea Canephora* cultivados em Rondônia. No Capítulo 1, Foi coletado o volume de 27 cm³ de solo e raízes a cada 10 cm separadamente até os 60 cm de profundidade e retirado a uma distância padrão de 30 cm do caule da planta na linha de plantio. As raízes foram coletadas, lavadas, digitalizadas e processadas no programa Safira, quantificou-se volume de raiz por volume de solo, área superficial, diâmetro e comprimento das raízes. Em seguida foram agrupados pelo método hierárquico UPGMA e Toucher. As características da parte aérea da planta foram avaliadas e correlacionadas com as características das raízes. O sistema radicular dos 16 genótipos concentrou-se principalmente na camada 0 – 30 cm do solo, compreendendo em 80% do volume das raízes. Foram observadas correlações positivas entre as características do sistema radicular. O sistema radicular dos 16 genótipos avaliados se concentraram principalmente na camada 0 – 30 cm do solo, compreendendo em 80% do volume das raízes. No entanto, nove genótipos podem ser considerados promissores para o melhoramento genético visando a tolerância ao déficit hídrico, por apresentarem maiores volumes de raízes nas camadas mais profundas do solo, agruparam-se em um grupo pela análise de diversidade. No Capítulo 2 pretendeu-se quantificar o acúmulo de nutrientes em grão e palha, bem como indicar a dissimilaridade entre 16 genótipos de *Coffea canephora* cultivado na Amazônia brasileira podendo auxiliar na recomendação de adubação. A coleta de frutos foi realizada maio a junho de 2020. Para o acúmulo de nutrientes coletou-se amostras de 2 litros frescos e secados a pleno sol, foi realizado o beneficiamento, separado os grãos, as palhas e submetido as análises químicas. Para a relação grãos e palha foram coletados total de 60 frutos de cada genótipo para o beneficiamento, foram submetidos a análise de variância, teste de Scott-Knott para comparação de médias. Para o estudo da diversidade genética, a dissimilaridade da matriz de distância generalizada de Mahalanobis (D^2) e realizou-se o agrupamento pelo método hierárquico UPGMA, método de Tocher e a importância relativa dos acúmulos de nutrientes, porcentagem de grão/palha para predição de diversidade genética de acordo com Singh. O genótipo ZD156 foi o que mais acumulou K no grão. Os genótipos dividiram-se em quatro grupos, com o AS10 permanecendo isolado. LB080 obteve o menor peso de fruto seco e a menor porcentagem de grãos em relação a palha. O grupo de genótipos AS4, AS10, VP06, A106, AS7 possuem porcentagens de grãos em relação a palha similares. Os nutrientes N, K, Ca e P são acumulados em maior quantidade, havendo necessidade de calibrar as dosagens de adubação mineral e os parcelamentos. No Capítulo 3 o objetivo deste trabalho foi avaliar as concentrações de nutrientes nas flores, folhas (pré-florescimento e enchimento de grãos), grãos e casca de genótipos de café Robusta cultivados na região amazônica, bem como identificar sua diversidade genética. As concentrações de nutrientes dos diferentes órgãos avaliados foram submetidas à análise de variância pelo teste F ($p < 0,01$) e os parâmetros genéticos foram estimados. Para determinar a diversidade genética, os genótipos foram agrupados pelo método hierárquico UPGMA e para predizê-la, foi analisada a importância relativa dos caracteres. As concentrações médias de nutrientes nos dois períodos de amostragem foliar

superaram os padrões relatados na literatura. Para um diagnóstico nutricional, é importante levar em consideração comparações da diversidade genética e períodos de avaliação. O Capítulo 4 é um estudo sistemático do sistema radicular de seis genótipos após cinco safra consecutivas sem interferência de poda programada de ciclo. objetivo avaliar a variabilidade na distribuição do sistema radicular entre genótipos de *C. canephora* cv. Conilon e indicam estratégias de manejo para uma adubação mineral mais eficientes. No total, foram avaliadas 1296 amostras de raízes. As raízes foram lavadas, digitalizadas e processadas para quantificar a densidade de comprimento, volume, área superficial e diâmetro. A distribuição do sistema radicular foi caracterizada por semivariogramas. Houve variação na distribuição do sistema radicular entre os genótipos. Em geral, o sistema radicular concentra-se a uma profundidade de 0 a 20 cm no solo, em distâncias de até 50 cm na linha de plantio e até 60 cm nas entrelinhas. Portanto, a maior eficiência no manejo nutricional pode ser alcançada com a aplicação de fertilizantes em um raio de 50 cm ao redor da planta.

Palavras-chave: melhoramento de plantas, diversidade genética, café robusta.

OVERVIEW

This thesis is composed of four chapters of studies on the genetic diversity of robusta and conilon genotypes cultivated in Rondônia and Espírito Santo. Chapters 1, 2 and 3 aim to study the root system, nutritional aspects of leaves at two sampling times, flowers, fruits, grains and straw, identify the accumulation of nutrients in straw, grains and fruits and identify the fruit weight and the straw/grain ratio of each individual in a group of 16 genotypes of *Coffea Canephora* cultivated in Rondônia. In Chapter 1, the volume of 27 cm³ of soil and roots was collected every 10 cm separately up to 60 cm in depth and removed at a standard distance of 30 cm from the plant stem in the planting row. The roots were collected, washed, digitized and processed in the program Sapphire, quantifying root volume by soil volume, surface area, diameter and length of the roots. Then they were grouped by the hierarchical method UPGMA and Toucher. The characteristics of the aerial part of the plant were evaluated and correlated with the characteristics of the roots. The root system of the 16 genotypes was mainly concentrated in the layer 0 – 30 cm of the soil, comprising 80% of the root volume. Positive correlations were observed between the characteristics of the root system. The root system of the 16 evaluated genotypes was mainly concentrated in the 0 – 30 cm layer of the soil, comprising 80% of the root volume. However, nine genotypes can be considered promising for genetic improvement aiming at tolerance to water deficit, because they present larger volumes of roots in the deeper layers of the soil, they were grouped in a group by the diversity analysis. In Chapter 2, it was intended to quantify the accumulation of nutrients in grain and straw, as well as to indicate the dissimilarity between 16 genotypes of *Coffea canephora* cultivated in the Brazilian Amazon, which may help in the recommendation of fertilization. Fruit collection was carried out from May to June 2020. For the accumulation of nutrients, fresh 2-liter samples were collected and dried in full sun, processing was carried out, grains and straws were separated and subjected to chemical analysis. For the relationship between grains and straw, a total of 60 fruits of each genotype were collected for processing, they were subjected to analysis of variance, Scott-Knott test for comparison of means. For the study of genetic diversity, the dissimilarity of the generalized distance matrix of Mahalanobis (D₂) and the grouping by the hierarchical method UPGMA, the Tocher method and the relative importance of the accumulation of nutrients, percentage of grain/straw for prediction of genetic diversity according to Singh. The ZD156 genotype was the one that accumulated the most K in the grain. The genotypes were divided into four groups, with AS10 remaining isolated. LB080 had the lowest dry fruit weight and the lowest percentage of grains in relation to straw. The group of genotypes AS4, AS10, VP06, A106, AS7 have similar percentages of grains in relation to straw. Nutrients N, K, Ca and P are accumulated in greater amounts, making it necessary to calibrate the doses of mineral fertilization and the installments. In Chapter 3, the objective of this work was to evaluate nutrient concentrations in flowers, leaves (pre-flowering and grain filling), beans and husks of Robusta coffee genotypes grown in the Amazon region, as well as to identify their genetic diversity. The nutrient concentrations of the different organs evaluated were submitted to analysis of variance by the F test ($p < 0.01$) and the genetic parameters were estimated. To determine the genetic diversity, the genotypes were grouped using the UPGMA hierarchical method and to predict it, the relative importance of the characters was analyzed. The average nutrient concentrations in the two leaf sampling periods exceeded the standards reported in the literature. For a nutritional diagnosis, it is important to consider genetic diversity comparisons and evaluation periods. Chapter 4 is a systematic study of the root system of six genotypes after five consecutive seasons without interference from programmed cycle pruning. objective to evaluate the variability in the

distribution of the root system among genotypes of *C. canephora* cv. Conilon and indicate management strategies for more efficient mineral fertilization. In total, 1296 root samples were evaluated. The roots were washed, digitized and processed to quantify the density of length, volume, surface area and diameter. The distribution of the root system was characterized by semivariograms. There was variation in the distribution of the root system among the genotypes. In general, the root system is concentrated at a depth of 0 to 20 cm in the soil, at distances of up to 50 cm in the planting row and up to 60 cm between the rows. Therefore, the greatest efficiency in nutritional management can be achieved by applying fertilizers within a radius of 50 cm around the plant.

Keywords: plant breeding, genetic diversity, robusta coffee.

INTRODUÇÃO GERAL

O gênero *Coffea* totaliza 124 espécies, incluindo a *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, que são diploides $2n = 22$ cromossomos e uma poliploide $2n = 44$ cromossomos – *Coffea arabia* L. (DAVIS et al., 2011; ADRIANASOLO et al., 2013). Essas espécies estão subdivididas em quatro seções *Paracoffea*, *Argocoffea*, *Mascarocoffea* e *Eucoffea* sendo que a seção *Eucoffea* detém cinco subseções onde se enquadram as duas espécies de maior relevância econômica: *C. arabica* e *C. canephora* (ADRIANASOLO et al., 2013; DAVIS et al., 2011).

O Brasil é o maior produtor e exportador de café, a estimativa de safra é 53,43 milhões de sacas entre as espécies *C. arabica* e *C. canephora* (CONAB, 2022). Desse montante 17,7 milhões sacas de café beneficiado advém da espécie *C. canephora*. No Espírito Santo produz as duas espécies, café Conilon e café Arabica cultiva-se 402 mil hectares e cerca de 16,5 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado. Em Rondônia por sua vez, predomina-se o cultivo da espécie *C. canephora* em cerca de 65 mil hectares, a produção estimada em 2022 será de 2,6 milhões de sacas (CONAB, 2022).

A espécie *C. canephora* é nativa das florestas baixas da África equatorial (ADRIANASOLO et al., 2013). Está presente em dois grupos geograficamente distintos através de seus fenótipos e formas de adaptação genotípicas. São eles os grupos guineano e o congolês. Em 1990 o grupo congolês foi dividido em dois subgrupos. No subgrupo SG1 estão presentes as plantas com características da variedade Conilon (derivado da designação original: 'Kouillou') e no subgrupo SG2 as plantas com características da variedade Robusta (ALVES et al., 2017).

A variedade Conilon é caracterizada por plantas multicaule de porte baixo, folhas menores e graos abaixo da peneiras 15, por sua vez é uma planta resistente a estresse hídrico e susceptível a nematóide (*melodogyne spp*) e ferrugem (*Hemileia vastatrix*), a variedade robusta, no entanto, são plantas multicaules de porte elevado, ereto, folhas maiores e de verde escuro intenso, frutos grandes e de melhor qualidade em comparação ao conilon (FERRÃO et al., 2017; SILVA et al., 2017; GILES et al., 2019; PARTELLI et al., 2021). Contudo, a observação destas características em campo e através de análises laboratoriais estão sendo cada vez mais úteis para distinguir a fisiologia, os efeitos genotípicos e ambientais nas plantas (SILVA et al., 2017; MARTINS et al., 2019).

O cafeeiro Robusta é uma planta alógama e com sistema de autoincompatibilidade do tipo gametofítica, monogênica controlada pelo alelo S (CONAGIN; MENDES, 1961;

ASQUINI et al., 2011; MORAES et al., 2019). Estes mecanismos de reprodução são responsáveis por aumentar a heterogeneidade da espécie podendo gerar infinitas possibilidades de combinações entre os dois subgrupos. (MARTINS et al., 2019; STARLING et al., 2019). Nos programas de melhoramento a ampliação do conhecimento da base genética selvagem é fundamental para o desenvolvimento de novas cultivares mais produtivas e tolerantes a factores ambientais limitantes (ADRIANASOLO et al., 2013; DAVIS et al., 2019).

Avaliações em campo para novos genótipos ocorrem, principalmente, nas duas espécies comercialmente exploradas (*C. arabica* e *C. canephora*). Neste sentido novos genótipos são indispensáveis para incrementar aos ensaios de pré - melhoramento (SCHMILDT et al., 2018). Entre as características mais utilizadas e, portanto, de maior relevância, estão a arquitetura de planta, aspectos morfo-anatômicos foliares, capacidade produtiva, distribuição e dimensão do sistema radicular, capacidade produtiva da planta (GUEDES et al., 2013; ESPINDULA et al., 2018; GILES et al., 2019).

Na cafeicultura, assim como em outras culturas altamente rentáveis à demanda por genótipos superiores e com capacidade de produção elevada (SANTOS et al., 2021, SENRA et al., 2020). Em geral, genótipos com perfil produtivo são altamente exigentes em nutrientes, água e a dinâmica de absorção e acúmulo de nutrientes está diretamente relacionada a diversidade genética (COVRE et al., 2016; SILVA et al., 2020; SANTOS et al., 2021). Nutrientes como N, Ca, K são altamente exigidos pelo cafeeiro, enquanto que P, Mg e S, embora menos requeridos são também considerados essenciais, já que a planta necessita de todos eles para suas funções metabólicas e produtivas (MARTINS et al., 2020; KOLLN et al., 2022).

A dinâmica de absorção de nutrientes pode ser influenciada pela distribuição do sistema radicular, no cafeeiro há distintas características entre as espécies *C. canephora* e *C. arabica* e pelo tipo de propagação (sexuada ou assexuada) da planta (PARTELLI et al., 2021; SILVA 2020). Assim, apesar de ser um processo demorado e oneroso, a caracterização do sistema radicular através do uso de ferramentas tecnológicas como mensuração por imagem de amostras de raízes tem sido empregado para otimização da distribuição do sistema radicular (VOSS-FELS et al., 2018; PARTELLI et al., 2014).

Neste contexto, o objetivo de trabalho conhecer o comportamento sistema radicular de 16 genótipos de *C. canephora* região da zona da mata rondoniense. Detalhar a concentração e acúmulo de nutrientes em diferentes órgãos do cafeeiro robusta. Caracterizar a capacidade produtiva através do volume de palha e grão de genótipos

superiores na região da zona da mata rondoniense para seleção de genótipos da zona da mata rondoniense. Complementarmente, outra linha de pesquisa pretende avaliar a distribuição do sistema radicular de genótipos superiores agrupando-os através de dissimilaridade de genótipos adaptados no norte do Espírito Santo.

REFERÊNCIAS

ADRIANASOLO, D. N.; DAVIS, A. P.; RAZAFINARIVO, N. J.; HAMON, S.; RAKOTOMALALA, J. J.; SABATIER, S. A.; HAMON PERLA. High genetic diversity of *in situ* and *ex situ* populations of Madagascan coffee species: further implications for the management of coffee genetic resources. **Tree Genetics & Genomes**. V. 9, n. 5, p. 1295–1312, 2013. DOI: 10.1007/s11295-013-0638-4.

ALVES, G. S. C.; TORRES, L. F.; DÉCHAMP, E.; BREITLER, J.C.; JOËT, T.; GATINEAU, F.; ANDRADE, A. C.; BENOÎT BERTRAND, B.; PIERRE MARRACCINI, P.; ETIENNE, H. Differential fine-tuning of gene expression regulation in coffee leaves by CcDREB1D promoter haplotypes under water deficit. **Journal of Experimental Botany**, v.68, n.11, p. 3017–3031, 2017. DOI: 10.1093/jxb/erx166.

ASQUINI, E.; GERDOL M.; D. GASPERINI. D.; IGIC, B.; GRAZIOSI, G.; PALLAVICINI, A. S-RNase-like Sequences in Styles of *Coffea* (Rubiaceae). Evidence for S-RNase Based Gametophytic Self-Incompatibility? **Tropical Plant Biologic**, v. 4, p. 237–249, 2011. DOI: 10.1007/s12042-011-9085-2.

CONAGIN, C.H.T.M.; MENDES, A.J.T. Pesquisas citológicas e genéticas em três espécies de *Coffea*. Auto-incompatibilidade em *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. **Bragantia**, v. 20, n. 1, p. 787-804, 1961.

COVRE, A.M.; PARTELLI, F.L.; GONTIJO, I.; ZUCOLOTO, M. Root system distribution of irrigated and nonirrigated conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 11, p.1006–1016, 2015. DOI:10.1590/S0100-204X2015001100003.

COVRE, A. M.; RODRIGUES, W. P.; VIEIRA, H. D.; BRAUN, H.; RAMALHO, J. C.; PARTELLI, F. L. Nutrient accumulation in bean and fruit from irrigated and non-irrigated *Coffea canephora* cv. Conilon. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 28, n.6, p. 402-409, 2016. DOI: 10.9755/ejfa.2016-04-341.

DAVIS, A. P.; TOSH, F. L. S. J.; RUCH, N.; FAY FLS, M. F. Growing *coffee*: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.167, n.4 p.357-377, 2011. DOI: 10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x.

DAVIS, A. P.; CHADBURN, E.; MOAT, J. SULLIVAN, R. O.; HARGREAVES, S.; LUGHADHA, E. N. High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability. **Science Advances**, v. 5, n. 1, eaav3473, 2019. DOI: 10.1126/sciadv.aav3473.

ESPINDULA, M. C.; PASSOS, A. M. A. ; ARAUJO, L. F. B. ; MARCOLAN, A. L.;

PARTELLI, F. L. ; RAMALHO, A. R. Indirect estimation of leaf area in genotypes of 'Conilon' coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner). **Australian Journal Crop Science**. V.12, n. 06 p. 990-994, 2018. DOI: 10.21475/ajcs.18.12.06.PNE1090.

FERRÃO, M. A. G., FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. DA; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S. Origem, Dispersão Geográfica, Taxonomia e Diversidade Genética de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; FERRÃO, M. A. G.; De MUNER, L. H. **Café Conilon**. ed. Atualizada e ampliada 2ª reimpressão - Vitória, ES : Incaper, 2017.

GILES, J. A. D.; AYOAMA, E. M.; RAMALHO, J. C.; PARTELLI, F. L. Divergence and genetic parameters between coffee sp. genotypes based in foliar morpho-anatomical traits. **Scientia Horticulturae**, v. 245, p. 231-236, 2019. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.09.038.

GUEDES, F. A. de F.; NOBRES, P.; FERREIRA, D. C. R.; MENEZES-SILVA, P. E.; RIBEIRO-ALVES, M.; CORREA, R.; DaMATTa, F. M.; ALVES-FERREIRA, M.; Transcriptional memory contributes to drought tolerance in coffee (*Coffea canephora*) plants. **Environmental and experimental botany**, v. 147, p. 220-233, 2018. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2017.12.004.

KOLLN, A. M.; ESPINDULA, C. E.; ARAÚJO, L. F. B DE; CAMPANHARO, M.; ROCHA, R. B.; LOURENÇO, J. L. R. Influence of nitrogen fertilization in mother plants on the growth and quality of clonal seedlings of *Coffea canephora* 'Robusta' plants. **Ciência Rural**, v.52, n.9, p. 1-13, 2022. DOI: 0.1590/0103-8478cr20201008.

MARTINS, M. Q.; PARTELLI, F. L. ; FERREIRA, A.; RAMALHO, J. C. Adaptability and stability of *Coffea canephora* genotypes cultivated at high altitude and subjected to low temperature during the winter. **Scientia Horticulturae**. V.252, p.238–242, 2019. DOI:10.1016/j.scienta.2019.03.044.

MARTINS, M. Q.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, A. BERNARDES, C. DE O.; GOLYNSKI, A.; VIEIRA, H. D.; FREITAS, M. S. M.; RAMALHO, J. C. Genetic variability on nutrient contents in *Coffea canephora* genotypes cultivated at 850 meters of altitude in two crop seasons. **Funcional Plant Breeding Journal**, v.1, n.1 p. 1- 12, 2019. DOI: 10.35418/2526-4117/v1n1a6.

MORAES, M. S.; TEIXEIRA, A. L.; RAMALHO A. R.; ESPÍNDULA, M. C.; FERRÃO, M. A. G.; ROCHA, R. B. Characterization of gametophytic self-incompatibility of superior clones of *Coffea canephora*. **Genetics and Molecular Research** V.17, n. 1. p. 1 -11, 2019. DOI: 10.4238/gmr16039876.

PARTELLI, F.L.; COVRE, A.M.; OLIVEIRA, M.G.; ALEXANDRE, R.S.; VITÓRIA, E.L. da; SILVA, M.B da. Root system distribution and yield of "Conilon" coffee propagated by seeds or cuttings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v 49, n.5, p.349–355, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000500004.

PARTELLI, F. L.; CAVALCANTI, A. C. C.; MENEGARDO, C.; COVRE, A. M.; GONTIJO, I.; BRAUN, H. Spatial distribution of the root system of Conilon and Arabica coffee plants. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.55, p. 1-9, 2020. DOI: 10.1590/

S1678-3921.

RAMALHO, A.R.; ROCHA, R.B.; SOUZA, F.F.; VENEZIANO, W.; TEIXEIRA, A.L. Genetic gain in the productivity of processed coffee from the selection of clones of 'Conilon' coffee. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n.3, p.516-523, 2016. DOI: 10.5935/1806-6690.20160062.

SANTOS, M. M. dos; SILVA, C. A. da; OZA, E. F.; GONTIJO, I.; AMARAL, J. D. T.; PARTELLI, F. L. Concentration of Nutrients in Leaves, Flowers, and Fruits of Genotypes of *Coffea canephora*. **Plants**, v.10 n.12, p. 2661, 2021. DOI: 10.3390/plants10122661.

SENRA, J. F. de B.; FERRÃO, M. A. G.; MENDONÇA, R. F de; FONSECA, A. F. A da; FERRÃO, R. G.; VOLPI, P. S.; VERDIN FILHO, A. C.; COMÉRIO, M.; SILVA, M. W. da. Genetic Variability of Access of the Active Germplasm Bank of *Coffea canephora* of Incaper in Southern Espírito Santo. **Journal Genetic Resources**, v.6, n.2, p. 172-184 2020. DOI: 10.22080/jgr.2020.19162.1194.

SCHMILDT, O.; SANTANA, E. N. DE; OLIVEIRA, V. DE S.; GOUVEA, R. R.; SOUZA, L. C.; SANTOS, A. N. M. R.; SILVA, S. M.; SANTOS, K. T. H. DOS; SANTOS, G. P.; FANTON, C. J.; ARANTES, S. D.; SCHMILDT, E. R. Estimation of Leaf Area by Linear Dimensions in *Coffea dewevrei* **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 28, n. 6, p. 1-8, 2019. DOI: 10.9734/IJPSS/2019/v28i630129.

SILVA, V. A.; MACHADO J. L.; REZENDE, J. C. de; OLIVEIRA, A. L. de; FIGUEIREDO, U. J. de; CARVALHO, G. R.; FERRÃO, A. G.; GUIMARÃES, R. J. Adaptability, stability, and genetic divergence of conilon coffee in Alto Suaçuí, Minas Gerais, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17 p25-31, 2017. DOI: 10.1590/1984-70332017v17n1a4

SILVA, M. B. DA; PARTELLI, F. L.; GONTIJO, I.; CALDAS, M. M. Nutritional balance and its relationship to yield in a coffee field: Inferences from geospatial analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, n.12, p.834-839, 2020. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n12p834-839.

SILVA, L. O. E. S.; SCHMIDT, R.; VALANI, G. P.; FERREIRA, A.; RIBEIRO-BARROS, A. I.; PARTELLI, F. L.; Root Trait Variability in *Coffea canephora* Genotypes and Its Relation to Plant Height and Crop Yield. **Agronomy**, v 10, 2020. DOI:10.3390/agronomy10091394.

STARLING, L.C.T.; MARTINS, L.D.; RODRIGUES, W.N.; REINICKE, T.M.; COLODETTI, T.V.; AMARAL, J. F. T. DO; PARTELLI, F. L.; TOMAZ, M.A.; ESPINDULA, M. C. Genetic diversity in nutritional parameters in response to drought of *Coffea canephora* cultivated in Rondonia state, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v.18, n. 2, p. 1-12, 2019. DOI: 10.4238/gmr18300.

VOSS-FELS, K. P.; SNOWDON, R. J.; HICKEY, L. T. Designer Roots for Future Crops. **Trends in Plant Science**, v. 23, 2018. DOI:10.1016/j.tplants.2018.08.004.

CAPÍTULO 1

DIVERSIDADE GENÉTICA NO SISTEMA RADICULAR DE GENÓTIPOS DE *Coffea canephora*

Resumo - O objetivo deste trabalho foi estudar o sistema radicular no perfil de solo de 16 genótipos de café robusta cultivados na Amazônia brasileira e estimar os parâmetros genéticos. As avaliações ocorreram em Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brasil. Foi coletado separadamente o volume de 27 cm³ de solo e raízes a cada 10 cm de profundidade até os 60 cm, e retirado a uma distância padrão de 30 cm do caule da planta na linha de plantio de 16 genótipos de café robusta. As raízes obtidas foram lavadas, digitalizadas e processadas no programa Safira, tendo-se quantificado o volume de raiz por volume de solo, área superficial, diâmetro e comprimento das raízes. Em seguida foram agrupados pelo método hierárquico UPGMA e Toucher. As características da parte aérea da planta foram avaliadas e correlacionadas com as características das raízes. O sistema radicular dos 16 genótipos concentrou-se principalmente na camada 0 – 30 cm do solo, compreendendo em 80% do volume das raízes. O genótipo LB015 apresentou maior volume de raiz nas camadas até 30-40 cm. Os maiores volumes apresentados na camada de 50-60 cm foram dos genótipos AS10 e AS4 com os valores 36.24 e 55.13 (mm³ cm⁻³), respectivamente. Os índices de herdabilidade (h²) obtiveram valores próximos de 100%. Através das análises de UPGMA e Toucher foi possível agrupar os genótipos em quatro grupos, sendo que LB015 permaneceu isolado (grupo IV). Foram observadas correlações positivas entre as características do sistema radicular. O sistema radicular dos 16 genótipos avaliados se concentraram principalmente na camada 0 – 30 cm do solo, compreendendo em 80% do volume das raízes. No entanto, nove genótipos podem ser considerados promissores para o melhoramento genético visando a tolerância ao déficit hídrico, por apresentarem maiores volumes de raízes nas camadas mais profundas do solo, tendo ficado agrupados num grupo separado da análise de diversidade.

Palavras-chaves: *Coffea canephora*, raízes, melhoramento genético, agrupamentos.

GENETIC DIVERSITY IN THE GENOTYPE ROOT SYSTEM FROM *Coffea canephora*

Abstract - The objective of this work was to study the root system in the soil profile of 16 robusta coffee genotypes cultivated in the Brazilian Amazon and to estimate the genetic parameters. The evaluations took place in Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brazil. A volume of 27 cm³ of soil and roots was collected separately at every 10 cm depth up to 60 cm, and removed at a standard distance of 30 cm from the plant stem in the planting row of 16 robusta coffee genotypes. The roots obtained were washed, digitized and processed in the Sapphire program, and the root volume per soil volume, surface area, diameter and length of the roots were quantified. Then they were grouped by the hierarchical method UPGMA and Toucher. The characteristics of the aerial part of the plant were evaluated and correlated with the characteristics of the roots. The root system of the 16 genotypes was mainly concentrated in the layer 0 – 30 cm of the soil, comprising 80% of the root volume. The LB015 genotype showed greater root volume in the layers up to 30-40 cm. The largest volumes presented in the 50-60 cm layer were from the AS10 and AS4 genotypes with values 36.24 and 55.13 (mm³ cm⁻³), respectively. The heritability indexes (h²) obtained values close to 100%. Through UPGMA and Toucher analysis, it was possible to group the genotypes into four groups, with LB015 remaining isolated (group IV). Positive correlations were observed between the characteristics of

the root system. The root system of the 16 evaluated genotypes was mainly concentrated in the 0 – 30 cm layer of the soil, comprising 80% of the root volume. However, nine genotypes can be considered promising for genetic improvement aiming at tolerance to water deficit, as they present greater volumes of roots in the deeper layers of the soil, having been grouped in a separate group of the diversity analysis.

Index terms: *Coffea canephora*, roots, genetic improvement, grouping.

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Coffea canephora* é alógama com incompatibilidade genética do tipo gametofítica, o que promove um alto grau de heterogeneidade dentro das lavouras de origem seminal (DAVIS et al., 2011; MORAES et al., 2019). Dessa forma, a seleção de genótipos superiores dentro de lavouras ou bancos de acessos é um importante processo no melhoramento genético e para evolução da cafeicultura (CONAGIN; MENDES, 1961; OLIVEIRA et al., 2018).

C. canephora possui grupos botânicos distintos. Um dos grupos, o congolês, é dividido nos subgrupos SG1 (Conilon) e SG2 (Robusta) (MONTAGNON et al., 2012; RAMALHO et al., 2016). As plantas do subgrupo SG1, que contém a variedade Conilon, apresentam crescimento arbustivo pequeno a médio, floração precoce, folhas alongadas, resistência à seca e maior suscetibilidade a doenças. Já as plantas do subgrupo SG2, que contém a variedade Robusta, apresenta porte arbustivo grande, folhas e frutos maiores, maturação tardia, menor tolerância ao déficit hídrico e maior resistência a doenças (MONTAGNON et al., 2012; SENRA et al., 2020).

No Brasil as áreas plantadas de *C. canephora* encontram-se em expansão e renovação, sendo os estados Espírito Santo, Rondônia e Bahia os principais produtores desta espécie (CONAB, 2021). Em Rondônia os principais genótipos cultivados no parque cafeeiro são oriundos de seleção empírica de produtores, com os genótipos GJ03, GJ08, GJ25 a estarem presentes em mais de 80% das propriedades cafeeiras (DALAZEN et al., 2019). Esses materiais são considerados híbridos obtidos de cruzamentos naturais das lavouras seminais trazidos de várias regiões do Brasil a partir de 1980 (DALAZEN et al., 2020). Ao longo dos anos vários novos genótipos vêm surgindo no mercado, havendo necessidade de uma avaliação mais criteriosa da diversidade genética e capacidade produtiva das várias cultivares de *C. canephora* (VIEIRA et al., 2019; TEIXEIRA et al., 2020).

Plantas cafeeiras de Conilon possuem características que suportam o período de estiagem e aumentos graduais de temperaturas tornando-se objetos de estudo no

melhoramento genético para condições climáticas futuras, particularmente de aumento de temperatura e limitação de disponibilidade hídrica. Contudo, tais trabalhos focam em especial a resiliência ao nível do metabolismo foliar, nomeadamente do desempenho fotossintético e mecanismos de proteção (DUBBERSTEIN et al., 2020a; SEMEDO et al., 2021). Entre as estruturas das plantas, o sistema radicular exerce papel fundamental na tolerância ao déficit hídrico (COVRE et al., 2015; SILVA et al., 2020). A emissão das raízes pode ser influenciada pelo sistema de irrigação e o manejo de adubação adotado. Assim, métodos de irrigação localizada e fertirrigação atuam diretamente na qualidade e desenvolvimento das raízes (RONCHI et al., 2015; VICENTE et al., 2017; SOUZA et al., 2018).

A dinâmica da distribuição do sistema radicular das plantas está ainda insuficientemente caracterizada (VOSS-FELS et al. 2018). Estudos relacionados sobre rendimentos das culturas agrícolas são realizados a partir da parte aérea das plantas (DUBBERSTEIN et al., 2020b; PARTELLI et al., 2021). Principalmente, quando se trata de culturas perenes como o café, onde o acesso ao sistema radicular, de modo a preservar a planta, é limitado (PARTELLI et al., 2014).

Além das intempéries ambientais, características inerentes à genética da planta também interferem no desenvolvimento radicular que pode ser controlado por diversos genes que atuam na capacidade de emissão de raízes, tornando singular a resposta de cada indivíduo (PARTELLI et al., 2020; SILVA et al., 2020; TRACY et al., 2020). Consequentemente, compreender a dinâmica da distribuição do sistema radicular do café é uma tarefa desafiadora (COVRE et al., 2015; RONCHI et al., 2015; SILVA et al., 2020).

Atualmente, tecnologias têm sido utilizadas para avançar no conhecimento desse ambiente radicular imerso ao solo. Em culturas de ciclo curto, a fenotipagem e o uso de microcâmeras na profundidade do solo tem sido substancialmente utilizado. No entanto, essas técnicas dependem de materiais sofisticados e experiência com programas e equipamentos de interpretação de imagens (VOSS-FELS et al., 2018; TRACY et al., 2020). No Brasil, o uso de programas de interpretação de imagens de raízes tem sido empregado para mensurar e caracterizar o arranjo espacial das raízes ao longo do perfil do solo, gerando informações importantes para o melhoramento genético (PARTELLI et al., 2014; COVRE et al., 2015; SILVA et al., 2020). Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi estudar a distribuição do sistema radicular no perfil de solo, relativo a diversos genótipos de *C. canephora* do grupo Robusta, cultivados na Amazônia e estimar os parâmetros genéticos a eles associados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Instalação do experimento, caracterização da área e materiais genéticos

O experimento foi instalado em propriedade particular, localizado em Alta Floresta D'Oeste - Rondônia, Brasil. A latitude 12°08'51,86 S longitude 62°04'95,03" W e a 440 metros de altitude, com temperatura média anual de 26° C. A região possui clima tropical, caracterizado por duas épocas distintas: o período de estiagem entre os meses de junho a outubro considerado o verão amazônico e o período chuvoso entre os meses de novembro a maio considerado como inverno amazônico, classificado como Aw, de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). O solo da região é caracterizado como Latossolo vermelho eutrófico (SANTOS et al., 2018), cujas características químicas e físicas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características granulométricas e químicas de seis profundidades do solo em área cultivada com cafeeiro (*C. canephora*) irrigado, em Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brasil.

Frações granulométrica	Camadas do Solo (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Areia total (g kg ⁻¹)	172	180	180	174	174	198
Silte (g kg ⁻¹)	428	400	440	406	386	342
argila (g kg ⁻¹)	400	420	380	420	440	460
Atributos químicos	Camadas do Solo (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
P (mg kg ⁻¹)	3	11	5	3	2	14
K (mg kg ⁻¹)	44	87	72	60	48	13
S (mg kg ⁻¹)	5	10	7	7	4	8
Ca (cmol kg ⁻¹)	4,4	4,7	4,8	4,4	4,5	4,8
Mg (cmol kg ⁻¹)	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9
Al (cmol kg ⁻¹)	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,5
H + Al (cmol dm ⁻³)	3,1	4,2	3,6	3,3	3,3	5,0
pH-H ₂ O	5,8	5,3	5,6	5,8	5,9	5,5
MOS (dag kg ⁻¹)	2,1	2,5	2,5	2,1	2,4	3,1
Fe (mg kg ⁻¹)	111	80	99	96	92	78
Zn (mg kg ⁻¹)	1,2	9,9	1,7	1,8	1,5	8,8
Cu (mg kg ⁻¹)	2,4	2,8	2,8	2,8	2,4	4,7
Mn (mg kg ⁻¹)	184	208	196	207	168	287
B (mg kg ⁻¹)	0,25	0,58	0,62	0,83	0,51	0,71
Na (mg kg ⁻¹)	6,0	7,0	5,0	6,0	5,0	9,0
CTC (cmol kg ⁻¹)	8,34	9,95	9,31	8,58	8,64	11,07

H + Al: Acidez potencial no solo; MOS: matéria orgânica do solo; CTC: capacidade de troca catiônica.

A lavoura foi implantada em abril de 2018 no espaçamento de 3,30 m entre linhas

por 0,8 m entre plantas, o que equivale a uma densidade de 3,700 plantas ha⁻¹. Os genótipos de robusta estudados são oriundos de propagação clonal via estaquia e estão dispostos em linhas e cada linha representa um bloco.

As plantas foram conduzidas com duas hastes (aproximadamente 7 mil hastes ha⁻¹). Os tratos culturais foram conduzidos conforme as orientações técnicas para cultura, objetivando o manejo fitossanitário e nutricional da lavoura, sendo toda área irrigada por gotejamento. O delineamento utilizado foi blocos casualizados com quatro repetições, no esquema fatorial 6 x 16, considerando seis níveis de profundidade (10 em 10 cm até 60 cm de profundidade, Tab. 1), e dezesseis genótipos.

Os genótipos utilizados foram selecionados empiricamente pelos produtores e viveiristas de Rondônia, com base na capacidade produtiva da planta. A denominação dos genótipos trata-se da iniciais dos nomes dos produtores que os selecionaram juntamente com a numeração, a saber A106, AS2, GJ25, VP06, AS1, AS7, SN41, AS6, ZD156, AS10, AS4, L140, GJ08, LB080, LB015 e GJ03.

2.2 - Coletas das raízes, estudo da distribuição do sistema radicular e avaliação da parte área

As coletas dos monólitos de solo com raízes foram realizadas em fevereiro de 2020, ou seja, cerca de 22 meses após o transplante das plantas para o campo. Para a coleta utilizou-se um trado tipo sonda e foi coletado um volume de 27 cm³ de solo separadamente para cada uma das 6 camadas em estudo: 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60 cm. O solo foi retirado a uma distância padrão de 30 cm do caule da planta no sentido da linha de plantio, onde há maior concentração de raízes (COVRE et al., 2015; SILVA et al., 2020).

As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificados e mantidas em câmara fria, a aproximadamente -10°C até à lavagem sob água corrente, em peneira de 30 mesh, para separação das raízes. As raízes foram digitalizadas com câmera de celular tipo *smartphone* semiprofissional de 18 megapixels, e posteriormente, analisadas pelo programa Safira - Sistema de Análise de Fibras e Raízes (JORGE; SILVA, 2010). Pelo programa Safira quantificou-se o volume de raízes por volume de solo (mm³ cm⁻³), a área superficial (mm² cm⁻³), o diâmetro (mm) e o comprimento das raízes (mm cm⁻³).

Para as características relacionadas ao desenvolvimento vegetativo foram avaliados a altura de planta (cm) medindo-se desde a base até o topo, comprimento do

ramo plagiotrópico (cm) de ramos localizados no terço médio das plantas e diâmetro da copa (cm). Todas as características descritas anteriormente foram medidas com o auxílio de uma trena graduada. Também foi avaliado o número de rosetas e a capacidade produtiva em litros por planta. As características da parte aérea foram correlacionadas com as características das raízes (área superficial, comprimento de raiz, diâmetro de raiz, e volume de raiz por volume de solo).

2.3 - *Análise estatística*

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade de variância a fim de saber se os dados atendiam as pressuposições para análise de variância multivariada. Através dos testes de Shapiro Wilk e Bartlett ao nível de 5% de significância, foi possível constatar que os dados de volume, área superficial, diâmetro e comprimento das raízes atendiam as pressuposições exigidas para análise.

Realizou-se análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). Os seguintes parâmetros genéticos foram avaliados por meio dos componentes de variância de cada característica avaliada: coeficiente de variação genética (VCg), coeficiente de variação ambiental (VCe), índice de variação (VI) e herdabilidade (h^2). Após identificar diferenças significativas entre os genótipos, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott utilizando nível de significância de 5%.

Para agrupar os genótipos de café usando os dados das características avaliadas, foi calculada a distância de Mahalanobis e usada como medida de dissimilaridade. A análise de agrupamento foi então realizada por dois métodos, pelo método de otimização de Tocher (RAO, 1952) e pelo método hierárquico Unweighted Pair Group Method using Arithmetic Averages (UPGMA) (SOKAL; MICHENER, 1958). A contribuição relativa de cada característica para a diversidade dentro dos 16 genótipos foi analisada de acordo com o método de Singh (SINGH, 1981). Estas análises foram realizadas no software Genes (CRUZ, 2013). Além disso, a correlação de Pearson entre as características da raiz e a altura da planta e a produção dos genótipos foram calculadas. As análises de correlação foram conduzidas com auxílio do software R.

3. RESULTADOS

3.1- *Caracterização das raízes através dos genótipos e perfil do solo*

Por meio da análise de variância ($p < 0,05$) observou-se que houve diferença

significativa entre os 16 genótipos de *C. canephora* cv. Robusta para as características radiculares avaliadas e entre as seis profundidades. Também foi observado interações significativas entre os genótipos e as profundidades para todos as características avaliadas (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise de variância para as características radiculares de 16 genótipos de *C. canephora* cultivados em Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brasil.

Variáveis radiculares	Média	Quadrados Médios				CV%
		Genótipo	Prof	Gen x Prof	Resíduo	
Volume	101,17	17576,46**	369305,97**	1714,25**	222,51	14,74
Área Superficial	583,74	585100,70**	5442138,15**	46455,87**	607,33	7,99
Diâmetro	0,64	0,076**	0,80**	0,009**	0,00036	2,97
Comprimento	557,88	219919,21**	5028328,42**	26059,34**	1461,76	6,85

** Significativo a 5% pelo teste F; Profundidade (Prof), Interação Genótipo x Profundidade (Gen x Prof).

Os genótipos de café apresentaram respostas diferentes a cada camada de profundidade do solo e para todas as características radiculares avaliadas. De modo geral, todos os genótipos apresentaram maior volume de raiz nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade. A partir da camada de 30-40 cm, genótipos como GJ25, VP06, AS10 não apresentaram diferenças em suas médias nas camadas mais profundas (Tabela 3). De entre todos os genótipos, LB015 apresentou o maior volume de raiz por volume de solo nas camadas 0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm; 30-40 cm. Na camada de 0-10 cm os genótipos VP06, L140, GJ08, LB080, GJ03 apresentaram o segundo maior valor, enquanto SV41 e AS6 o menor valor. Os maiores volumes entre 50-60 cm foram registrados nos genótipos AS10 e AS4 (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores médios da característica volume radicular por volume de solo, em 16 genótipos *C. canephora* e entre seis profundidades, cultivados em Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brasil.

Genótipo	Volume (mm ³ cm ⁻³)					
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm
A106	196,36Da	118,33 Db	79,42 Dc	62,54 Dc	27,53 Dd	16,47 Bd
AS2	192,65 Da	89,61 Eb	46,64 Ec	39,04 Ec	27,23 Dc	21,77 Bc
GJ25	221,00 Ca	129,43 Db	57,02 Ec	32,99 Ed	23,76 Dd	15,45 Bd
VP06	259,41Ba	139,11 Db	92,53 Dc	37,74 Ed	26,94 Dd	15,18 Bd
AS1	190,35Da	133,25 Db	53,41 Ec	34,27 Ed	23,45 Dd	16,92 Bd
AS7	188,50 Da	127,13 Db	59,87 Ec	44,57 Ec	25,08 Dd	16,20 Bd
SV41	167,11 Ea	77,30 Eb	70,73 Eb	47,89 Ec	26,19 Dd	16,44 Bd
AS6	176,49 Ea	137,68 Db	88,18 Dc	63,19 Dd	30,22 De	16,30 Bd
ZD156	224,89 Ca	183,57 Bb	116,40 Cc	64,46 Dd	58,03 Bd	23,55 Be

AS10	214,02 Ca	164,78 Cb	113,52 Cc	63,55 Dd	49,05 Cd	36,24 Ad
AS4	217,86 Ca	163,49 Cb	139,63 Bc	118,74 Bd	90,88 Ae	55,13 Af
L140	263,79 Ba	199,24 Bb	140,25 Bc	84,07 Cd	39,06 Ce	24,30 Be
GJ08	255,12 Ba	166,45 Cb	104,54 Cc	87,17 Cc	38,58 Cd	19,70 Bd
LB80	268,95 Ba	169,19 Cb	115,73 Cc	72,41 Dd	47,24 Ce	24,28 Bf
LB015	296,40 Aa	255,65 Ab	199,57 Ac	151,80 Ad	78,68 Ae	22,89 Bf
GJ03	274,72 Ba	173,20 Cb	93,86 Dc	68,70 Dd	55,84 Bd	24,07Be

Diferentes letras maiúsculas na mesma coluna e diferentes letras minúsculas na mesma linha diferem estatisticamente entre si de acordo com o agrupamento de médias pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Tal como para o volume de raízes por volume de solo, a área superficial de raízes apresentou o maior valor na profundidade 0-10 cm em todos os genótipos, com o maior valor a ser observado nas plantas de GJ03. Na camada de 10-20 cm os genótipos AS10 e LB015 apresentaram maior área superficial, enquanto nas camadas entre 30 e 60 cm de profundidade o genótipo AS4 apresentou os maiores valores (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores médios da característica área superficial radicular em 16 genótipos de *C. canephora* entre seis profundidades cultivados em Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brasil.

Genótipo	Área Superficial (mm ² cm ⁻³)					
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm
A106	761,12 Fa	564,82 Gc	445,30 Fc	337,04 Ed	257,42 De	139,97 Df
AS2	836,03 Ea	644,72 Fb	249,59 Fc	241,42 Fc	169,04 Ed	189,03 Cd
JG25	777,78 Fa	414,98 Hb	337,79 Gc	320,10 Ec	264,07 Dc	144,18 Dd
VP06	727,57 Fa	460,81 Hb	424,35 Fb	335,02 Ec	190,22 Ed	193,08 Cd
AS1	727,21 Fa	643,85 Fb	522,64 Ec	425,04 Dd	167,78 Ee	151,51 De
AS7	844,94 Ea	610,15 Fb	546,31 Eb	421,79 Dc	267,38 Dd	143,76 De
SV41	841,98 Ea	752,61 Eb	720,03 Cb	611,73 Cc	265,42 Dd	166,94 De
AS6	925,89 Da	849,68 Db	638,96 Dc	612,81 Cc	245,53 Dd	226,44 Cd
ZD156	1173,14 Ba	950,50 Cb	573,37 Ec	463,88 Dd	324,22 Ce	228,67 Cf
AS10	1179,54Ba	1185,08 Aa	1072,81 Ab	651,50 Bc	361,22 Cd	249,37 Ce
AS4	1041,32 Ca	959,53 Cb	878,06 Bc	790,90 Ad	663,62 Ae	424,84 Af
L140	936,91 Da	774,58 Eb	645,66 Dc	557,24 Cd	300,79 Ce	170,12 Df
GJ08	1195,93 Ba	1011,41 Cb	709,14 Cc	658,95 Bc	443,08 Bd	137,00 De
LB80	1207,87 Ba	1115,73 Bb	842,38 Bc	657,97 Bd	451,98 Be	349,92 Bf
LB015	1077,79Ca	1096,64 Ba	869,66 Bb	666,67 Bc	479,54 Bd	172,70 De
GJ03	1355,25 Aa	1202,38 Ab	723,35 Cc	627,64 Bd	454,36 Be	219,25 Cf

Diferentes letras maiúsculas na mesma coluna e diferentes letras minúsculas na mesma linha diferem estatisticamente entre si de acordo com o agrupamento de médias pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Para a característica diâmetro das raízes observaram-se valores inferiores a 1 mm

em todas as profundidades e genótipos, assim como raízes esbranquiçadas. Os maiores diâmetros foram observados nas camadas mais superficiais do solo normalmente até 20 cm, considerada a camada fértil do solo. Os menores valores de diâmetro foram observados nas camadas mais profundas do solo e para os genótipos AS1, SV41, AS10, AS4, GJ03 (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios da característica diâmetro radicular em 16 genótipos *C. canephora* entre seis profundidades cultivados em Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brasil.

Genótipo	Diâmetro (mm)					
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm
A106	0,74 Ca	0,71 Ca	0,71 Bb	0,71 Bb	0,65 Bc	0,65 Ac
AS2	0,62 Da	0,59 Eb	0,52 Ec	0,47 Fd	0,44 Fe	0,44 De
GJ25	0,65 Da	0,56 Fa	0,55 Eb	0,53 Eb	0,51 Ec	0,45 Cd
V06	0,75 Ca	0,74 Bb	0,67 Cb	0,65 Cb	0,61 Cc	0,54 Bd
AS1	0,85 Aa	0,75 Bb	0,71 Bc	0,63 Cd	0,57 De	0,44 Df
AS7	0,73 Ca	0,74 Bb	0,66 Cb	0,64 Cb	0,54 Dc	0,45 Cd
SV41	0,83 Ba	0,75 Bb	0,67 Cc	0,64 Cd	0,53 De	0,46 Cf
AS6	0,73 Ca	0,66 Db	0,63 Dd	0,57 Dd	0,51 Ee	0,43 Df
ZD156	0,82 Ba	0,76 Bb	0,63 Dd	0,62 Cd	0,74 Ac	0,56 Be
AS10	0,87 Aa	0,83 Ab	0,73 Bc	0,64 Cd	0,52 Ee	0,47 Cf
AS4	0,81 Ba	0,73 Cb	0,64 Db	0,58 Dd	0,45 Fe	0,41 Df
L140	0,75 Ca	0,74 Ba	0,64 Db	0,63 Cb	0,51 Ec	0,44 Dd
GJ08	0,75 Ca	0,75 Ba	0,65 Db	0,61 Cc	0,56 Dd	0,46 Ce
LB80	0,86 Aa	0,71 Cb	0,65 Cc	0,54 Ed	0,52 Ed	0,44 De
LB015	0,87 Aa	0,82 Ab	0,80 Ab	0,74 Ac	0,65 Bd	0,53 Be
GJ03	0,84 Aa	0,77 Bb	0,65 Dc	0,54 Ed	0,51 Ee	0,44 Df

Diferentes letras maiúsculas na mesma coluna e diferentes letras minúsculas na mesma linha diferem estatisticamente entre si de acordo com o agrupamento de médias pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Para característica comprimento foram observados perfis similares a característica volume de raiz, onde os 16 genótipos mostraram maiores valores nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Os genótipos ZD156, AS10, GJ08, LB80 e LB015 apresentaram os maiores comprimentos de raízes na camada superficial do solo 0-10 cm. Para as camadas mais profundas os genótipos AS4 e GJ08 foram os genótipos que apresentaram as raízes mais compridas na camada mais profunda 50-60 cm (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores médios da característica comprimento radicular em 16 genótipos de *C. canephora* entre seis profundidades cultivados em Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brasil.

Comprimento (mm cm ³)	
-----------------------------------	--

Genótipo	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm
A106	852,19 Ca	660,00 Eb	545,30 Dc	263,41 Fd	273,05 Ed	157,92 Ce
AS2	991,27 Ba	840,73 Cb	622,14 Cc	413,78 Dd	173,17 Ge	159,76 Ce
GJ25	853,03 Ca	574,49 Fb	346,75 Fc	319,77 Ed	270,24 Ed	146,28 Ce
VP06	754,60 Da	562,26 Fb	439,17 Ec	336,77 Ed	283,83 Ed	227,09 Be
AS1	728,72 Da	634,52 Eb	538,93 Dc	420,98 Dd	192,08 Ge	144,51 Ce
AS7	877,20 Ca	415,58 Gc	492,83 Db	448,61 Dc	236,03 Fd	180,51 Ce
SV41	941,09 Ba	839,93 Cb	638,62 Cc	510,25 Cd	230,27 Fe	150,83 Cf
AS6	939,31 Ba	743,65 Db	678,19 Bc	510,89 Cd	341,30 De	242,62 Bf
ZD156	1055,40 Aa	940,20 Bb	638,14 Cc	547,19 Bd	265,13 Ee	189,49 Cf
AS10	1033,33 Aa	944,19 Bb	815,83 Ac	650,70 Ad	348,46 De	165,84 Cf
AS4	974,11 Ba	828,07 Cb	723,62 Bc	690,76 Ac	605,82 Ad	349,30 Ae
L140	966,12 Ba	819,06 Cb	658,49 Cc	488,09 Cd	413,09 Ce	158,94 Cf
GJ08	1093,51 Aa	866,59 Cb	700,44 Bc	575,95 Bd	531,82 Bd	335,86 Ae
LB80	1058,93 Aa	845,65 Cb	678,41 Bc	474,72 Cd	432,01 Cd	168,33 Ce
LB015	1071,28 Aa	1014,67 Ab	786,97 Ac	568,85 Bd	474,44 Ce	150,18 Cf
GJ03	962,42 Ba	836,51 Cb	710,60 Bc	381,78 Dd	271,35 Ee	151,99 Cf

Diferentes letras maiúsculas na mesma coluna e diferentes letras minúsculas na mesma linha diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

3.1- Parâmetros e diversidade genética

O coeficiente de variação genético (CVg) para as características volume e área superficial obtiveram os maiores valores 25,41 e 25,66 % respectivamente, enquanto a característica diâmetro das raízes se destaca com o menor valor (8,29%), enquanto o comprimento das raízes obteve um valor intermédio (16,10%). Os índices de variação IV ($IV = CVg / CVe$) apresentaram valores claramente acima de um, destacando-se a área superficial radicular (3,21) (Tabela 7).

Tabela 7 - Estimativa dos parâmetros genéticos e ambiental entre 16 genótipos de *C. canephora* cultivados em Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brasil.

Variáveis	Parâmetros Genéticos			
	CVe (%)	CVg (%)	IV	h ² (%)
Volume	14,74	25,41	1,72	90,24
Área Superficial	7,99	25,66	3,21	92,06
Diâmetro	2,97	8,29	2,79	88,21
Comprimento	6,85	16,10	2,35	88,15

Coeficiente de variação ambiental (CVe), Coeficiente de variação genético (CVg), Índice de variação (IV), Herdabilidade (h²); Comprimento, Volume, Área superficial, Diâmetro.

O índice de herdabilidade (h²) mostrou valores próximos, entre 88,15 (Comprimento) e 92,06% (Área Superficial), indicando que a maior parte da variabilidade fenotípica destas características radiculares se deve a efeitos genéticos que podem assim

ser reproduzidos nas próximas gerações (Tabela 7).

3.2- Análise de grupos

De acordo com a matriz de distância utilizada pelo método de agrupamento hierárquico os genótipos foram agrupados em quatro grupos considerando um ponto de corte de fusão máximo em 60% de dissimilaridade no dendrograma (figura 1). O grupo I foi composto pelos genótipos: VP06, AS1, A106, AS7, o grupo II pelos genótipos AS2 e GJ25, o grupo III composto pelos genótipos LB080, GJ03, AS10, GJ08, AS54, AS6, L140, SN41, ZD156 e o grupo IV apenas pelo genótipo LB015.

Através das características avaliadas, os genótipos VP06 e AS1 são os indivíduos mais similares e apresentaram a distância genética de 12,67 (Distância de Mahalanobis). Pelo contrário, os genótipos VP06 e LB015 são os mais dissimilares e a maior distância foi entre os grupos I e II, com os grupos III e IV (538,09).

Considerando a contribuição relativa das características, o comprimento radicular foi a que menos contribuiu (11,04%) para o estudo de diversidade com base na distribuição radicular dos robustas amazônicos (Figura 2).

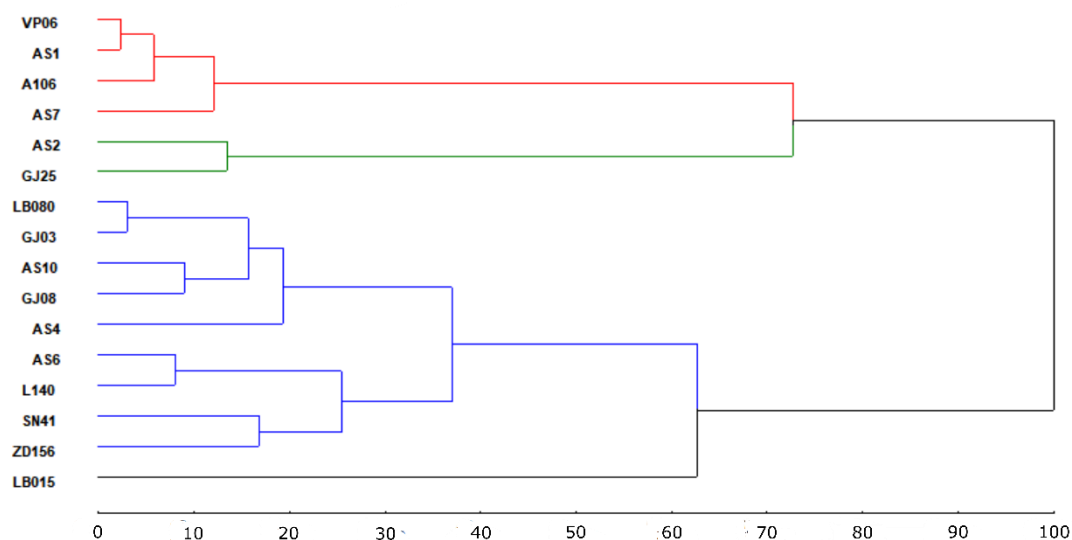


Figura 1 - Dissimilaridade dentro de 16 genótipos de *C. canephora* utilizando a distância de Mahalanobis e Método de Grupo de Pares Não Ponderados usando Médias Aritméticas (UPGMA) considerando quatro características de raiz (volume da raiz, área superficial da raiz, diâmetro da raiz e densidade do comprimento de raiz) e seis profundidades do solo (0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50 e 50–60 cm). Os grupos estão destacados com cores diferentes: vermelho (grupo I), verde (grupo II), azul (grupo III) e preto (grupo IV).

A fim de melhor compreender as possíveis diferenças que tenham levado a formação dos grupos, pela a matriz de distância utilizada no método de agrupamento hierárquico método UPGMA foram calculados os percentuais e os valores médios por grupo das quatro características. No grupo I estão os genótipos que apresentaram menores valores médios de comprimento radicular, sendo a camada de 0-10 cm responsável por 30,12% do comprimento radicular (Figura 2 – G e H). Os genótipos que formaram o grupo II apresentaram menores diâmetros das raízes nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm (Figura 2 – E). Em torno de 10% das raízes de ambos os grupos apresentaram os menores diâmetros na profundidade de 50-60 cm (Figura 2 – F).

O grupo III foi constituído por 56,25% dos genótipos, os quais apresentaram volume radicular, ao longo de todo o perfil do solo, mais próximo a média, diferindo em apenas 1.89% (Figura 2 – A e B).

Já o grupo IV constituído por apenas um genótipo se destacou por apresentar maiores valores para volume de raiz, principalmente nas camadas mais superficiais do solo (Figura 2- A). Entretanto, após a camada de 40-50 cm houve decréscimo significativo no volume radicular. Este grupo também apresentou a maior área superficial nas camadas superficiais do solo (Figura 2 – C) apresentando 60% da área superficial nas camadas superficiais até 40 cm (Figura 2 – D).

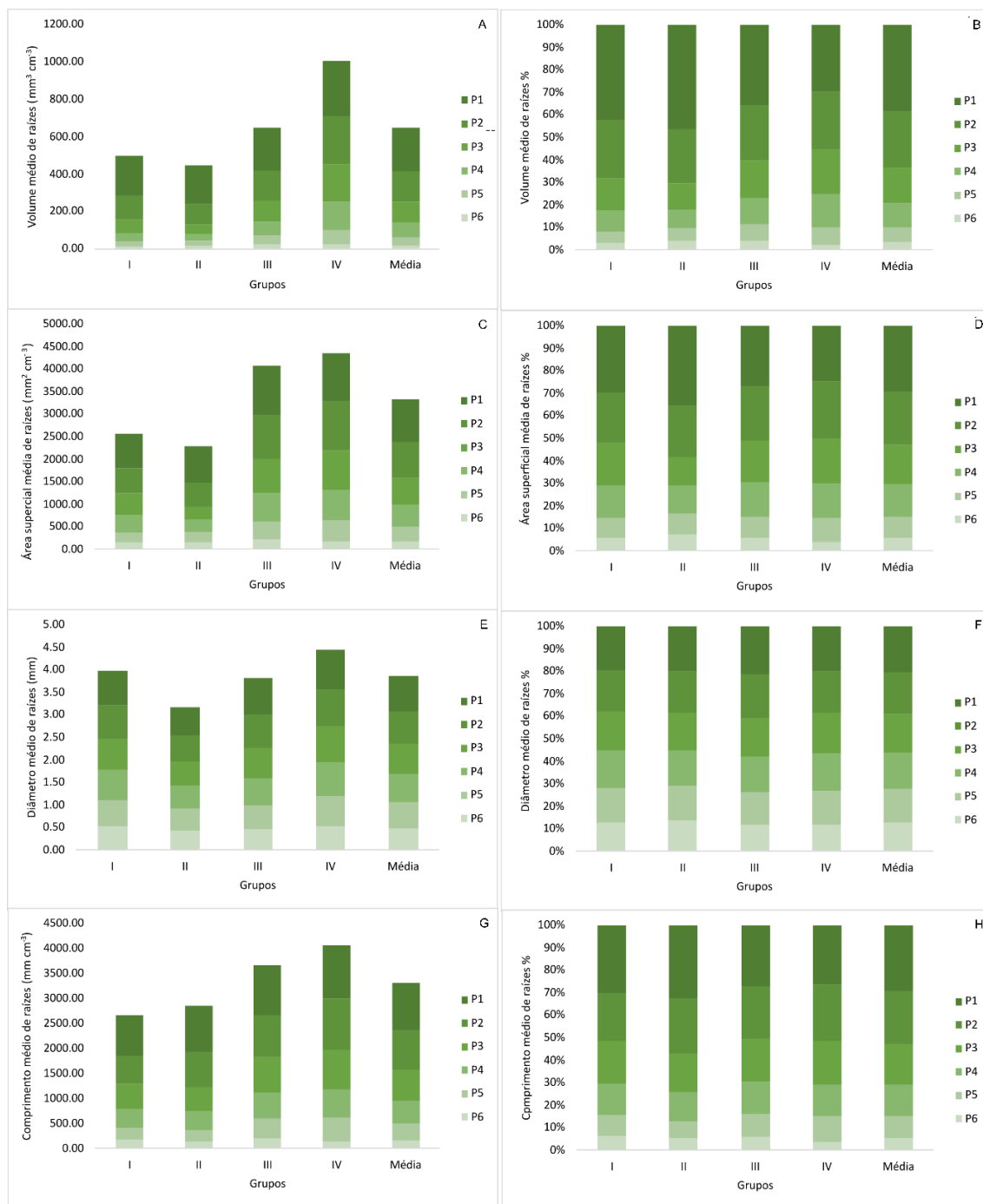


Figura 2 - Valores em distribuição relativa dentro de cada grupo e valores médios (A, C, E e G), valores em porcentagens e valores médios (B, D, F e H) para densidade do volume da raiz (A, B), área superficial da raiz (C, D) e diâmetro da raiz (E, F) e comprimento da raiz (G, H) em seis profundidades de solo (0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50 e 50–60 cm).

Pequenas diferenças foram observadas entre os métodos de agrupamento. Pelo método de Tocher apenas um grupo a mais foi formado, o qual foi constituído apenas pelo ZD156 (que assim se separou dos outros genótipos integrantes do grupo III pelo

método UPGMA) e o genótipo SN41 que transitou do grupo III pelo método UPGMA para o grupo I pelo método de Tocher (Tabela 8).

Tabela 8 - Comparação entre os métodos de agrupamentos usando a distância de Mahalanobis (métodos UPGMA e de Tocher) de 16 genótipos de *C. canephora* considerando quatro características de raiz (volume da raiz, área superficial da raiz, diâmetro da raiz e a densidade do comprimento da raiz) e seis profundidades do solo (0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50 e 50–60 cm).

Grupos (Tocher)	Genótipos	Grupos correspondentes (UPGMA)
I	VP06, AS1, A106, AS7, SN41	I
III	AS2, GJ25	II
II	LB080, GJ03, GJ08, AS10, AS4, L140, AS6	III
IV	ZD156	
V	LB015	IV

3.3- Correlação entre as características das raízes e as características da parte aérea das plantas

Os coeficientes de correlação de Pearson evidenciaram correlações significativas entre as características radiculares, vegetativas e de produção. Correlações positivas e significativas foram evidenciadas apenas entre as características radiculares, sendo o maior coeficiente em área superficial com comprimento das raízes ($r=0,86^{***}$), entre as características vegetativas Comprimento de ramos plagiotrópicos (Cplag) e diâmetro de copa (Dcop) ($r=0,78^{***}$) e entre Cplag com rendimento de grãos ($r=0,53^*$) e Dcop com rendimento de grãos ($r=0,67^{**}$). A única correlação positiva, entretanto, baixa entre as características radiculares e a parte aérea das plantas foi entre diâmetro radicular e altura da planta ($r=0,12$), todas as outras foram negativas (Figura 3).

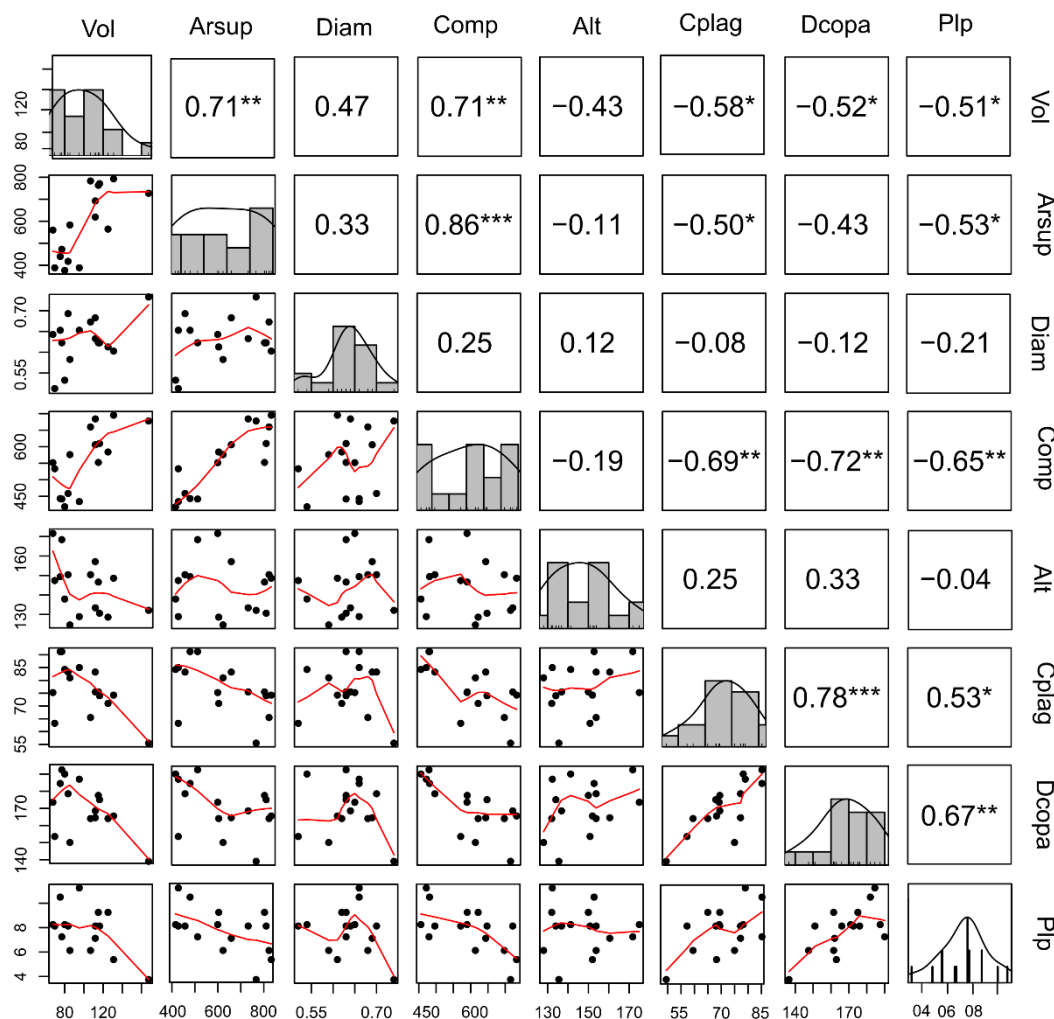


Figura 3. Correlação da densidade do volume da raiz, área superficial da raiz, diâmetro da raiz, comprimento da raiz, altura da planta, comprimento do ramo plagiotrópicos, diâmetro de copa e produtividade da cultura de 16 genótipos de *c. canephora*. * significativo em $p < 0,1$, ** significativo em $p < 0,05$, *** significativo em $p < 0,01$. As linhas vermelhas indicam as linhas de tendência entre as variáveis. (Vol: volume da raiz), (Arsup: área superficial da raiz), (Diam: diâmetro da raiz), (Comp: comprimento da raiz), (Alt: altura da planta), (Cplag: comprimento do ramo plagiotrópicos), (Dcopa: Diâmetro de copa) e (Plp: produção em litros por planta).

4. DISCUSSÃO

4.1- Caracterização das raízes através dos genótipos e perfil do solo

A fim de se explorar a capacidade produtiva e garantir o suporte da parte aérea das plantas, sistemas radiculares profundos e bem distribuídos são fundamentais para as culturas comercialmente utilizadas (VOSS-FELS; SNOWDON; HICKEY et al., 2018; NUNES et al., 2021), principalmente para as espécies perenes. Plantas de café robusta

tem como característica serem plantas de maior porte arbustivo e com resistência superior em relação aos cafés conilon e arábica em vários aspectos como pragas, doenças (MONTAGNON et al., 2012; MORAES et al., 2019; STARLING et al., 2019). O estudo do desenvolvimento sistema radicular é fundamental nos programas de melhoramento genético de cafeeiros, e vem sendo abordado tanto no plano horizontal como no vertical (em profundidade) (RONCHI et al., 2015, COVRE et al., 2015). Lavouras oriundas de multiplicação clonal por estaquia tendem a ter o desenvolvimento lateral proeminente em relação a direção vertical no perfil do solo (PARTELLI et al., 2014; 2020) principalmente nos primeiros anos pós plantio. Dos 16 genótipos de café robusta na Amazônia estudados, dois genótipos (AS10 e AS4) apresentaram sistema radicular mais desenvolvidos no subsolo (50 - 60 cm).

O desenvolvimento de raízes nas camadas mais profundas do solo pode ser uma estratégia adaptativa desenvolvida pelas plantas, nomeadamente face a condições de déficit hídrico (SILVA et al., 2020; VOSS-FELS; SNOWDON; HICKEY et al., 2018), embora seja necessário perceber e quantificar o contributo que raízes mais profundas possam ter na captação de água de camadas mais profundas e assim atrasar a imposição de déficit hídrico na planta. Porém com a evolução e constância das alterações climáticas torna-se essencial o estudo de variedades híbridas tolerantes a estresses hídricos e ambientais (DUBBERSTEIN et al., 2020b). Por outro lado, observou-se que as camadas até 30 cm de perfil do solo (Figura 2- A), as raízes superficiais finas e médias, são as principais responsáveis pela absorção de nutrientes, concentrando-se na região do bulbo úmido da irrigação, principalmente quando é localizada próximo a planta (COVRE et al., 2015; SOUZA et al., 2018; PARTELLI et al., 2020; NUNES et al., 2021).

Um sistema radicular bem desenvolvido é importante para o desenvolvimento da planta de forma geral. Quando aliado a solos com boa estrutura e fertilidade influenciará diretamente na capacidade produtiva da planta (SOUZA et al., 2018; SILVA et al., 2020). Em contrapartida solos com baixa fertilidade e acidez potencial alta, dificultará a absorção de nutrientes e conseqüentemente afetará a capacidade produtiva da cultura (THORUP-KRISTENSEN et al., 2020). A região amazônica é conhecida por seus solos com alta intemperização e naturalmente empobrecidos, principalmente com baixos teores de fósforo, matéria orgânica e que sofre facilmente processos de compactação por seus cultivos com baixo nível tecnológicos agregados (MIKOS et al., 2018).

A diversidade genética pode ser observada por vários aspectos, principalmente em espécies como *C. canephora* por se tratar de uma espécie alógama e autoincompatível

(MORAES et al., 2019). É possível que o efeito ambiental mascare os efeitos genéticos dos indivíduos, de forma que estudar os parâmetros genéticos é imprescindível em programas de melhoramento genético de *C. canephora* (MONTAGNON et al., 2012).

Neste caso o sistema radicular do cafeeiro pode variar devido a influências ambientais e genéticas. O coeficiente de variação genético (CVg) expressa o quanto aquela característica está ligada a base genética (FERRÃO et al., 2008; GILES et al., 2018). Já o índice de variação genética (a relação entre os coeficientes genético e ambiental) indica o nível de influencia genética para uma dada característica. Este parâmetro é importante para o melhoramento genético, pois a partir dele é possível mensurar a influência genética ou ambiental sobre o fenótipo (FERRÃO et al., 2008; MONTAGNON et al., 2012).

As características estudadas apresentaram valores próximos ou acima de um, portanto, considerados adequados para estratégias de programas de melhoramento. Adicionalmente, a herdabilidade (H^2) estabelece a relação entre o fenótipo e o genótipo, quanto mais próximo a 100% o valor da relação, maior é a influência da componente genética sobre o fenótipo (MONTAGNON et al., 2012; SENRA et al., 2020). A herdabilidade não deve ser interpretada como valor absoluto, variando conforme a espécie, condições ambientais e o tipo de característica avaliada. Nas quatro características radiculares avaliadas, a herdabilidade ficou sempre próxima a 90%, o que sugere elevada influência genética sobre essas características fenotípicas, pelo que é crível que apresentem um comportamento semelhante em cultivo destes cafeeiros noutros ambientes (GILES et al., 2018; SILVA et al., 2020). Logo, estes genótipos são considerados potenciais para a composição de uma população com características promissoras para tolerância ao déficit hídrico (SANTIN et al., 2019; YAN et al., 2019).

4.2- Análise de grupos

As análises de Cluster podem ser realizadas de formas hierárquicas e não-hierárquicas (HAIR Jr et al., 2014; DUBBERSTEIN et al., 2020a; SILVA et al., 2020). Têm como finalidade usar as informações dos genótipos e agrupá-los por meio da similaridade dos que mais se assemelham. E para os genótipos com características distintas com maiores dissimilaridades são criados novos grupos (HAIR Jr et al., 2014).

De acordo com o método hierárquico UPGMA e utilizando como medida de dissimilaridade genética, a distância generalizada de Mahalanobis foi possível observar a formação de quatro grupos distintos. Estudos com 43 genótipos de *C. canephora*

obtiveram cinco grupos baseados em características foliares e a capacidade produtiva (Dubberstein et al., 2020a) e quatro grupos quando baseados em características do sistema radicular (Silva et al., 2020).

O genótipo que constituiu o grupo IV teve mais raízes na superfície do solo, ou seja, em regiões onde a disponibilidade de água e nutrientes não é limitada (SOUZA et al., 2018). Por outro lado, os genótipos que constituem o grupo III apresentaram mais raízes no subsolo, quando comparado aos demais genótipos e nas mesmas profundidades. Genótipos de conilon com sistemas radiculares mais profundos possivelmente são mais tolerantes ao déficit hídrico (SILVA et al., 2020). Desta forma, os genótipos pertencentes grupo III poderão ser mais adequados para programas de melhoramento cujo objetivo é a obtenção de cultivares mais tolerantes ao déficit hídrico.

Através do método de otimização de Tocher os genótipos foram distribuídos em seis grupos distintos, enquanto que pelo método hierárquico UPGMA foram obtidos quatro grupos, com bastante semelhança na composição dos grupos obtidos pelos dois métodos. Resultados semelhantes na estrutura dos grupos, a depender do método de agrupamento foram observadas em outros estudos (DUBBERSTEIN et al., 2020a; SILVA et al., 2020; GILES et al., 2019). Quanto mais semelhante for o agrupamento, independentemente do método utilizado, maior segurança o melhorista terá sobre a formação dos grupos e as distâncias genéticas.

4.3- Correlação entre as características das raízes e as características da planta

Para esse estudo não foi observada correlação positiva entre o sistema radicular e a capacidade produtiva da planta na primeira safra. Silva et al. (2020) observaram correlação positiva entre as características radiculares com a capacidade produtiva da planta em genótipos com aproximadamente 60 meses (média de três safras comerciais). Bragança et al. (2010) relataram que as maiores taxas de crescimento absoluto e acúmulo de matéria seca tanto para o sistema radicular e a parte aérea ocorreram entre os 36° a 76° meses.

5. CONCLUSÕES

O sistema radicular dos 16 genótipos avaliados se concentraram principalmente na camada 0 – 30 cm do solo, compreendendo em 80% do volume das raízes. No entanto, nove genótipos podem ser considerados promissores para o melhoramento genético

visando a tolerância ao déficit hídrico, por apresentarem maiores volumes de raízes nas camadas mais profundas do solo, agruparam-se em um grupo pela análise de diversidade.

6. REFERÊNCIAS

ASQUINI, E.; GERDOL M.; D. GASPERINI. D.; IGIC, B.; GRAZIOSI, G.; PALLAVICINI, A. S-RNase-like Sequences in Styles of *Coffea* (Rubiaceae). Evidence for S-RNase Based Gametophytic Self-Incompatibility? **Tropical Plant Biologic**, v. 4, p. 237–249, 2011 DOI: 10.1007/s12042-011-9085-2.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n. 6 p.711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

BERTHAUD, J. L'incompatibilité chez *Coffea canephora*: méthode de test et déterminisme génétique. **Café Cacao Thé**, Nogent-sur-Marne, v. 24, n.4, p. 267-273. 1980.

BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. E. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; JOSÉ ANTONIO LANI, J. A.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ V, V. H. Acumulação de matéria seca pelo cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, v. 57, n. 1, p. 048-052, 2010. DOI: 10.1590/S0034-737X2010000100009.

CONAB - Acompanhamento de safra brasileira de café, v. 8 – Safra 2021, n.1 - **Primeiro levantamento**, Brasília, p. 1-71, janeiro 2021. ISSN 2318-7913. Disponível: <http://www.conab.gov.br>

CONAGIN, C. H. T. M.; MENDES, A. J. T. Pesquisas citológicas e genéticas em três espécies de *Coffea*: auto-incompatibilidade em *Coffea canephora* pierre ex froehner. **Bragantia**, v. 20, n. 34, p.788–804, 1961.

COVRE, A.M.; PARTELLI, F.L.; GONTIJO, I.; ZUCOLOTO, M. Root system distribution of irrigated and nonirrigated conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 11, p.1006–1016, 2015. DOI:10.1590/S0100-204X2015001100003.

CRUZ, C.D. GENES—a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Science Agronomic**, v.35, n. 3, p. 271-276, 2013. DOI: 10.4025/actasciagron.v35i3.21251

DALAZEN, J. R.; ROCHA, R. B.; ESPINDULA, M. C.; DIAS, J. R. M.; DALAZEN, J.R. **Base genética da cafeicultura e caracterização dos principais clones cultivados no estado de Rondônia**. In: Fábio Luiz Partelli; Marcelo Curitiba Espindula. (Org.). Café conilon: conhecimento para superar desafios. 1ed.Alegre: CAUFES, 2019, p. 165-177.

DALAZEN, J. R.; ROCHA, R. B.; PEREIRA, L. L.; ALVES, E. A.; ESPINDULA, M. C.; SOUZA, C. A. de. Beverage quality of most cultivated *Coffea canephora* clones in the Western Amazon. **Coffee Science**, v. 15, p. 1-10, 2020. DOI: 10.25186/v15i1.1711.

DAVIS, A. P.; TOSH, F. L. S. J.; RUCH, N.; F. FAY FLS, M. F. Growing *coffee*:

Psilanthus (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.167, n.4 p.357-377, 2011. DOI: 10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x.

DUBBERSTEIN, D.; PARTELLI, F. L.; SCHMIDT, R.; DIAS, J. R. M.; COVRE, A. M. Matéria seca em frutos, folhas e ramos plagiotrópicos de cafeeiros cultivados na Amazônia ocidental. **Coffee science**, v. 12, n. 1, p. 74-81, 2017. DOI: 10.25186/cs.v12i1.1241

DUBBERSTEIN, D.; LIDON, F. C.; RODRIGUES, A. N. A.; SEMEDO, J. N. ; MARQUES, I.; RODRIGUES, W. P.; GOUVEIA, D. D.; ARMENGAUD, J.; SEMEDO, M. C.; MARTINS, S.; SIMOES-COSTA, M. C.; PAIS, I. P.; SCOTTI-CAMPOS, P.; PARTELLI, F. L.; CAMPOSTRINI, E.; RIBEIRO-BARROS, A.; DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. C. Resilient and Sensitive Key Points of the Photosynthetic Machinery of *Coffea* spp. to the Single and Superimposed Exposure to Severe Drought and Heat Stresses. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1-22, 2020. DOI: 10.3389/fpls.2020.01049. (a)

DUBBERSTEIN, D.; PARTELLI, F. L.; GUILHEN J.H.S.; RODRIGUES, W.P.; RAMALHO, J.C.; RIBEIRO-BARROS, A.I. Biometric traits as a tool for the identification and breeding of *Coffea canephora* genotypes, **Genetics and Molecular Research**, v.19, n. 2, 2020. DOI: 10.4238/gmr18541. (b)

FERRÃO, R. G.; CRUZ, C. D.; FERREIRA, A.; CECON, P. R.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A. DA; CARNEIRO, P. C. DE S.; SILVA, M. F. da. Parâmetros genéticos em café Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.1, p.61-69, 2008. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000100009.

GILES, J.A.D.; PARTELLI, F.L.; FERREIRA, A.; RODRIGUES, J.P.; OLIOSI, G.; E SILVA, F.H.L. Genetic diversity of promising ‘conilon’ coffee clones based on morpho-agronomic variables. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v.90, n.2, p.2437–2446 2018. DOI:10.1590/0001-3765201820170523.

HAIR JR, J.F.; WILLIAM, C.B.; BARRY, J.B.; ROLPH, E.A. **Multivariate Data Analysis**, 7th ed.; Pearson Education: Harlow, UK, 2014; ISBN 978-1-29202-190-4.

JORGE, L.A. de C.; SILVA, D. J. da C. B. SAFIRA: manual de utilização; **Embrapa Instrumentação Agropecuária**: São Carlos, Brasil, 2010.

MIKOS, A.; SCHLINDWEIN, J. A.; FOGAÇA, I.; ROCHA, M. M. S.; SOBREIRA, A. L.; LUZ NETO, L. S. DA.; ALMEIDA, F. M. de. Evaluation of the Physical Attributes of Soil under Different Uses and Management in the Territory of the Zona da Mata in Rondônia, Brazil. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 5, n. 12, p. 126-132, 2018. DOI: 10.22161/ijaers.5.12.17.z.

MORAES, M. S.; TEIXEIRA, A. L.; RAMALHO A. R.; ESPÍNDULA, M. C.; FERRÃO, M. A. G.; ROCHA, R. B. Characterization of gametophytic selfincompatibility of superior clones of *Coffea canephora*. **Genetics and Molecular Research** V.17, n. 1. p. 1-11, 2019. DOI: 10.4238/gmr16039876.

MONTAGNON, C.; CUBRY, P.; LEROY, T. Amélioration génétique du caféier *Coffea canephora* Pierre: connaissances acquises, stratégies et perspectives. *Cahiers Agricultures*, vol. 21, n. 2–3, p. 143–153, 2012. DOI: 10.1684/agr.2012.0556.

NUNES, A. L. P.; CORTEZ, G. L. de S.; ZARO, G. C.; ZORZENONI, T. O.; MELO, T. R. de; FIGUEIREDO, A.; AQUINO, G. S. de; MEDINA, C. de C.; RALISCH, R.; CARAMORI, P. H.; GUIMARÃES, M. de F. Soil morphostructural characterization and coffee root distribution under agroforestry system with *Hevea Brasiliensis*. *Scientia Agricola*, v.78, n.6, p. 1-12, 2021. DOI: 10.1590/1678-992X-2019-0150.

OLIVEIRA, L. N. L. DE; ROCHA, R. B.; FÁBIO MEDEIROS FERREIRA, F. M.; SPINELLI, V. M.; RAMALHO, A. R.; TEIXEIRA, A. L. Selection of *Coffea canephora* parents from the botanical varieties Conilon and Robusta for the production of intervarietal hybrids. *Ciência Rural*, v. 48, n. 4, p. 1-8, 2018. DOI: 10.1590/0103-8478cr20170444.

PARTELLI, F.L.; COVRE, A.M.; OLIVEIRA, M.G.; ALEXANDRE, R.S.; VITÓRIA, E.L. da; SILVA, M.B da. Root system distribution and yield of “Conilon” coffee propagated by seeds or cuttings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v 49, n.5, p.349–355, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000500004.

PARTELLI, F. L.; CAVALCANTI, A. C. C.; MENEGARDO, C.; COVRE, A. M.; GONTIJO, I.; BRAUN, H. Spatial distribution of the root system of Conilon and Arabica coffee plants. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.55, p. 1-9, 2020. DOI:10.1590/S1678-3921.

PARTELLI, F. L.; OLIOSI, G.; DALAZEN, J. R.; SILVA, C. A. DA; VIEIRA, H. D.; ESPINDULA, M. C. Proportion of ripe fruit weight and volume to green coffee: Differences in 43 genotypes of *Coffea canephora*. *Agronomy Journal*, p.1–9, 2021. DOI: 10.1002/agj2.20617.

RAMALHO, A.R.; ROCHA, R.B.; SOUZA, F.F.; VENEZIANO, W.; TEIXEIRA, A.L. Genetic gain in the productivity of processed coffee from the selection of clones of ‘Conilon’ coffee. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 47, n.3, p.516-523, 2016. DOI: 10.5935/1806-6690.20160062.

RAO, R.C. **Advanced Statistical Methods in Biometric Research**; John Wiley & Sons Inc.: New York, NY, USA, 1952; p. 390.

RONCHI, C.P.; SOUSA JÚNIOR, J.M. de; AMEIDA, W.L. de; SOUZA, D.S.; SILVA, N.O.; OLIVEIRA, L.B. de; GUERRA, A.M.N. de M.; FERREIRA, P.A. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.50, n. 3, p.187-195, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000300001.

SANTIN, M. R.; COELHO, M. C.; SAYD, R. M.; PEIXOTO, J. R.; AMABILE, F. R. Yield, maturation cycle, and estimates of genetic parameters of Robusta coffee genotypes under irrigation in the Cerrado. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 19, n. 4, p. 387-394, 2019. DOI: 10.1590/1984-70332019v19n4a55.

SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. A. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. DE; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** 5. ed., revisado e ampliado. – Brasília, DF: Embrapa, p. 356. 2018. ISBN 978-85-7035-800-4. Acesso dia: 20/02/2021.

SEMEDO JN, RODRIGUES AP, LIDON FC, PAIS IP, MARQUES I, GOUVEIA D, ARMENGAUD J, SILVA MJ, MARTINS S, SEMEDO MC, DUBBERSTEIN D, PARTELLI FL, REBOREDO FH, SCOTTI-CAMPOS P, RIBEIRO-BARROS AI, DAMATTA FM, RAMALHO JC. Intrinsic non-stomatal resilience to drought of the photosynthetic apparatus in *Coffea* spp. is strengthened by elevated air [CO₂]. **Tree Physiology**, v. 41, n. 5: 708-727. 2021 DOI: 10.1093/treephys/tpaa158.

SENRA, J. F. de B.; FERRÃO, M. A. G.; MENDONÇA, R. F de; FONSECA, A. F. A da; FERRÃO, R. G.; VOLPI, P. S.; VERDIN FILHO, A. C.; COMÉRIO, M.; SILVA, M. W. da. Genetic Variability of Access of the Active Germplasm Bank of *Coffea canephora* of Incaper in Southern Espírito Santo. **Journal of Genetic Resources**, v.6, n.2, p. 172-184 2020. DOI: 10.22080/jgr.2020.19162.1194.

SILVA, L. O. E. S.; SCHMIDT, R.; VALANI, G. P.; FERREIRA, A.; RIBEIRO-BARROS, A. I.; PARTELLI, F. L. Root Trait Variability in *Coffea canephora* Genotypes and Its Relation to Plant Height and Crop Yield. **Agronomy**, v 10, n. 1394, p. 1-17, 2020. DOI: 10.3390/agronomy10091394.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal Genetic e Plant Breeding**, v.41, p.234- 245, 1981.

SOKAL, R.R.; MICHENER, C.D. **A Statistical Method for Evaluating Systematic Relationships**, 22 ed. v 38, Lawrence, USA University of Kansas Science, p. 30, 1958.

SOUZA, J. M de; REIS, E. F. dos; BONOMO, R.; GARCIA, G. de O. Wet bulb and Conilon coffee root distribution under drip irrigation. **Ciência e Agrotecnologia**, v.42, n. 1, p. 93-103, 2018. DOI: 10.1590/1413-70542018421018617.

STARLING, L.C.T.; MARTINS, L.D.; RODRIGUES, W.N.; REINICKE, T.M.; COLODETTI, T.V.; AMARAL, J. F. T. DO; PARTELLI, F. L.; TOMAZ, M.A.; ESPINDULA, M. C. Genetic diversity in nutritional parameters in response to drought of *Coffea canephora* cultivated in Rondonia state, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v.18, n. 2, p. 1-12, 2019. DOI: 10.4238/gmr18300.

TEIXEIRA, A. L.; ROCHA R. B.; ESPINDULA, M. C.; RAMALHO, A. R.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; ALVES, E. A.; LUNZ, A. M. P.; SOUZA, F. de F.; COSTA, J. N. M.; FERNANDES, C. de F. Amazonian Robustas - new *Coffea canephora* coffee cultivars for the Western Brazilian Amazon. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n.3, p. 1-5, 2020. DOI: 10.1590/1984- 70332020v20n3c53.

TRACY, S. R.; NAGEL, K. A.; POSTMA, J. A.; FASSBENDER, H.; WASSON, A.; WATT, M. Crop Improvement from Phenotyping Roots: Highlights Reveal Expanding Opportunities. **Trends in Plant Science**, v. 25, n.1, p. 105- 118, jan.2020. DOI: 10.1016/j.tplants.2019.10.015.

THORUP-KRISTENSEN, K.; HALBERG, N.; NICOLAISEN, M.; OLESEN, J. E. CREWS, T. E.; HINSINGER, P.; KIRKEGAARD, J.; PIERRET, A.; DRESBOLL, D. B. Digging Deeper for Agricultural Resources, the Value of Deep Rooting. **Trends in Plant Science**, v. 25, n. 4, p. 406 – 417, 2020. DOI: 10.1016/j.tplants.2019.12.007.

VIEIRA, H.D.; FERREIRA, A.; PARTELLI, F.L.; VIANA, A.P. Novel approaches for selection of *Coffea canephora* by correlation analysis. **Genetics and Molecular Research**, v.18, n1, p. 1-14, 2019. DOI: 10.4238/gmr18114.

VICENTE, M. R.; MANTOVANI, E. C.; FERNANDES, A. L. T.; NEVES, J. C. L.; FIGUEIREDO, E. M.; DELAZARI, F. T. Spacial distribution of fertigated coffee root system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 1, p. 72-80, 2017. DOI: 10.1590/1413-70542016411021316.

VOSS-FELS, K. P.; SNOWDON, R. J.; HICKEY, L. T. Designer Roots for Future Crops. **Trends in Plant Science**, v. 23, n.11, p. 957-960, 2018. DOI: 10.1016/j.tplants.2018.08.004.

YAN, L.; OGUTU, C.; HUANG, L.; WANG, X.; ZHOU, H.; LV, Y.; LONG, Y.; DONG, Y.; HAN, Y. Genetic diversity and population structure of coffee germplasm collections in China revealed by ISSR markers. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 37, n. 3, p. 204-213, 2019. DOI: 10.1007/s11105-019-01148-3.

CAPÍTULO 2

ACÚMULO DE NUTRIENTES E A RELAÇÃO ENTRE FRUTO, PALHA E GRÃOS DE GENÓTIPOS DE *Coffea canephora* CULTIVADO NA AMAZÔNIA

RESUMO - Os genótipos cultivados em Rondônia, região Amazônica, têm conquistado cada vez mais espaço nos campos cafeeiros do Brasil. Esses materiais genéticos foram selecionados por produtores, com base principalmente na produção e arquitetura das plantas. O objetivo desse trabalho foi quantificar o acúmulo de nutrientes em grão e palha, bem como indicar a dissimilaridade entre 16 genótipos de *Coffea canephora* cultivado na Amazônia brasileira de forma a poder auxiliar na recomendação da adubação. O experimento foi instalado em propriedade particular em Alta Floresta D'Oeste - Rondônia, Brasil. Para o estudo do acúmulo de nutrientes, coletaram-se amostras de 2 litros frescos de frutos de maio a junho de 2020. Estes foram secos a pleno sol, beneficiados, separado os grãos e as palhas e submetidos a análises químicas. Para a relação grãos e palha foram coletados total de 60 frutos de cada genótipo para o beneficiamento. Foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,01$) para obter os parâmetros genéticos, e ao teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) para avaliação das porcentagens de grão e palha nos frutos. Para o estudo da diversidade genética, a dissimilaridade da matriz de distância generalizada de Mahalanobis (D^2) e realizou-se o agrupamento pelo método hierárquico UPGMA, método de Tocher e a importância relativa dos acúmulos de nutrientes, porcentagem de grão/palha para predição de diversidade genética de acordo com Singh (1981). O ZD156 foi o que mais acumulou K no grão. Os genótipos dividiram-se em quatro grupos, o AS10 permaneceu isolado no grupo. LB080 obteve o menor peso de fruto seco e a menor porcentagem de grãos em relação a palha. O grupo de genótipos AS4, AS10, VP06, A106, AS7 possuem porcentagens de grãos em relação a palha similares. Os nutrientes N, K, Ca e P são acumulados em maior quantidade, havendo necessidade de calibrar as dosagens e parcelamento de adubação mineral.

PALAVRAS-CHAVE: Café robusta, melhoramento genético, produtividade e divergência genética.

NUTRIENT ACCUMULATION AND THE RELATIONSHIP BETWEEN FRUIT, STRAW AND GRAINS IN GENOTYPES OF *Coffea canephora* CULTIVATED IN THE AMAZON

ABSTRACT - The genotypes cultivated in the Amazon region of Rondônia, have conquered more and more space in the coffee fields of Brazil. These genetic materials were selected by producers, based on production in the architecture of the plants. The objective of this work was to quantify the accumulation of nutrients in grain and straw, as well as to indicate a dissimilarity 16 genotypes of *Coffea canephora* grown in the Brazilian Amazon, assured in the fertilization. The experiment installed on a private property in Alta Floresta D'Oeste - Rondônia, Brazil. The collection of fruits was carried out from 2020 for the accumulation of nutrients, it was collected from 2020 collected in the sun, the processing was carried out, the grains were separated as harvests and harvests in June. For the grain and straw were total of each genotype 60 fruits for processing. Analysis of variance was performed using the F test ($p < 0.01$) to obtain the genetic parameters. The Scott Knott test ($p \leq 0.05$) to evaluate the percentages of grain and straw in the fruits. hierarchically UPGMA, of method to obtain greater relative importance of the accumulations of genetic nutrients, of grain/straw for prediction of diversity according

to Singh (1981). ZD156 was the genotype that most accumulated K in the grain. The genotypes were divided into four, or AS10 grouped isolated in the group. LB080 had the lowest dry fruit weight and the lowest grains in relation to straw. The group of genotypes AS4, AS10, VP06, A106, AS7 have similar percentages of grains in relation to straw. Nutrients N, K, Ca and P are accumulated in greater amounts, making it necessary to calibrate the doses of mineral fertilization and the installments.

KEYWORDS: Robusta coffee, genetic improvement, productivity and genetic divergence

1. INTRODUÇÃO

Coffea canephora é uma espécie alógama (com reprodução via fecundação cruzada) o mecanismo de auto-incompatibilidade gametofítica favorece e aumenta a variabilidade genética entre plantas desta espécie (BERTHAUD et al., 1989; MORAES et al., 2018). Essa variabilidade genética, pode ser observada facilmente em campos nativos (DAVIS et al., 2011), em lavouras de plantas seminais e em estudos de bancos de germoplasma (STARLING et al., 2019; FERRÃO et al., 2021). Para fins comerciais tem-se realizado a seleção genética e reprodução assexuada por meio de estaquia de materiais que se sobressaem principalmente em características de produção elevada, resistência a pragas, doenças e a altas temperaturas (GILES et al., 2019; DUBBERSTEIN et al., 2020; PARTELLI et al., 2020; PARTELLI et al., 2021).

Cada genótipo tem particularidades no seu ciclo de vida, como a resistência a estresse hídrico, ciclo de maturação dos frutos, a necessidade nutricional, atividade metabólica (PARTELLI et al., 2014; SCHMIDT et al., 2022a). Assim quando tratamos de forma similar um grupo de genótipos pode-se desequilibrar uma série de reações na planta, principalmente desequilíbrios nutricionais (TORRES et al., 2022).

O sucesso de uma lavoura depende de vários fatores como a genética das plantas, instalação e tratos culturais bem executados (ESPINDULA et al., 2021), colheita quando atingir a maturação fruto cereja e a secagem bem realizada (OLIOSI et al., 2020). Fatores como a adubação e o período de colheita interferem diretamente no rendimento e qualidade das plantas/genótipos, principalmente, no peso dos frutos como produto final (TORRES et al., 2022). A limitação no peso dos frutos está diretamente relacionada com a disponibilidade de nutrientes para as plantas (SANTOS et al., 2021; SCHMIDT et al., 2022a), onde cada nutriente tem sua disponibilidade no solo e cada genótipo a exigência singular (SCHMIDT et al., 2022a).

O cafeeiro se adapta muito bem a vários tipos de solos, mas é uma cultura de alta exigência nutricional. A falta ou a indisponibilidades de nutrientes no solo, pode provocar sintomas na planta, como a perda de tecido fotossintético, a diminuição da parte área e, conseqüentemente, diminuir a capacidade produtiva da planta (CARVALHO et al., 2010) e aumentar a susceptibilidade a pragas e doenças (SILVA et al., 2020). Quantificar o acúmulo de nutrientes no fruto, palha e grão é importante, pois através desses resultados podem ser adotadas práticas de fertilidade, como a devolução da palha aos plantios para melhorias do solo e ciclagem de nutrientes (COVRE et al., 2016; SANTOS et al., 2021) e otimizar uma adubação que reponha os níveis de nutrientes que foram retirados com a colheita dos frutos e de podas.

Os genótipos cultivados em Rondônia região Amazônica, tem conquistado cada vez mais espaço nos campos cafeeiros do Brasil. Porém, a excelência desses materiais depende de como são manejados devido a sua alta exigência nutricional e demanda hídrica (SCHMIDT et al., 2022a). Muitos desses materiais genéticos foram selecionados por produtores, com base, principalmente, na produção e na arquitetura das plantas (SILVA et al., 2019). O rendimento no beneficiamento é um dos pilares para a permanência do genótipo no campo, aqueles que possuem baixo rendimento geralmente são descartados de plantios comerciais (PARTELLI et al., 2021). Dessa forma, torna-se fundamental para o melhoramento genético a obtenção de informações relativas ao acúmulo de nutrientes nos frutos, grãos e palha dos diferentes materiais genéticos. Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi quantificar o acúmulo de nutrientes no grão e na palha, bem como indicar a dissimilaridade entre 16 genótipos de *Coffea canephora* cv. Robusta, cultivado na Amazônia brasileira, de forma a poder auxiliar na recomendação de adubação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1- Instalação do experimento, caracterização da área e materiais genéticos

O trabalho foi realizado em Alta Floresta D'Oeste - Rondônia, Brasil (região Amazônica). A latitude 12°08'51,86 S longitude 62°04'95,03" W e a 440 metros de altitude, com temperatura média anual de 26° C. A região possui clima tropical, com duas épocas distintas sendo um período de estiagem entre os meses de junho a outubro considerado o verão amazônico e o período chuvoso entre os meses de novembro a maio considerado como inverno amazônico, classificado como Aw3,0312, de acordo com a

classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). O solo é caracterizado como Latossolo vermelho eutrófico (SANTOS et al., 2018), cujos atributos químicos e físicos estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Características granulométricas e químicas de seis profundidades do solo em área cultivada com cafeeiro (*C. canephora*) irrigado, em Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brasil.

Frações granulométrica	Camadas do Solo (cm)					
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60
Areia total (g kg ⁻¹)	172	180	180	174	174	198
Silte (g kg ⁻¹)	428	400	440	406	386	342
argila (g kg ⁻¹)	400	420	380	420	440	460
Atributos químicos	Camadas do Solo (cm)					
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60
P (mg kg ⁻¹)	3	11	5	3	2	14
K (mg kg ⁻¹)	44	87	72	60	48	13
S (mg kg ⁻¹)	5	10	7	7	4	8
Ca (cmol kg ⁻¹)	4,4	4,7	4,8	4,4	4,5	4,8
Mg (cmol kg ⁻¹)	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9
Al (cmol kg ⁻¹)	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,5
H + Al (cmol dm ⁻³)	3,1	4,2	3,6	3,3	3,3	5,0
pH-H ₂ O	5,8	5,3	5,6	5,8	5,9	5,5
MOS (dag kg ⁻¹)	2,1	2,5	2,5	2,1	2,4	3,1
Fe (mg kg ⁻¹)	111	80	99	96	92	78
Zn (mg kg ⁻¹)	1,2	9,9	1,7	1,8	1,5	8,8
Cu (mg kg ⁻¹)	2,4	2,8	2,8	2,8	2,4	4,7
Mn (mg kg ⁻¹)	184	208	196	207	168	287
B (mg kg ⁻¹)	0,25	0,58	0,62	0,83	0,51	0,71
Na (mg kg ⁻¹)	6,0	7,0	5,0	6,0	5,0	9,0
CTC (cmol kg ⁻¹)	8,34	9,95	9,31	8,58	8,64	11,07

H + Al: Acidez potencial no solo; MOS: matéria orgânica do solo; CTC: capacidade de troca catiônica.

A lavoura foi instalada em abril de 2018, adotando o espaçamento de 3.30 metros entre linha por 0.8 metros entre plantas, o que equivale a uma densidade de 3.700 plantas ha⁻¹. Os genótipos de robusta amazônicos estudados estão dispostos em linhas e cada linha representa um bloco. As plantas foram conduzidas com duas hastes (aproximadamente 7.400 mil hastes ha⁻¹). Os tratos culturais foram realizados conforme a necessidade da cultura, objetivando o manejo fitossanitário e nutricional da lavoura, sendo utilizada irrigação por gotejamento para suprir a demanda hídrica. As plantas receberam 400, 100

e 300 kg ha¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, o parcelamento ocorreu em função das exigências da planta e dos estádios fenológicos.

Os genótipos de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner utilizados foram: A106, AS2, GJ25, VP06, AS1, AS7, SN41, AS6, ZD156, AS10, AS4, L140, GJ08, LB080, LB015 e GJ03. Esses genótipos foram selecionados pelos produtores e viveiristas de Rondônia, com base na capacidade produtiva da planta.

2.2.1- Coleta de frutos

O experimento instalado em blocos casualizados com três repetições. A coleta de frutos foi feita no período da colheita em maio a junho de 2020, quando apresentavam mais de 80% de maturação. Para o acúmulo de nutrientes coletou-se amostras de 2 litros fresco, no qual foram secos a pleno sol. Posteriormente foi realizado o beneficiamento, separado os grãos e as palhas.

As amostras foram armazenadas em sacos de papel devidamente identificados, acondicionadas em caixas térmicas e levadas para o laboratório. Posteriormente, completou-se a secagem do material vegetal em estufa de circulação de ar forçado a 50° C até atingir o peso constante. As amostras foram beneficiadas e separados os grãos e palha. Os grãos foram passados por calibragem de umidade e ajustado a 12 °C. As amostras foram então submetidas a análises químicas para a determinação do acúmulo de diversos minerais, a saber nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e Boro (B), segundo a metodologia descrita por Silva (2009).

2.2.2- Relação grão e palha

Para a relação grãos e palha coletou-se amostras de 200 gramas de peso fresco, no qual foram secos a pleno sol. Posteriormente foi realizado o beneficiamento, separado os grãos e as palhas. O delineamento foi inteiramente casualizados onde foram coletados 20 frutos por genótipo para o beneficiamento, considerando três repetições foram coletados no total 60 frutos por genótipo. Após a secagem em estufa de circulação de ar forçado a 50° C até atingir o peso constante, os grãos foram beneficiados e separados os grãos e as palhas, que foram pesados separadamente.

2.3- Análise estatística

Os valores de acúmulo de nutrientes nos frutos, grãos e palha foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,01$) para verificação de variação genética entre os

genótipos. Foram estimados para o acúmulo nos frutos, grãos e palha de cada nutriente, o coeficiente de variação experimental (CVe), o coeficiente de variação genético (CVg) e o coeficiente de determinação genotípico (H^2). O teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) para avaliação da relação entre grão e palha nos frutos de 16 genótipos de *C. canephora*.

Para o estudo da diversidade genética, foi estabelecido como medida de dissimilaridade a matriz de distância generalizada de Mahalanobis (D^2) e realizou-se o agrupamento dos genótipos pelo método hierárquico Unweighted Pair Group Method using Arithmetic Averages (UPGMA) e pelo método de Tocher. Foi aplicado também o estudo da importância relativa dos acúmulos de nutrientes e porcentagem de grão/palha para predição de diversidade genética de acordo com Singh (1981). Além disso, coeficientes de correlação de Spearman para o acúmulo de nutrientes em grãos, palha e frutos, porcentagem de grão e palha nos frutos e peso dos frutos. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Genes (CRUZ, 2016).

3. RESULTADOS

3.1- Parâmetros e diversidade genética

Por meio do teste F foi possível estimar o coeficiente de variação experimental (CVe), que apresentou valores abaixo de 13% para a maioria dos minerais, exceto para o Fe (27,27%) e o B (20,01%) (Tabela 2). Para o coeficiente de variação genético (CVg) foram obtidos valores acima de 10% para o acúmulo de todos os nutrientes exceto de N (7,9%), e ainda para a relação entre grão e palha (7,4%) (Tabela 02).

Tabela 2 – Estimativas do coeficiente de variação experimental (CVe), coeficiente de variação genético (CVg) e coeficiente de determinação genotípico (H^2) para o acúmulo de nutrientes nos frutos de 16 genótipos de *Coffea canephora* considerando a produção de uma tonelada de grãos e a relação de grão/palha nos frutos. Alta Floresta D'Oeste, RO - Brasil.

Variáveis	CVe (%)	CVg (%)	H^2 (%)
Acúmulo de nitrogênio	9,2	7,9	69,2
Acúmulo de fósforo	9,2	13,8	86,9
Acúmulo de potássio	10,2	16,5	88,6
Acúmulo de cálcio	12,7	18,0	85,8
Acúmulo de magnésio	8,1	14,5	90,6
Acúmulo de enxofre	8,5	17,1	92,4
Acúmulo de cobre	11,5	15,9	85,2
Acúmulo de ferro	27,3	12,1	37,4
Acúmulo de manganês	7,3	19,9	95,7
Acúmulo de zinco	12,2	17,3	85,7
Acúmulo de boro	20,0	12,7	54,6
Relação de grão/palha	3,7	7,4	92,4

O acúmulo de Mn foi o que apresentou maior índice de herdabilidade (95,74%), seguido do Enxofre (92,44%). Todos os restantes apresentaram índices superiores a 69% com exceção do acúmulo de Fe (37,38%) e B (54,57%). A relação de grão/palha obteve expressivo índice de 92,42% (Tabela 2).

3.2- Agrupamentos de genótipos e contribuição genética

Considerando o acúmulo de nutrientes nos frutos e a porcentagem de grãos nos frutos (café beneficiado) foi proposto o agrupamento dos genótipos pelo método UPGMA utilizando a distância euclidiana dos mesmos. Foi possível formar quatro grupos distintos formado por diversos genótipos, a saber: 1) grupo I - VP06 e AS4; 2) Grupo II –SN41, GJ08, L140, AS1, ZD156, LB080; 3) Grupo III (com o maior número de genótipos) - AS2, GJ03, AS6, AS7, LB015, A106, GJ25; 4) grupo IV - AS10 (Figura 1).

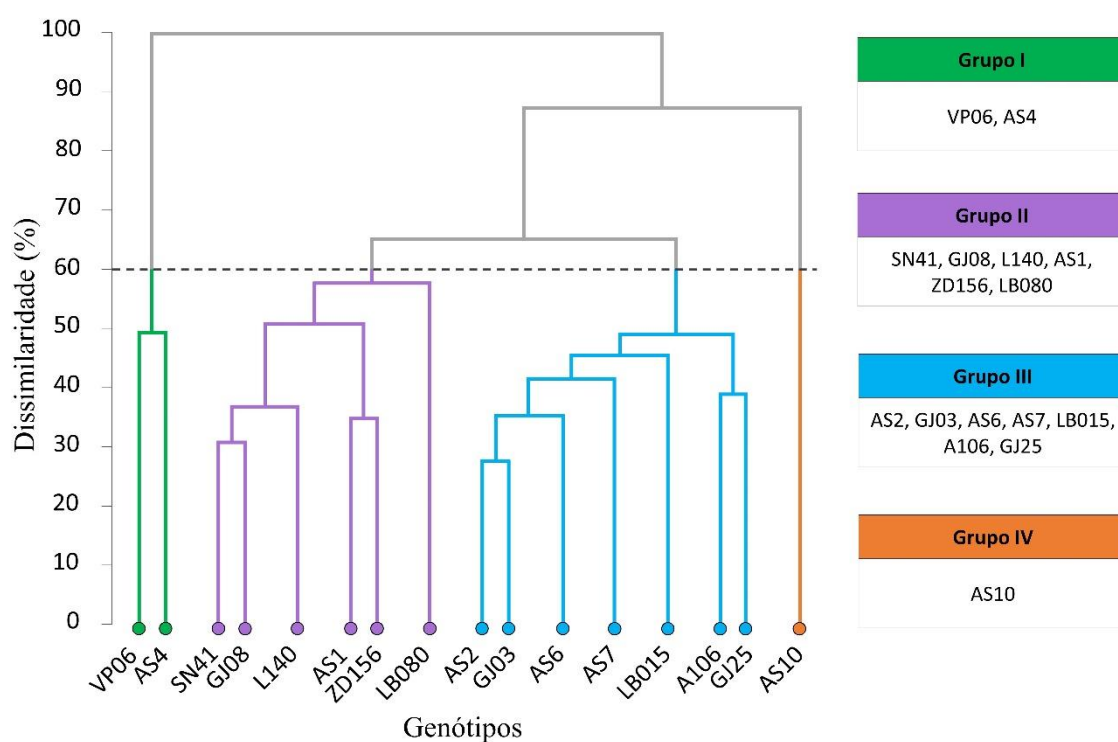


Figura 1 – Dendrograma representativo da dissimilaridade entre 16 genótipos de *C. canephora* obtido pelo método UPGMA utilizando a distância Euclidiana, considerando o acúmulo de nutrientes e porcentagem de grão nos frutos. Correlação cofenética: 0,77. Alta Floresta D'Oeste, RO - Brasil.

Pelo método de Tocher com base na distância euclidiana foram igualmente obtidos 4 grupos (Tabela 3), mas distintos dos obtidos pelo método IPGMA. O grupo I englobou a maioria dos genótipos, incluindo 11 dos 16 genótipos (AS2, GJ03, AS6, GJ25, AS7, AS1, LB015, ZD156, SN41, GJ08, L140). O grupo II incluiu dois genótipos (VP06,

AS4), o grupo III dois genótipos (A106, AS10) e o grupo IV apenas um genótipo (LB080).

Tabela 3 – Agrupamentos entre 16 genótipos de *C. canephora* obtido pelo método de Tocher com base na distância Euclidiana, considerando o acúmulo de nutrientes nos frutos e a porcentagem de palha/grão no fruto. Alta Floresta D'Oeste, RO - Brasil.

Grupos	Genótipos
I	AS2, GJ03, AS6, GJ25, AS7, AS1, LB015, ZD156, SN41, GJ08, L140
II	VP06, AS4
III	A106, AS10
IV	LB080

A contribuição relativa das características acúmulo de nutrientes nos frutos e a porcentagem palha/grãos foi calculada pelo método de Singh (Tabela 4). Foi observado uma amplitude de 23.39% a 0.10% entre as características e o acúmulo de B (23,39%) foi a contribuição mais significativa para a diversidade genética entre os 16 genótipos estudados, enquanto a relação entre grão e palha contribuiu com 18.68%.

Tabela 4 – Contribuição relativa do acúmulo de nutrientes nos frutos e porcentagem de grão/palha, para a diversidade genética em 16 genótipos de *C. canephora*, conforme método de Singh (1981). Alta Floresta D'Oeste, RO - Brasil.

Variáveis	S _j ¹	Valor (%)	Valor acumulado (%)
Acúmulo de boro	5843,6	23,4	23,4
Acúmulo de potássio	5472,4	21,9	45,3
Relação grão/palha	4665,7	18,7	63,9
Acúmulo de manganês	3889,5	15,6	79,5
Acúmulo de cobre	2417,0	9,7	89,2
Acúmulo de nitrogênio	1584,9	6,3	95,6
Acúmulo de zinco	693,4	2,8	98,3
Acúmulo de cálcio	242,1	0,9	99,3
Acúmulo de enxofre	105,6	0,4	99,7
Acúmulo de fósforo	43,5	0,2	99,9
Acúmulo de magnésio	25,9	0,1	100,0

¹S_j (Singh, 1981).

3.3- Acúmulo de nutrientes em fruto, grão e palha

Os genótipos VP06, AS10 e AS4 acumularam N no fruto semelhantemente em maior quantidade. O genótipo AS10 foi o que mais acumulou P e Zn. Para todos os

genótipos o acúmulo dos micronutrientes Fe e B foram iguais. O genótipo VP06 acumulou em maiores teores os nutrientes N, K, Ca, Mg, S e Mn, caracterizando como o genótipo altamente exigente nutricionalmente. O Genótipo GJ25 teve maior acúmulo de K semelhante ao VP06. Diferentemente, os genótipos que menos acumularam K foram L140, GJ08, LB080, LB015. Os genótipos L140, GJ08, LB080 também acumulou menos P e Ca em seus frutos (Tabela 5).

Tabela 5 – Acúmulo de nutrientes nos frutos (grão + palha) de 16 genótipos de *C. canephora* para a produção de uma tonelada de café beneficiado a 12% de umidade. Alta Floresta D'Oeste – RO, Brasil.

Genótipos	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	kg.ton ⁻¹						g.ton ⁻¹				
A106	26,5 b	2,9 b	28,7 b	5,3 b	2,3 b	4,1 b	26,4 a	50,8 a	19,4 d	11,0 b	31,2 a
AS2	23,6 b	2,7 c	27,3 b	5,5 b	2,2 b	3,9 b	19,6 b	44,6 a	19,4 d	8,9 c	29,5 a
GJ25	24,3 b	3,1 b	33,1 a	5,2 b	2,0 c	3,8 b	21,9 b	43,2 a	21,2 c	9,7 c	31,7 a
VP06	32,9 a	2,5 c	37,6 a	6,8 a	2,8 a	5,2 a	19,7 b	40,9 a	29,3 a	10,8 b	36,8 a
AS1	27,1 b	2,5 c	27,1 b	4,4 c	2,1 b	3,3 c	16,2 c	51,8 a	20,5 c	7,7 c	27,1 a
AS7	26,8 b	2,6 c	27,7 b	4,9 c	2,2 b	4,4 b	17,9 c	39,5 a	18,8 d	8,9 c	33,3 a
SN41	24,9 b	2,7 c	27,9 b	4,1 c	1,5 d	3,9 b	16,9 c	39,4 a	14,4 e	7,6 c	28,6 a
AS6	28,1 b	2,9 b	28,1 b	5,7 b	2,0 c	3,7 b	18,4 c	48,0 a	21,5 c	7,1 c	23,1 a
ZD156	27,5 b	3,2 b	30,3 b	4,0 c	2,3 b	3,1 c	18,6 c	30,3 a	17,2 d	9,1 c	23,8 a
AS10	29,1 a	4,1 a	30,8 b	5,8 b	2,3 b	3,9 b	21,1 b	37,0 a	19,3 d	13,1 a	24,8 a
AS4	30,6 a	3,2 b	28,7 b	6,8 a	2,6 a	4,4 b	19,8 b	35,9 a	25,9 b	8,8 c	39,3 a
L140	23,2 b	2,3 c	21,5 c	4,0 c	1,8 c	3,2 c	15,2 c	29,8 a	15,0 e	8,2 c	29,2 a
GJ08	26,2 b	2,6 c	23,0 c	4,1 c	1,7 d	3,1 c	12,9 c	36,5 a	16,2 e	7,7 c	26,8 a
LB080	25,8 b	2,4 c	18,1 c	3,7 c	1,7 d	2,3 d	14,7 c	26,8 a	14,4 e	6,9 c	20,4 a
LB015	24,9 b	2,8 b	20,9 c	5,7 b	2,3 b	3,2 c	17,1 c	30,0 a	21,2 c	11,3 b	27,4 a
GJ03	26,1 b	2,9 b	25,8 b	5,9 b	2,1 b	3,7 b	17,4 c	32,3 a	22,4 c	8,6 c	27,1 a
Resumo análise de variância											
Genótipos	3,3**	7,8**	8,8**	7,0**	10,9**	13,2**	6,7**	1,6 ^{ns}	23,5**	7,0**	2,2*
CV (%)	9,2	9,2	10,2	12,7	8,0	8,5	11,5	27,3	7,3	12,2	20,0
Média	26,7	2,8	27,3	5,1	2,2	3,7	18,4	38,6	19,8	9,1	28,7

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade.

Os Genótipos VP06, AS1, AS6, ZD156, AS10, AS4, GJ08, LB080 tiveram acúmulo semelhante para o nutriente N. Para o acúmulo de nutrientes no grão não houve diferença estatística entre os genótipos para os nutrientes P, Fe e B. Quando se observa o acúmulo de todos os nutrientes para cada genótipo, é possível destacar que o VP06 e o AS4 são os genótipos que mais acumulam nutrientes. O ZD156 foi o genótipo que mais acumulou K no grão e os genótipos AS10, L140, GJ08, LB80, LB015 foram os que menos acumularam K no grão (Tabela 6).

Tabela 6 – Acúmulo de nutrientes nos grãos de 16 genótipos de *C. canephora* para a produção de uma tonelada de café beneficiado a 12% de umidade. Alta Floresta D'Oeste – RO, Brasil.

Genótipos	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	kg.ton ⁻¹						g.ton ⁻¹				
A106	19,2 b	1,5 a	12,2b	1,9 c	1,3 a	1,5 b	13,3 a	19,4 a	11,8 a	5,8 a	11,3 a
AS2	19,2 b	1,7 a	12,9 b	2,2 b	1,3 a	1,7 b	11,8 a	15,7 a	12,1 a	4,4 b	13,6 a
GJ25	18,2 b	2,0 a	14,3 b	2,3 b	1,3 a	1,6 b	12,6 a	17,1 a	12,8 a	5,3 b	15,1 a
VP06	20,3 a	1,8 a	12,8 b	2,6 a	1,6 a	2,1 a	11,2 a	17,4 a	13,4 a	6,7 a	11,7 a
AS1	21,5 a	1,8 a	13,5 b	2,2 b	1,4 a	1,6 b	11,5 a	20,6 a	12,9 a	5,2 b	12,9 a
AS7	19,9 b	1,7 a	12,3 b	1,9 c	1,3 a	2,0 a	10,4 a	16,9 a	11,1 b	4,8 b	16,5 a
SN41	18,4 b	1,7 a	11,8 b	1,7 c	0,9 b	1,4 b	9,3 b	18,4 a	8,9 b	3,3 b	11,9 a
AS6	22,2 a	1,8 a	11,9 b	2,1 b	1,3 a	1,5 b	9,7 b	19,4 a	11,1 b	4,4 b	12,9 a
ZD156	21,4 a	2,0 a	17,6 a	1,9 c	1,2 a	1,2 c	11,6 a	18,9 a	10,5 b	4,4 b	13,9 a
AS10	20,4 a	2,2 a	10,4 c	1,8 c	1,3 a	1,1 c	9,6 b	19,7 a	11,1 b	4,9 b	16,7 a
AS4	21,1 a	1,8 a	12,6 b	2,4 a	1,3 a	1,4 b	10,7 a	18,2 a	12,5 a	4,4 b	11,6 a
L140	18,6 b	1,5 a	9,9 c	1,8 c	1,2 a	1,4 c	8,6 b	16,8 a	9,7 b	6,2 a	14,5 a
GJ08	21,1 a	1,7 a	10,9 c	1,6 c	1,0 b	1,1 c	6,5 b	20,6 a	9,7 b	3,9 b	16,8 a
LB080	21,9 a	1,7 a	10,1 c	1,9 c	1,3 a	1,7 b	9,2 b	17,9 a	10,3 b	4,8 b	11,8 a
LB015	18,9 b	1,7 a	10,9 c	2,2 b	1,1 b	1,17 c	8,6 b	18,1 a	12,2 a	6,45 a	11,3 a
GJ03	19,9 b	1,8 a	13,2 b	2,4 a	1,4 a	1,36 c	10,6 a	19,4 a	12,2 a	5,13 b	10,7 a

Resumo análise de variância											
Genótipos	2,51*	1,95 ^{ns}	5,73**	9,29**	5,41**	6,29**	4,03**	1,17 ^{ns}	4,98**	4,00**	1,46 ^{ns}
CV (%)	6,95	12,6	11,1	7,47	9,33	14,1	14,4	12,1	9,02	15,6	22,4
Média	20,2	1,79	12,3	2,05	1,28	1,52	10,3	18,4	11,4	5,02	13,4

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade.

Para palha somente o Fe não houve diferença entre os nutrientes. O genótipo VP06 os nutrientes N, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, B sendo o genótipo com maiores teores de acúmulo na palha, sendo este com o maior acúmulo de N, K e Mn em sua palhada. O segundo genótipo AS10 acumulou em maiores níveis os nutrientes P, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, sendo este o genótipo com o maior acúmulo de P e Zn em sua palha do fruto (Tabela 7).

Tabela 7 – Acúmulo de nutrientes na palha do fruto de 16 genótipos de *C. canephora* considerando a produção de uma tonelada de café beneficiado a 12% de umidade. Alta Floresta D'Oeste – RO, Brasil.

Genótipos	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	kg.ton ⁻¹						g.ton ⁻¹				
A106	7,3 c	1,42 b	16,5 c	3,4 a	1,1 a	2,61 b	13,0 a	31,4 a	7,7 d	5,1 b	19,9 a
AS2	4,4 c	1,07 c	14,5 c	3,4 a	0,9 b	2,23 c	7,84 b	28,9 a	7,3 d	4,5 b	15,9 b
GJ25	6,1 c	1,10 c	18,8 b	2,9 b	0,7 b	2,2 c	9,3 b	26,1 a	8,3 d	4,8 b	16,7 b
VP06	12,6 a	0,80 d	24,8 a	4,3 a	1,2 a	3,1 a	8,4 b	23,5 a	15,9 a	4,1 b	25,1 a
AS1	5,6 c	0,7 d	13,7 c	2,2 b	0,8 b	1,7 d	4,7 b	31,2 a	7,5 d	2,5 c	14,2 b

AS7	6,9 c	0,9 c	15,3 c	3,0 b	0,9 a	2,4 b	7,5 b	22,5 a	7,7 d	4,1 b	16,8 b
SN41	6,6 c	1,0 c	16,2 c	2,4 b	0,6 b	2,2 c	7,6 b	20,9 a	5,5 e	4,3 b	16,6 b
AS6	5,9 c	1,1 c	16,1 c	3,7 a	0,7 b	2,2 c	8,7 b	28,6 a	10,4 c	2,7 c	10,2 c
ZD156	6,1 c	1,1 c	12,6 d	2,1 b	1,1 a	1,9 d	7,0 b	11,5 a	6,8 e	4,7 b	9,9 c
AS10	8,8 b	1,9 a	20,4 b	4,1 a	1,1 a	2,9 a	11,5 a	17,4 a	8,2 d	8,2 a	8,2 c
AS4	9,5 b	1,4 b	16,1 c	4,5 a	1,3 a	2,7 b	9,1 b	17,6 a	13,4 b	4,4 b	27,8 a
L140	4,3 c	0,8 d	11,7 d	2,2 b	0,7 b	1,8 d	6,7 b	13,1 a	5,3 e	2,2 c	14,3 b
GJ08	5,1 c	0,9 c	12,1 d	2,6 b	0,7 b	2,1 c	6,5 b	15,9 a	6,5 e	3,8 b	9,9 c
LB080	3,9 c	0,7 d	8,1 d	1,9 b	0,5 b	0,7 e	5,5 b	8,9 a	4,2 e	2,1 c	8,7 c
LB015	5,9 c	1,1 c	10,0 d	3,6 a	1,2 a	2,1 c	8,6 b	12,0 a	8,9c	4,9 b	16,1 b
GJ03	6,2 c	1,1 c	12,7 d	3,6 a	0,8 b	2,4 b	6,9 b	12,9 a	10,2 c	3,5 b	16,4 b

Resumo análise de variância

Genótipos	4,28**	14,9**	7,1**	5,4**	8,9**	18,3**	3,8**	1,6 ^{ns}	20,5**	9,8**	5,2**
CV (%)	28,0	12,5	17,7	19,7	15,9	9,9	23,4	51,9	13,6	19,7	27,4
Média	6,57	1,08	14,9	3,12	0,9	2,2	8,1	20,2	8,4	4,1	15,4

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade.

3.4- Peso de fruto e relação de palha e grão

Foi observado que os genótipos apresentaram AS10, AS4, VP06, A106, AS7 os maiores peso de amostra e não houve diferença estatística no peso dos seus frutos seco sem beneficiamento. Já os genótipos L140, AS1, ZD156, LB080 os menores pesos e menores médias em amostras de café seco sem beneficiamento. E o maior número de genótipos GJ03, GJ08, GJ25, SN41, LB015, AS6, AS2 obtiveram médias semelhantes quanto a peso do fruto seco (Figura 2).

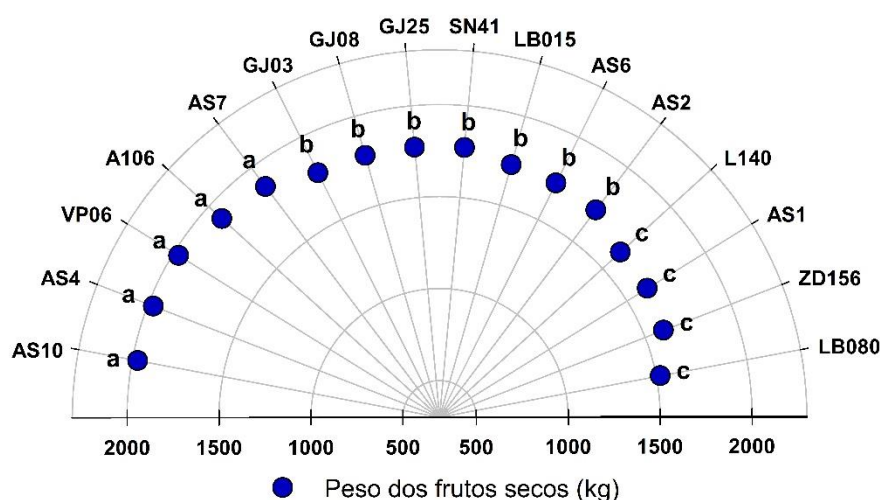


Figura 2 – Peso de frutos secos de 16 genótipos de *Coffea canephora* considerando a produção de uma tonelada de grãos beneficiados a 12%. Médias seguidas pela mesma letra entre os genótipos não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade. Alta Floresta D'Oeste, RO - Brasil.

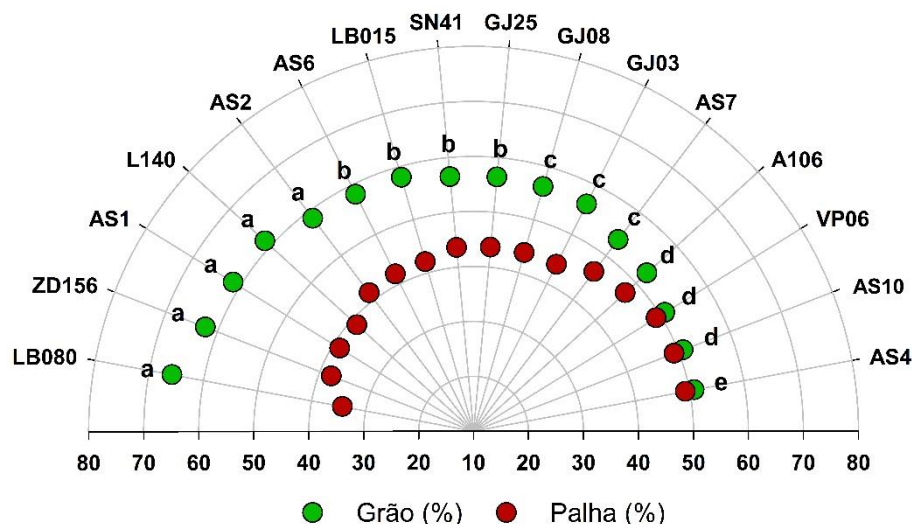


Figura 3 – Porcentagem de grão e palha nos frutos de 16 genótipos de *Coffea canephora*. Médias seguidas pela mesma letra entre os genótipos não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade. Alta Floresta D'Oeste, RO - Brasil.

Os genótipos LB80, ZD156, AS1, L140, AS2 constituem o grupo que apresentou a melhor relação grão/palha, onde de 60 a 70% do peso do fruto é composto por grão. Seguido do grupo de genótipos AS6, LB015, SN41, GJ25, foi possível observar que entre 60 e 50% do peso do fruto é composto pelo grão. Os genótipos GJ08, GJ03, AS7 tiveram a porcentagem em torno de 55 a 50% do fruto em relação a peso total do fruto. Os genótipos A 106, VP06 E AS10, próximo a 50% e o genótipo AS4 obteve o menor rendimento onde 50% do peso do fruto é composto por grão. Todos os genótipos obtiveram relação a acima de 50% na conversão de palha e grão (Figura 3).

3.5- Correlação entre os acúmulos de nutrientes no fruto e a relação de palha e grãos

O coeficiente de correlação pode variar em termos de valor de -1 a +1, um valor absoluto de 1 indica que os dados ordenados são perfeitamente lineares. Quanto mais próximo de 1 for o valor absoluto, mais forte é a relação entre as variáveis. Foram observadas 86 correlações entre os acúmulos de nutrientes em grão, palha e fruto, sendo 64 positivas e 22 negativas.

As relações negativas ocorreram para as variáveis relação % palha x % grão em todos os nutrientes e no acúmulo fruto x % grão em todos os nutrientes. As correlações positivas ocorreram entre acúmulo de grão x acúmulo no fruto, exceto para os micronutrientes Fe e B. Em todos os nutrientes apresentam correlação positiva entre

acúmulo de palha x acúmulo no fruto, acúmulo palha x % de palha, acúmulo palha x peso fruto, acúmulo fruto x % grão, acúmulo fruto x % palha e acúmulo fruto x Peso fruto.

Tabela 8 – Coeficientes de correlação de Spearman para o acúmulo de nutrientes em grãos, palha e frutos, relação de grão e palha nos frutos e peso dos frutos em genótipos de *C. canephora*. Alta Floresta D'Oeste, RO - Brasil.

Variáveis	Nutrientes										
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Acúmulo Grão x Acúmulo Palha	0,00	0,26	0,21	0,47	0,18	0,12	0,14	-0,13	0,55	0,03	-0,26
Acúmulo Grão x Acúmulo Fruto	0,62**	0,80**	0,55**	0,64**	0,54**	0,59**	0,66**	0,15	0,76**	0,57**	0,17
Acúmulo Grão x % Grão	0,18	-0,09	-0,03	-0,19	-0,12	-0,14	-0,05	0,07	-0,23	-0,15	-0,01
Acúmulo Grão x % Palha	-0,18	0,09	0,03	0,19	0,12	0,14	0,05	-0,07	0,23	0,15	0,01
Acúmulo Grão x Peso Fruto	-0,18	0,09	0,03	0,19	0,12	0,14	0,05	-0,07	0,23	0,15	0,01
Acúmulo Palha x Acúmulo Fruto	0,76**	0,74**	0,89**	0,96**	0,90**	0,83**	0,80**	0,93**	0,94**	0,78**	0,87**
Acúmulo Palha x % Grão	-0,65**	-0,58**	-0,68**	-0,72**	-0,55**	-0,92**	-0,68**	-0,45**	-0,58**	-0,61**	-0,47**
Acúmulo Palha x % Palha	0,65**	0,58**	0,68**	0,72**	0,55**	0,92**	0,68**	0,45**	0,58**	0,61**	0,47**
Acúmulo Palha x Peso Fruto	0,65**	0,58**	0,68**	0,72**	0,55**	0,92**	0,68**	0,45**	0,58**	0,61**	0,47**
Acúmulo fruto x % Grão	-0,38**	-0,39**	-0,52**	-0,66**	-0,52**	-0,79**	-0,55**	-0,36*	-0,47**	-0,58**	-0,54**
Acúmulo Fruto x % Palha	0,38**	0,39**	0,52**	0,66**	0,52**	0,79**	0,55**	0,36*	0,47**	0,58**	0,54**
Acúmulo Fruto x Peso Fruto	0,38**	0,39**	0,52**	0,66**	0,52**	0,79**	0,55**	0,36*	0,47**	0,58**	0,54**
% Grão x % Palha						-1,00					
% Grão x Peso Fruto						-1,00					
% Palha x Peso Fruto						1,00					

4. DISCUSSÃO

4.1- Parâmetros e diversidade genética

Os parâmetros genéticos CV_e , CV_g e H^2 , são parâmetros relevantes para utilização em programas de melhoramento, contribuindo para o processo de seleção no melhoramento genético (RODRIGUES et al., 2012). O coeficiente de variação ambiental (CV_e) determina o quanto determinada expressão fenotípica foi influenciada pelo ambiente. Valores inferiores a 20% indicam a baixa influência do ambiente e a precisão do experimento. Tal foi o caso para quase todos os parâmetros estudados (com exceção do acúmulo de Fe e B), sugerindo uma forte ligação genética a cada genótipo com particular destaque para a porcentagem grão e palha que mostrou o menor valor de CV_e (Tabela 2).

O coeficiente de variabilidade genética quantifica (CV_g) o quanto aquele caráter é influenciado pela sua carga genética, uma vez que trata de uma espécie alógama e auto-incompatível (ROCHA et al., 2013; MORAES et al., 2018).

Acúmulo de Manganês foi o nutriente que expressou o maior índice de herdabilidade. O coeficiente de herdabilidade (H^2) indica o quanto o caráter de um indivíduo pode ser repassado as suas descendências, podendo assim ser utilizado em programas de melhoramento genético (AKPERTEY et al., 2018). O acúmulo de diversos minerais mostrou valores próximos ou superiores a 90% relativamente ao coeficiente de herdabilidade (H^2), atingindo um máximo no valor relativo ao Mn. Esses resultados sugerem a predominância de componentes genéticos sobre os ambientais, desejáveis em programas de melhoramento genético (DUBBERSTEIN et al., 2019).

4.2- Agrupamentos de genótipos e contribuição genética

Baseado no acúmulo de nutrientes e porcentagem de palha e grão, o agrupamento dos genótipos pelo método UPGMA indicou a presença de quatro grupos de genótipos, com o AS10 a ficar num agrupamento singular, indicando a sua dissimilaridade com os demais genótipos avaliados. Pelo método de Tocher por sua vez, os dezesseis genótipos se agruparam de forma um pouco distinta. Desta feita, o genótipo LB080 permaneceu isolado em um grupo, enquanto AS10 e A106 formaram outro agrupamento. Pelo método Singh foi possível observar que o acúmulo de B, K e a relação palha/grãos influenciou em 23,39%, 21,90 e 18,68% respectivamente. A alta dissimilaridade entre os genótipos contribui significativamente para essas distinções entre os métodos (SENRA et al., 2020).

A espécie *C. canephora* é alógama e autoincompatível, essas características favorecem a singularidade de cada genótipo de forma natural, podendo ser visível no fenótipo ou não. Quanto mais heterogêneo o grupo em estudo, mais evidente será as dissimilaridades entre os indivíduos (MORAES et al., 2018).

Em avaliações anteriores com concentração de nutrientes em diferentes órgãos da planta Schmidt e colaboradores (2022) observaram seis grupos para os dezesseis genótipos, sendo três deles com um único genótipo, no entanto, genótipos como AS2, GJ03, ZD156 permaneceram no mesmo grupo como observado nesse experimento. Afinidades entre os genótipos em diferentes características como concentração de nutrientes em folhas, flores, frutos, acúmulo de nutrientes, peso do fruto e a relação de palha e grãos pós beneficiamento, favorece manejos a serem adotados durante o ciclo da planta, como manejo de adubação, irrigação, tratos culturais e principalmente colheita, já que frutos com o ciclo parecidos a maturação ocorre de forma semelhante (COVRE et al., 2018, MARTINS et al., 2019).

4.3- Acúmulo de nutrientes no fruto, grão e palha

O fruto do café possui três estruturas morfológicas Pericarpo (exocarpo, mesocarpo, endocarpo), o perisperma e endosperma, após o beneficiamento desses frutos é separado o grão das demais partes que se origina a “casca ou palha de café” (PARTELLI et al., 2021). A avaliação do acúmulo de nutrientes nos frutos, palha e grão é importante, nomeadamente para um correto manejo de adubação da lavoura. Resultados semelhantes entre genótipos para o N, P e K facilita o manejo nutricional, uma vez que é comum o uso de fórmulas prontas como o 20-05-20 e 20-0-20 (TORRES et al., 2021; TORRES et al., 2022). Para nutrientes como o N, que é altamente volátil e com alta demanda pela planta, é necessário conhecer a dinâmica de absorção e acúmulo nos vários os órgãos da planta desde a fase de viveiro (SANTOS et al., 2017; KOLLN et al., 2022).

Singularidades para o acúmulo de nutrientes foram observadas nos genótipos, a exemplo nos grãos de café o acúmulo de Ca foi maior que do P, para os dezesseis genótipos avaliados, indicando a necessidade de avaliações individuais entre os genótipos diferindo de resultados da literatura (COVRE et al., 2016; 2018; SANTOS et al., 2021). Nos frutos e na palha a ordem de acúmulo foi similar ao observado por Covre e colaboradores (2016). Estes relatam que para produzir uma tonelada de café conilon houve a seguinte ordem decrescente de acúmulo de nutrientes na casca do café: K> N> Ca> S> P> Mg e Fe> B> Mn> Zn> Cu. Em grãos de café, a ordem de acúmulo foi N>

K> P> Ca> S> Mg e Fe> B> Cu> Mn> Zn e frutos de café foi N> K> Ca> P> S> Mg e Fe> B> Cu> Mn> Zn. Em cafeeiros irrigados e não irrigados os nutrientes N, K e Ca foram os nutrientes mais acumulados em frutos e folhas (COVRE et al., 2018), pelo que um manejo equilibrado de adubação destes macronutrientes será necessário para garantir produtividades elevadas. Genótipos como o ZD156 que possui expressivo acúmulo do nutriente K para o fruto, em cultivos sem a devida correção dessa demanda pode resultar em baixo rendimento da cultura, uma vez que o K é um dos principais nutrientes responsáveis ao enchimento de frutos e posterior peso no grão (CLEMENTE et al., 2021). A falta de absorção e de acúmulo de K, Ca e S na planta, por exemplo, pode afetar também processos fisiológicos e redução da matéria seca da parte aérea, diminuindo a quantidade viável de ramos plagiotrópicos e estruturas florais (FLORES et al., 2016).

Os genótipos VP06 e o AS10 apresentaram os maiores acúmulos de todos os nutrientes em sua palha. Foi já reportado o acúmulo de altas concentrações de nutrientes na palha do fruto de café, principalmente N, P, K, Ca, Mg (SCHMIDT et al., 2022a; COVRE et al., 2018), tornando o manejo de ciclagem de nutrientes importante para o desenvolvimento da planta, uma vez que é na camada de matéria orgânica (0-20 cm) onde as raízes se concentram e retiram a maioria dos nutrientes (SCHMIDT et al., 2022b; SILVA et al., 2021).

4.4- Peso de fruto e relação de palha e grãos

O peso dos frutos seco (Figura 2) diferiu entre os genótipos, indicando uma variabilidade genética dentro do grupo. Os genótipos AS4, AS10, VP06, A106, AS7, apresentaram os melhores pesos e as melhores médias da relação porcentagem de grão e palha após o beneficiamento. Essas características elevam o patamar dos indivíduos dentro do programa de melhoramento. Por outro lado, indivíduo com baixa relação grãos e palha (L140, AS1, SD156 e LB080) pode comprometer o rendimento do genótipo ao longo da sua permanência dos ensaios de melhoramento ou em campos comerciais da cultura (SILVA et al., 2018, PARTELLI et al., 2021).

O acúmulo de massa fresca nos frutos é diretamente influenciado pela capacidade de absorção de nutrientes pelo fruto, condições ambientais e período exato de colheita com pelo menos 80% dos frutos cereja (PARTELLI et al., 2021). A relação entre palha e grãos é um dos pontos de referência que define se um fenótipo é produtivo em determinado ambiente, a ampla diversidade em campo favorece a seleção de grupos

semelhantes para o momento da colheita, facilitando assim a pós-colheita, beneficiamento dos grãos (SENRA et al., 2020; SILVA, et al., 2018).

4.5 - Correlação entre os acúmulos de nutrientes no fruto e relação de palha e grãos

As correlações positivas moderadas a fortes indicam o quanto determinadas características influenciam no fenótipo de cada indivíduo (DUBBERSTEIN et al., 2019). Para “acúmulo de palha x acúmulo fruto” obtiveram-se correlações positivas para todos os nutrientes, com particular destaque para os macronutrientes Ca e Mg, e micronutrientes Fe e Mn (Tabela 8). Os dois macronutrientes são altamente exigidos para a cultura do café principalmente na fase de crescimento da planta, floração do cafeeiro, enchimento de frutos e rendimento de grãos (FLORES et al., 2016; SCHMIDT et al., 2022b). A demanda nutricional desses nutrientes deve ser observada com cautela principalmente o manejo de adubação em períodos que antecedem a faixa crítica de suficiência como períodos pré florada e granação de frutos (LANA et al., 2010).

5. CONCLUSÕES

A heterogeneidade do grupo de genótipo favorece as aplicações dos testes em programas de melhoramento genético. É possível observar a distinção e a semelhança entre os indivíduos. Os genótipos dividiram-se em quatro grupos distintos, sendo o genótipo AS10 permaneceu isolado em um único grupo. O ZD156 foi o genótipo que mais acumulou K no grão. Os genótipos VP06 e o AS10 apresentaram os maiores acúmulos de nutrientes em sua palhada.

O genótipo LB080 obteve o menor peso de fruto seco e a menor porcentagem de grãos em relação a palha, evidenciando ser necessário mais fruto seco para obter uma tonelada de café beneficiado. O grupo de genótipos AS4, AS10, VP06, A106, AS7 possuem porcentagens de grãos em relação a palha similares, facilitando o manejo de colheita e posterior rendimento de secador.

Os nutrientes N, K, Ca e P são acumulados em maior quantidade, havendo necessidade de calibrar as dosagens de adubação mineral e os parcelamentos. A devolução da palha para incorporação no solo pode ajudar a garantir a ciclagem de nutrientes bem como a estruturação do solo através da matéria orgânica, diminuindo a necessidade de uso de fertilizantes químicos.

6. REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n. 6 p.711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

AKPERTEY, A.; ANIM-KWAPONG, E.; OFORI, A. Assessment of Genetic Diversity in Robusta Coffee Using Morphological Characters. **International Journal of Fruit Science**, v. 19, n.3, p. 276-299, 2018. DOI: 10.1080/15538362.2018.1502723.

BERTHAUD, J.; ANTHONY, F.; CHARRIER, A.; COUTURON, E.; Le PIERRES, D.; LOUARN, J. Les caféiers en Afrique: diversité génétique et amélioration des plantes. **Bulletin de la Société Botanique de France**. Actualités Botaniques, v.136, n. 3-4, p. 239-250, 1989. DOI: 10.1080/01811789.1989.10826978.

CARVALHO, A. M.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; GONÇALVES, F. M. A.; FERREIRA, A. D. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.3, p.269-275, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000300006.

CLEMENTE, J. M.; MARTINEZ, H. E. P.; ALVES, L. C.; FINGER, F. L.; PAULO ROBERTO CECON, P. R. Effects of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 37, n. 3, p. 297-305, 2015. DOI: 10.4025/actasciagron.v37i3.19063.

COVRE, A. M.; RODRIGUES, W. P.; VIEIRA, H. D.; BRAUN, H.; RAMALHO, J. C.; PARTELLI, F. L. Nutrient accumulation in bean and fruit from irrigated and non-irrigated *Coffea canephora* cv. Conilon. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 28, n.6, p. 402-409, 2016. DOI: 10.9755/ejfa.2016-04-341.

COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; TOMAZ, M. A.; RAMALHO, J. C. Impacts of water availability on macronutrients in fruit and leaves of conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, n.9, p.1025-1037, 2018 DOI: 10.1590/S0100-204X2018000900006.

CRUZ, C.D. Programa Genes - Ampliado e integrado aos aplicativos R, Matlab e Selegen. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.38, n.4, p.547-552, 2016. DOI: 10.4025/actasciagron.v38i4.32629.

DAVIS, A. P.; TOSH, F. L. S. J.; RUCH, N.; FAY FLS, M. F. Growing *coffee*: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**. v.167, p.357-377, Dez 2011. DOI: 10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x.

DUBBERSTEIN, D.; PARTELLI, F. L.; GUILHEN J.H.S.; RODRIGUES, W.P.; RAMALHO, J.C.; RIBEIRO-BARROS, A.I. Biometric traits as a tool for the identification and breeding of *Coffea canephora* genotypes, **Genetics and Molecular Research**, v.19, n. 2, 2020. DOI: 10.4238/gmr18541.

ESPINDULA, M. C.; TAVELLA, L. B.; SCHMIDT, R.; ROCHA, R. B.; DIAS, J. R. M.; BRAVIN, M. P.; Partelli, F. L. Yield of robusta coffee in different spatial arrangements. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 56, p. e02516, 2021. DOI: 10.1590/S1678-3921.

FERRÃO, M. A. G. ; MENDONÇA, R. F. ; FONSECA, A. F. A. da ; FERRAO, R. G. ; SENRA, J. F. B. ; VOLPI, P. S. ; VERDIN FILHO, A. C. ; MARCONE, COMERIO . Characterization and genetic diversity in genebank collection of *Coffea canephora* in Espírito Santo, Brasil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 22, p. 1-10, 2021. DOI: 10.1590/1984-70332021v21n2a32

FLORES, R. A.; BORGES, B. M. M. N.; HILÁRIO JÚNIOR ALMEIDA, H. J.; PRADO, R. de M. Growth and nutritional disorders of coffee cultivated in nutrient solutions with suppressed macronutrientes. **Journal of Plant Nutrition**, v.39, n.11, 1578-1588, DOI: 10.1080/01904167.2016.1161777.

GILES, J. A. D.; AYOAMA, E. M.; RAMALHO, J. C.; PARTELLI, F. L. Divergence and genetic parameters between *Coffea* sp. genotypes based in foliar morpho-anatomical traits. **Scientia Horticulturae**, v. 245, p. 231-236, 2019. DOI:10.1016/j.scienta.2018.09.038.

GILES, J.A.D.; PARTELLI, F.L.; FERREIRA, A.; RODRIGUES, J.P.; OLIOSI, G.; E SILVA, F.H.L. Genetic diversity of promising ‘conilon’ coffee clones based on morpho-agronomic variables. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v.90, n.2, p.2437–2446, 2018. DOI:10.1590/0001-3765201820170523.

KOLLN, A. M.; ESPINDULA, C. E.; ARAÚJO, L. F. B DE; CAMPANHARO, M.; ROCHA, R. B.; LOURENÇO, J. L. R. Influence of nitrogen fertilization in mother plants on the growth and quality of clonal seedlings of *Coffea canephora* ‘Robusta’ plants. **Ciência Rural**, v.52, n.9, p. 1-13, 2022. DOI: 0.1590/0103-8478cr20201008.

LANA, R. M. Q.; SEBASTIÃO ALBERTO DE OLIVEIRA, S. A. de; LANA, A. M. Q.; FARIA, M. V. de. Levantamento do estado nutricional de plantas de *Coffea arabica* L. pelo dris, na região do Alto Paranaíba - Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34 n.4, p.1147-1156 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000400014.

MARTINS, M. Q.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, A. BERNARDES, C. DE O.; GOLYNSKI, A.; VIEIRA, H. D.; FREITAS, M. S. M.; RAMALHO, J. C. Genetic variability on nutrient contents in *Coffea canephora* genotypes cultivated at 850 meters of altitude in two crop seasons. **Functional Plant Breeding Journal**, v.1, n.1 p. 1- 12, 2019. DOI: 10.35418/2526-4117/v1n1a6.

MORAES. M. S.; TEIXEIRA, A. L.; RAMALHO A. R.; ESPINDULA, M. C.; FERRÃO, M. A. G.; ROCHA, R. B. Characterization of gametophytic self-incompatibility of superior clones of *Coffea canephora*. **Genetics and Molecular Research**, v.17, n. 38, p. 1 -11, 2018. DOI: 10.4238/gmr16039876.

OLIOSI, G.; PARTELLI, F.L.; DA SILVA, C.A.; DUBBERSTEIN, D.; GONTIJO, I.; TOMAZ, M.T. Seasonal variation in leaf nutrient concentration of conilon coffee genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n.1, p. 74-85, 2020. DOI: 10.1080/01904167.2020.1792492.

PARTELLI, F. L.; GOLYNSKI, A.; FERREIRA, A.; MARTINS, M. Q.; MAURI, A. L.; RAMALHO, J. C.; DUARTE VIEIRA, H. D. Andina - First clonal cultivar of high-altitude conilon coffee. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v19, n.4, p. 476-480, 2019 DOI: 10.1590/1984-70332019v19n4c68.

PARTELLI, F. L.; GILES, J. A. D.; OLIOSI, G.; COVRE, A. M.; FERREIRA, A.; RODRIGUES, V. M. Tributun: a coffee cultivar developed in partnership with farmers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n.2, p. 1-4, 2020. DOI: 10.1590/1984-70332020v20n2c21.

PARTELLI, F. L.; OLIOSI, G.; DALAZEN, J. R.; SILVA, C. A. DA; VIEIRA, H. D.; ESPINDULA, M. C. Proportion of ripe fruit weight and volume to green coffee: Differences in 43 genotypes of *Coffea canephora*. **Agronomy Journal**, p.1-9, 2021. DOI: 10.1002/agj2.20617.

ROCHA, R. B.; VIEIRA, D. DOS S.; RAMALHO, A. R.; TEIXEIRA, A. L. Caracterização e uso da variabilidade genética de banco ativo de germoplasma de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. **Coffee Science**, v. 8, n. 4, p. 478-485 out./dez. 2013.

RODRIGUES, W. N.; TOMAZ, M. A.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; MIRANDA, F. D. Estimativa de parâmetros genéticos de grupos de clones de café conilon. **Coffee Science**. v. 7, n.2, 177-186, 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000100009.

SANTOS, T. B. DOS; LIMA, J. E.; FELICIO, M. S.; SOARES, J. D. M.; DOMINGUES, D. S. Genome-wide identification, classification and transcriptional analysis of nitrate and ammonium transporters in *Coffea*. **Genetics and Molecular Biology**, v.40, n.1 p. 346-359, 2017. DOI: 10.1590/1678-4685-GMB-2016-0041.

SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. A. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. DE; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** 5. ed., revisado e ampliado. – Brasília, DF: Embrapa, p. 356. 2018. ISBN 978-85-7035-800-4. Acesso: 20/02/2021.

SANTOS, M. M. dos; SILVA, C. A. da; OZA, E. F.; GONTIJO, I.; AMARAL, J. D. T.; PARTELLI, F. L. Concentration of Nutrients in Leaves, Flowers, and Fruits of Genotypes of *Coffea canephora*. **Plants**, v.10 n.12, p. 2661, 2021. DOI: 10.3390/plants10122661.

SCHMIDT, R.; SILVA, C. A. da; DUBBERSTEIN, D.; DIAS, J. R. M.; VIEIRA, H. D.; PARTELLI, F. L. Genetic Diversity Based on Nutrient Concentrations in Different Organs of Robusta Coffee. **Agronomy-Basel**, v. 12, p. 640-658, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12030640.

SCHMIDT, R.; SILVA, L. O. E.; FERREIRA, A.; GONTIJO, I.; GUIMARÃES, R. J.; RAMALHO, J. C.; PARTELLI, F. L. Variability of Root System Size and Distribution among *Coffea canephora* Genotypes. **Agronomy-Basel**, v. 12, n.3 p. 647-659, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12030647.

SENRA, J. F. de B.; FERRÃO, M. A. G.; MENDONÇA, R. F de; FONSECA, A. F. A da; FERRÃO, R. G.; VOLPI, P. S.; VERDIN FILHO, A. C.; COMÉRIO, M.; SILVA, M. W. da. Genetic Variability of Access of the Active Germplasm Bank of *Coffea canephora* of Incaper in Southern Espírito Santo. **Journal of Genetic Resources**, v.6, n.2, p. 172-184 2020. DOI: 10.22080/jgr.2020.19162.1194.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2nd ed., p. 627. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SILVA, D. O.; FERREIRA, F. M.; ROCHA, R. B.; ESPINDULA, M. C.; SPINEL, V. M. Genetic progress with selection of *Coffea canephora* clones of superior processed coffee yield. **Ciência Rural**, v.48, N.03, p. 1-7, 2018. DOI: 10.1590/0103-8478cr20170443.

SILVA, D. R.; DAMACENO, J. B. D.; ANDRADE, R. A.; DOMINGUES, C. G.; SILVA, C. A.; MARTINS, J. K. D.; TRASPADINI, E. I. F.; DUBBERSTEIN, D.; DIAS, JAIRO R. M. Compatibility test and agronomic performance of coffee genotypes (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) in the State of Rondônia, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 162 – 170, 2019. 10.5539/jas.v11n15p162.

SILVA, M. B. DA; PARTELLI, F. L.; GONTIJO, I.; CALDAS, M. M. Nutritional balance and its relationship to yield in a coffee field: Inferences from geospatial analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, n.12, p.834-839, 2020. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n12p834-839.

SILVA, L. O. E. S.; SCHMIDT, R.; VALANI, G. P.; FERREIRA, A.; RIBEIRO-BARROS, A. I.; PARTELLI, F. L. Root Trait Variability in *Coffea canephora* Genotypes and Its Relation to Plant Height and Crop Yield. **Agronomy**, v 10, n. 1394, p. 1-17, 2020. DOI: 10.3390/agronomy10091394.

Singh, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal Genetics & Plant Breeding**, v.41, n.2, p.237-245, 1981.

STARLING, L.C.T.; MARTINS, L.D.; RODRIGUES, W.N.; REINICKE, T.M.; COLODETTI, T.V.; AMARAL, J. F. T. DO; PARTELLI, F. L.; TOMAZ, M.A.; ESPINDULA, M. C. Genetic diversity in nutritional parameters in response to drought of *Coffea canephora* cultivated in Rondonia state, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v.18, n. 2, p. 1-12, 2019. DOI: 10.4238/gmr18300.

TORRES, J. D.; ESPINDULA, M. C.; ARAUJO, L. F. B.; MARCOLAN, A. L.; ROCHA, R. B. Grain yield of coffee plants fertilized with different doses of 20-00-20 npk formulation under rainfed conditions. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 486-493, 2021. DOI: 10.1590/1983-21252021v34n225rc.

TORRES, J. D.; ARAÚJO, L. F. B DE; ESPINDULA, M. C.; CAMPANHARO, M.; ROCHA, R. B. Export of macronutrients for coffee fruits submitted to different doses of formulation 20-00-20. **Journal of Plant Nutrition**, v.45, n.1, p.1-11, 2022. DOI: 10.1080/01904167.2022.2027975.

Observação: Os capítulos 3 e 4 seguem a formatação e diretrizes da Revista Agronomy – MDBI na qual foram publicados em fevereiro 2022. DOI: 10.3390/agronomy12030647; 10.3390/agronomy12030640.

CAPÍTULO 3

GENETIC DIVERSITY BASED ON NUTRIENT CONCENTRATIONS IN DIFFERENT ORGANS OF ROBUSTA COFFEE

Raquel Schmidt ¹, Cleidson Alves da Silva ², Danielly Dubberstein ³, Jairo Rafael Machado Dias ⁴, Henrique Duarte Vieira ⁵ and Fábio Luiz Partelli ^{6,*}

¹ Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória 29500-000, Espírito Santo, Brazil; schmidt_raquel@hotmail.com

² Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras 37200-000, Minas Gerais, Brazil; cleidsonsilva.cas@gmail.com

³ Instituto Federal de Rondônia and Instituição de Ensino Superior de Cacoal-Fanorte, Cacoal 76963-868, Rondônia, Brazil; dany_dubberstein@hotmail.com

⁴ Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura 76940-000, Rondônia, Brazil; jairorafaelmdias@hotmail.com

⁵ Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual Norte Fluminense-Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro 28013-602, Rio de Janeiro, Brazil; henrique@uenf.br

⁶ Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória 29500-000, Espírito Santo, Brazil

* Correspondence: partelli@yahoo.com.br

Abstract: The objective of this study was to evaluate nutrient concentrations in the flowers, leaves (pre-flowering and grain-filling period), grains, and husks of Robusta coffee genotypes cultivated in the Amazon region, as well as to identify their genetic diversity. This experiment was carried out in Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brazil, in randomized blocks with three replications; for the leaves, a factorial experimental design of sampling periods was included. The nutrient concentrations of the different evaluated organs were subjected to analysis of variance by the F test ($p < 0.01$), and the genetic parameters were estimated. To determine the genetic diversity, the genotypes were grouped by the UPGMA hierarchical method, and to predict it the relative importance of traits was analyzed. Genetic divergence among *Coffea canephora* genotypes was indicated by the leaf nutrient concentrations. At a maximum dissimilarity threshold of 82% for the genotypes, the UPGMA method formed six groups. Concentrations of nitrogen (N) and phosphorus (P) in the leaf sampling periods of pre-flowering and grain filling were not influenced by genotypes. The leaf and flower iron (Fe) concentrations contributed most to genetic divergence. For a nutritional diagnosis of Robusta coffee, it is important to take into account the comparisons of genetic diversity as well as the nutritional requirements during the flowering and grain-filling periods.

Keywords: clusters; *Coffea canephora*; genetic divergence; mineral nutrition

1. INTRODUCTION

Brazil is the world's largest coffee producer [1], and the two most important agricultural species of the genus *Coffea*, *Coffea arabica* and *C. canephora*, are produced on a large scale [2]. The cultivation of Robusta or Conilon coffee (*C. canephora*) is a relevant commercial agricultural activity in a number of Brazilian states, particularly in Espírito Santo, Rondônia, and Bahia [3]. This species accounts for 34% of the coffee output in the country and has other environmental and nutritional demands than *C. arabica*, in that the former is mainly adapted to hot and low-altitude regions, as found in northern Brazil [4–6].

Robusta/Conilon coffees are characterized by a wide genetic diversity and subdivided into several groups and subgroups. Within the species *C. canephora*, the so-called Congolese group includes the two most commonly cultivated botanical varieties, Conilon (SG1) and Robusta (SG2) [7,8]. Since allogamy and self-incompatibility can both be observed in the species [9,10], each genotype may have a performance pattern of its own in the same cultivation system, mainly with regard to nutrient uptake and response [11,12].

The wider use of management practices on plantations—e.g., pruning systems, soil acidity correction, fertility enhancement, irrigation, and the selection of superior geno-

[13,14]—is key to the success and maintenance of high yields of commercial crops in the country [15]. In view of the high genetic variability within a Robusta coffee plantation and the need for the balanced fertilization management of the different plant materials, the dynamics of accumulation and nutrient concentrations in the plant organs must be well understood to ensure safe decisions are made concerning when, how, and how much fertilizer should be applied to coffee crops [4,12,16].

Nutrients within a plant can be mobile, partially mobile, or immobile, and nutrient transition between plant organs occurs naturally and simultaneously [17,18]. The nutritional demand of flowers, leaves, and fruits is high due to physiological factors that are essential for the plant, such as photosynthesis, stomatal opening, pollination, and fruit formation. The nutrient concentration and accumulation in these organs depend on the plant cycle stage and tend to be particularly high during fruit maturation and vegetative growth [12,19].

Among the coffee trees cultivated in the Rondônia region, new varieties and genotypes pre-selected by producers and greenhouse growers have performed particularly well [20,21]. The Robusta coffee genotypes grown in this state are extremely productive and responsive to fertilization, although their nutrient uptake and concentration dynamics are still unknown. Therefore, the objective of this study was to evaluate the flower and leaf nutrient concentrations in the flowers, grains, husks, and leaves, the latter during both pre-flowering and grain-filling, as well as to identify the genetic diversity in Robusta coffee genotypes grown in the Amazon region.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1- Experimental Installation and Description of Area and Plant Material

The test was carried out on a private property in Alta Floresta D'Oeste–Rondônia, Brazil (latitude 12°08'51.86 S, longitude 62°04'95.03" W, at 440 m asl), where the mean annual temperature is 26 °C. The region has a tropical climate, classified as Aw, according to Köppen, with two distinct seasons: a dry period between June and October (Amazonian summer) and a rainy period between November and May (Amazonian winter) [22]. The chemical and physical properties of the soil, characterized as Latossolo vermelho eutrófico [23], are listed in Table 1.

The crop was planted in April 2018 with a spacing of 3.30 m between rows and 0.8 m between plants—i.e., a plant density of 3700 ha⁻¹. The studied Amazonian Robusta genotypes were arranged in rows, each of which represented a block. The trees were left to grow with two stems (approximately 7000 stems ha⁻¹). The cultural treatments were applied according to the crop needs to optimize the phytosanitary and nutritional crop management, and the water demand during dry periods was met by drip irrigation.

The genotypes used in the study (A106, AS2, GJ25, VP06, AS1, AS7, SN41, AS6, ZD156, AS10, AS4, L140, GJ08, LB080, LB015, and GJ03) were selected by the coffee producers and greenhouse growers of Rondônia based on the yield capacity of the trees. Thus far, they have not been registered by the Brazilian Ministry of Agriculture, Livestock, and Food Supply (MAPA).

Table 1. Particle size and chemical properties of six soil layers in an irrigated area planted with Robusta coffee (*Coffea canephora*) in Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brazil.

	Soil Layers (cm)					
	Particle Size Fractions					
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60
Total sand (g kg ⁻¹)	172	180	180	174	174	198
Silt (g kg ⁻¹)	428	400	440	406	386	342
Clay (g kg ⁻¹)	400	420	380	420	440	460
	Chemical Properties					
Soil Layers (cm)	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60
P (mg kg ⁻¹)	3	11	5	3	2	14
K (mg kg ⁻¹)	44	87	72	60	48	13
S (mg kg ⁻¹)	5	10	7	7	4	8
Ca (cmol kg ⁻¹)	4.4	4.7	4.8	4.4	4.5	4.8
Mg (cmol kg ⁻¹)	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.9
Al (cmol kg ⁻¹)	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.5
H + Al (cmol dm ⁻³)	3.1	4.2	3.6	3.3	3.3	5.0
pH-H ₂ O	5.8	5.3	5.6	5.8	5.9	5.5
SOM (dag kg ⁻¹)	2.1	2.5	2.5	2.1	2.4	3.1
Fe (mg kg ⁻¹)	111	80	99	96	92	78
Zn (mg kg ⁻¹)	1.2	9.9	1.7	1.8	1.5	8.8
Cu (mg kg ⁻¹)	2.4	2.8	2.8	2.8	2.4	4.7
Mn (mg kg ⁻¹)	184	208	196	207	168	287
B (mg kg ⁻¹)	0.25	0.58	0.62	0.83	0.51	0.71
Na (mg kg ⁻¹)	6.0	7.0	5.0	6.0	5.0	9.0
CEC (cmol kg ⁻¹)	8.34	9.95	9.31	8.58	8.64	11.07

H + Al: potential soil acidity; SOM: soil organic matter; CEC: cation exchange capacity.

2.2- Flower, Fruit, and Leaf Collection

The experiment was performed in randomized blocks with three replications and the leaves were evaluated in a factorial experimental design of sampling periods. The first leaves were collected during the pre-flowering period (July 2019) and the second in the grain-filling period of the coffee trees (February 2020). Twenty pairs of fully developed leaves were taken from the third or fourth rosette on plagiotropic branches in the middle third of the trees on the side with the least wind.

Flowers were collected when fully open and when the number of open flowers on the trees was the highest, which occurred in July 2020 in the morning, right after flowering. They were randomly taken from plagiotropic branches in the middle third on either side of the plant. The samples were stored in properly identified paper bags, placed in ice boxes, and taken to the laboratory.

Fruits were collected in the harvest period, between May and June 2020, when more than 80% of the fruits were ripe. Fruit samples (200 g fresh weight) were collected and dried under direct sun. Subsequently, the grains were processed by separating the beans from the husk. The samples were stored in clearly labelled paper bags, placed in ice boxes, and taken to the laboratory. There, the plant material was dried to a constant weight in a forced air circulation oven at 60 °C.

The flower, fruit, and leaf samples were sent to a laboratory for nutritional chemical analysis to determine the foliar concentrations of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S), iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), manganese (Mn), and boron (B), as described by Silva [24].

2.3- Statistical Analysis

Nutrient concentrations were subjected to an analysis of variance by the F test ($p < 0.01$) to detect genetic variation between genotypes. The experimental coefficient of variation (CVe), coefficient of genetic variation (CVg), and genotypic determination coefficient (H^2) were estimated for the concentration of each nutrient in the flowers, grains, husks, and leaves. The mean nutrient concentrations of the genotypes were grouped by the Scott-Knott test ($p < 0.05$).

To analyze genetic diversity, the Euclidean distance matrix was established as a dissimilarity measure and the genotypes were grouped by the hierarchical Unweighted Pair Group Method using Arithmetic Means (UPGMA) and the Tocher method. To obtain the distance matrix and the formation of clusters, the concentrations of nutrients in the flower, grain, husk, and leaf were used. The study of the relative importance of nutrient concentrations in predicting genetic diversity was also applied, as proposed by Singh [25]. In addition, Spearman correlation coefficients were calculated for macro- and micronutrient concentrations in the flowers, grains, husks, and leaves. All statistical analyses were performed using the Genes software [26].

3. RESULTS

3.1- Parameters and Genetic Diversity

The genetic parameters were estimated using the F test and no interaction between genotypes and nutrients was detected. The experimental coefficient of variation (CVe) was below 20% for almost all nutrients and organs studied. This low value indicates the low environmental influence and high experimental precision.

On the other hand, an environmental dependence of some nutrients was also observed in some exceptional cases, for example: for nutrient Fe in flowers (45.06%); B in grain (22.41%); N (27.91%), Fe (53.02%), and B (24.15%) in husks; and Fe (20.21%), Cu (25.64%), and B (24.98%) in leaves (Table 2).

Table 2. Estimates of the experimental coefficient of variation (CVe), coefficient of genetic variation (CVg), and genotypic determination coefficient (H^2) for nutrient concentrations in the flowers, grains, husks, and leaves of 16 *Coffea canephora* genotypes. Alta Floresta D'Oeste, RO, Brazil.

Nutrients	Flower			Grain			Husk			Leaf		
	CVe	CVg	H^2	CVe	CVg	H^2	CVe	CVg	H^2	CVe	CVg	H^2
	----- % -----											
N	7.02	4.26	52.50	6.77	4.95	61.57	27.91	8.46	21.61	9.50	4.60	58.44
P	10.25	5.04	41.99	12.64	7.09	48.52	9.39	18.85	92.36	11.94	1.88	12.93
K	13.03	8.68	57.07	11.07	13.92	82.57	12.77	15.73	81.98	14.39	15.88	87.96
Ca	13.12	12.48	73.09	7.49	12.42	89.20	15.17	13.34	69.85	11.81	15.94	91.62
Mg	8.93	11.19	82.49	9.33	11.37	81.67	11.74	18.45	88.12	19.21	17.08	82.58
S	8.99	5.52	53.06	14.83	19.30	83.57	7.17	3.47	41.21	14.51	3.11	21.65
Fe	45.06	45.25	75.16	11.46	3.92	25.97	53.02	22.04	34.15	20.21	29.13	92.58
Zn	13.03	8.90	58.32	15.64	15.64	74.99	19.32	20.15	76.54	11.79	9.51	79.63
Cu	12.96	13.43	76.32	14.39	14.47	75.21	20.04	13.43	57.41	25.64	17.72	74.14
Mn	13.34	10.06	63.06	8.25	11.77	85.94	10.73	24.48	93.98	12.92	24.25	95.48
B	15.26	13.45	69.97	22.41	8.93	32.27	24.15	16.12	57.19	24.98	17.39	74.41

The coefficient of genetic variation (CVg) indicates how far the result is influenced by the genetics of a plant—i.e., the higher the coefficient is, the greater the genetic influence is. For all nutrients and evaluated organs, values > 1 were observed; in flowers, the lowest value was found for N (4.26%) and the highest for Fe (45.25%). In coffee beans, the lowest value was found for Fe (3.92%) and the highest for S (19.30%). For husk, the lowest percentage was 3.47% for nutrient S and the highest was 24.48% for Mn. For leaves, the CVg was lowest for P (1.88%) and highest for Fe (29.13%) (Table 2).

The heritability index varied among nutrients and plant organs; values above 80 are considered optimal for selection based on heritability. In coffee flowers, H^2 ranged from 41.99% for nutrient P to 82.49% for Mg. For grains, the lowest value was found for Fe (25.97%) and the

highest for Ca (89.20%), while the H^2 of other nutrients such as K, Mg, S, and Mn also exceeded 80%. In husk, the lowest value was observed for N (21.61%) and the highest for Mn (93.98%), while the values for P, K, and Mg exceeded 80%. In leaves, P had the lowest H^2 index (12.93%) and Mn the highest (95.48%). The values of K, Ca, Mg, and Fe exceeded 80% (Table 2).

3.2- Groupings of Genotypes and Genetic Contribution

With the UPGMA hierarchical method, using the Euclidean distance as a measure of dissimilarity and based on the nutrient concentrations in the flowers, grains, husks and leaves, the genotypes were grouped according to the genetic distances among them. At a cut-off level of 82%, six distinct groups were observed (Figure 1). Groups I, II, and VI contained only one genotype (AS6, GJ08, and LB015, respectively), and Group III contained the genotypes AS1, AS7, and VP06. Group IV consisted of AS10, LB080, SN41, and L140 and group V was the most populous, with six genotypes (AS4, GJ03, AS2, GJ25, A106, and ZD156) (Figure 1).

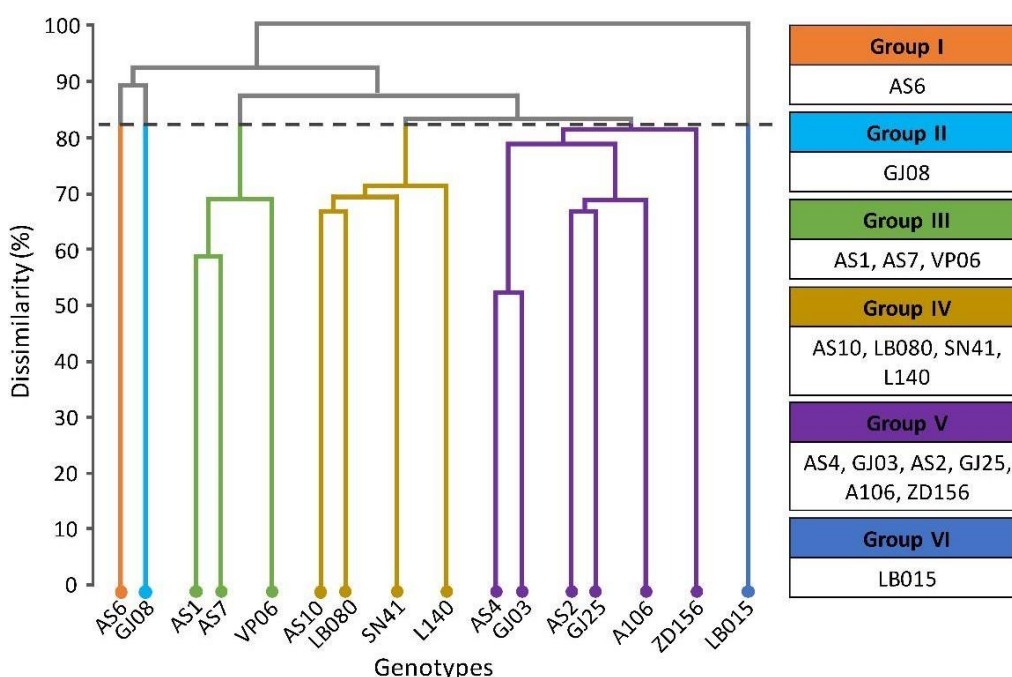


Figure 1. Dendrogram representing the genetic dissimilarity among 16 *Coffea canephora* genotypes based on the UPGMA grouping method and using the Euclidean distance to analyze the nutrient concentrations in the flower, grain, husk, and leaf tissues. Cophenetic correlation: 0.68.

Subtle differences between the clustering methods were observed. Tocher's method divided the genotypes into seven groups, of which four contained only one genotype. Using the UPGMA method, genotype GJ25 was assigned to group V, and using the Tocher method it was assigned to group II. The UPGMA method grouped genotype ZD156 in V together with five others, and by the Tocher method it was classified alone in group V (Table 3).

Although not allocated to an isolated group by the UPGMA method, genotype ZD 156 was also considered to be divergent by this method due to its high degree of dissimilarity; it was not grouped separately only because of the maximum dissimilarity threshold (82%) adopted in the dendrogram. To determine the relative contribution of macro- and micronutrient concentrations in different plant organs to the genetic diversity in 16 *C. canephora* genotypes, the method of Singh (1981) and mean Euclidean distance were used. A range of 69.93% to 0.12% was observed. The micronutrient Fe in leaves (69.93%) and flowers (21.47%) contributed most to the genetic diversity (Table 4).

Table 3. Clustering of 16 *Coffea canephora* genotypes by the Tocher method based on the Euclidean distance, considering the nutrient concentrations of flowers, grains, husks, and leaves. Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brazil.

Groups (Tocher)	Genotypes	Groups (UPGMA)
I	AS4, GJ03, AS2, A106	V
II	AS1, AS7, VP06, GJ25 *	III
III	AS10; LB080, SN41, L140	IV
IV	GJ08	II
V	ZD156 *	V
VI	AS6	I
VII	LB015	VI

* Genotypes grouped together by UPGMA.

Table 4. Relative contribution of the macro- and micronutrient concentrations in flowers, grains, husks, and leaves to genetic diversity in 16 genotypes of *Coffea canephora*, according to the Singh method [25] and based on the Euclidean distance. Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brazil.

Variables	S. j	Value (%)	Cumulative value (%)
Leaf Fe	1140153.54	69.93	69.93
Flower Fe	350017.28	21.47	91.40
Leaf Mn	93046.05	5.71	97.10
Leaf B	13688.46	0.84	97.94
Flower B	10051.63	0.62	98.56
Husk B	5224.38	0.32	98.88
Husk K	3145.26	0.19	99.07
Flower Cu	2110.62	0.13	99.20
Husk Mn	2060.74	0.13	99.33
Leaf Ca	1951.91	0.12	99.45
Flower Mn	1637.25	0.10	99.55
Other variables	7371.72	0.45	100

S.j: value estimated by the statistic of Singh [25].

3.3- Nutrient Concentration in Flowers, Grain and Husk

The N, K, and S concentrations in the flowers of Robusta coffee were not influenced by the genotypes, which were all grouped together by the Scott-Knott test (Table 5). For P and Ca, the genotype means were divided into two and for Mg into three dissimilarity groups, among which genotype GJ08 accounted for a group of its own. Genotype GJ25 was allocated to the group with the highest means for all macronutrients (Table 5).

The micronutrients Fe, Zn, Mn, and B were divided into two mean groups. The genotypes AS1, L140, and LB080 were practically always in the group with the highest micronutrient means. Micronutrient Cu was divided into three mean groups, of which genotype GJ08 represented a group of its own (Table 5).

For macronutrient P in the Robusta coffee beans, the genotypes had no influence on the nutrient concentration and were all grouped together by the Scott-Knott test (Table 6). For Mg, the genotypes were divided into two groups, where SN41, GJ08, and LB015 were isolated in the 2nd group, while for nitrogen two groups were formed as well, although with more balanced compositions. The nutrients K, Ca, and S were clustered in three groups of means. For K, genotype ZD156 had the highest mean and was allocated alone in the first group, while for Ca and S, genotype VP06 was grouped together with the genotypes with the highest means (Table 6).

Table 5. Macro- and micronutrient concentrations of flowers of 16 *Coffea canephora* genotypes. AltaFloresta D'Oeste, Rondônia, Brazil.

Genotypes	Macronutrients						Micronutrients				
	N	P	K	Ca (g kg ⁻¹)	Mg	S	Fe	Zn	Cu (mgkg ⁻¹)	Mn	B
A106	30.40 a	3.03 b	26.27 a	3.80 b	2.83 a	3.10 a	63.10 b	14.07 b	21.63 a	23.43 a	32.12 b
AS2	27.37 a	3.50 a	23.77 a	3.57 b	2.73 a	2.90 a	31.87 b	15.43 b	20.17 a	19.80 b	41.77 b
GJ25	27.83 a	3.53 a	28.23 a	4.67 a	2.87 a	3.40 a	44.67 b	17.00 a	22.60 a	24.80 a	39.08 b
VP06	29.70 a	3.10 b	25.33 a	4.23 a	2.50 b	3.23 a	28.50 b	13.87 b	19.03 b	21.77 a	35.49 b
AS1	27.57 a	3.23 b	31.10 a	4.57 a	3.17 a	2.93 a	32.53 b	17.03 a	22.80 a	22.10 a	49.47 a
AS7	29.23 a	3.50 a	25.67 a	3.80 b	2.57 b	3.13 a	33.33 b	14.93 b	17.90 b	21.23 a	42.29 b
SN41	28.07 a	3.53 a	27.70 a	3.27 b	2.27 b	3.13 a	106.47 a	17.87 a	22.27 a	16.37 b	41.27 b
AS6	28.30 a	3.53 a	22.87 a	2.87 b	2.33 b	3.23 a	52.43 b	12.40 b	16.80 b	17.70 b	37.05 b
ZD156	27.80 a	2.93 b	23.77 a	3.73 b	2.40 b	3.43 a	77.23 b	15.07 b	18.97 b	18.07 b	33.03 b
AS10	26.63 a	3.60 a	20.00 a	3.17 b	2.30 b	3.00 a	62.73 b	16.87 a	17.73 b	19.00 b	52.58 a
AS4	27.80 a	3.10 b	26.37 a	4.10 a	2.67 a	3.50 a	131.37 a	15.23 b	20.67 a	19.77 b	31.46 b
L140	31.57 a	2.90 b	23.73 a	3.57 b	2.30 b	3.77 a	113.80 a	17.30 a	19.63 a	20.40 b	51.05 a
GJ08	29.43 a	2.97 b	20.00 a	3.10 b	1.83 c	2.90 a	38.00 b	12.60 b	11.80 c	18.67 b	43.17 b
LB080	32.97 a	3.53 a	23.17 a	4.03 a	2.43 b	3.07 a	119.63 a	18.63 a	22.90 a	23.03 a	41.10 b
LB015	29.47 a	3.13 b	24.23 a	4.70 a	2.50 b	3.23 a	118.03 a	16.60 a	17.23 b	25.23 a	36.47 b
GJ03	30.63 a	3.37 a	24.57 a	4.00 a	2.33 b	3.43 a	116.90 a	15.00 b	16.57 b	18.40 b	36.53 b
	F Test Probability										
Genotypes	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B
Mean	1.99 ^{ns}	3.98*	1.96 ^{ns}	3.72**	5.71**	1.84 ^{ns}	4.03**	2.39*	4.22**	2.71**	3.33**

Means followed by a same letter in a column do not differ according to the Scott-Knot test at 5% probability. ^{ns}, **, and * mean not significant, significant at 1% probability, and significant at 5% probability, respectively, according to the *F* test.

The Fe and B concentrations in Robusta coffee grain did not differ among the genotypes, which were all clustered together. For the Zn and Cu concentrations, two mean groups were formed and three were formed for Mn. Genotype VP06 had the highest mean for Mn and was grouped separately, but was assigned to the groups with the highest means along with A106 for the other micronutrients (Table 6).

The N and S concentrations in the husk of Robusta coffee beans were not influenced by the genotypes, which were all allocated together by the Scott-Knot test (Table 6). The variation in means was greatest for nutrient P, for which the genotypes were separated in four groups, and genotype VP06 had the lowest observed mean (0.90). The macronutrients K and Ca formed two mean groups and for Mg the genotypes were divided into three groups. Genotype AS10 was assigned to the group with the highest means for practically all macronutrients.

The Fe concentration in the husk of Robusta coffee grain was not influenced by the genotypes, resulting in a single group according to the Scott-Knot test (Table 6). Zn, Cu, and B were divided into two mean groups, and for these nutrients the genotypes AS2, GJ25, and LB015 were grouped similarly in the groups with the highest means. The genotype means of micronutrient Mn were the most irregular, forming five groups. The first group consisted of genotype VP06; the second of the genotypes AS6 and AS4; the third of the genotypes AS1, LB015, and GJ03; the fourth of the genotypes AS2, GJ25, and ZD156; and the fifth of the genotypes A106, AS7, SN41, AS10, L140, GJ08, and LB080 (Table 6).

Table 6. Macro- and micronutrient concentrations in the grain and husk of 16 *Coffea canephora* genotypes. Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brazil.

Genotypes	Macronutrients						Micronutrients				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B
	Grain										
	(g.kg ⁻¹)										
	(mg.kg ⁻¹)										
A106	20.70b	1.63a	13.17b	2.10c	1.40a	1.60c	20.93a	6.37a	14.40a	12.70b	12.18a
AS2	20.70b	1.83a	13.97b	2.33 b	1.47a	1.83b	16.97a	4.77b	12.73a	13.10b	14.77a
GJ25	19.63b	2.17a	15.40b	2.43 b	1.40a	1.70b	18.50a	5.77b	13.60a	13.90b	16.30a
VP06	21.97a	1.90a	13.77b	2.77 a	1.73a	2.27a	18.80a	7.30a	12.13a	15.67a	12.68a
AS1	23.27a	2.00a	14.57b	2.33b	1.53a	1.70b	22.27a	5.63b	12.40a	14.03b	13.98 a
AS7	22.40a	1.83a	13.33b	2.07c	1.43a	2.23a	18.13a	5.27b	11.23a	12.03c	17.88a
SN41	19.87b	1.83a	12.77b	1.83c	1.00b	1.87b	19.90a	3.63b	10.07b	9.60c	12.80a

AS6	23.90a	2.00a	12.93b	2.23b	1.33a	1.67b	20.97a	4.77b	10.43b	11.97c	13.97a
ZD156	23.03a	2.20a	19.03a	2.10c	1.43a	1.27c	20.40a	4.77b	12.50a	11.30c	15.04a
AS10	22.00a	2.40a	11.23c	1.93c	1.40a	1.13c	21.23a	5.27b	10.33b	11.93c	18.01a
AS4	22.83a	1.97a	13.63b	2.57a	1.40a	1.87b	19.67a	4.77b	11.60a	13.50b	12.38a
L140	20.47b	1.67a	10.70c	2.00c	1.30a	1.50c	18.17a	6.50a	9.27b	10.47c	16.13a
GJ08	22.80a	1.83a	11.73c	1.70c	1.10b	1.13c	22.20a	4.30b	7.00b	10.53c	18.13a
LB080	23.67a	1.80a	10.90c	2.03c	1.37a	1.47c	19.43a	5.23b	9.93b	11.10c	12.70a
LB015	20.50b	1.87a	11.80c	2.37b	1.20b	1.27c	19.50a	6.97a	9.27b	13.17b	12.21a
GJ03	21.57b	1.97a	14.23b	2.57a	1.53a	1.47c	18.67a	5.53b	11.43a	13.20b	11.52a
Mean	21.83	1.93	13.32	2.21	1.38	1.62	19.73	5.43	11.15	12.39	14.42
Husk											
A106	8.73a	1.70b	19.90b	4.17b	1.27b	3.13a	36.57a	6.20a	15.77a	9.37e	24.03a
AS2	6.63a	1.60b	21.77a	5.13a	1.33b	3.37a	44.20a	6.80a	11.83a	11.17d	24.20a
GJ25	8.50a	1.53b	26.33a	4.13b	1.03c	3.07a	36.70a	6.10a	13.03a	11.67d	23.32a
VP06	13.93a	0.90d	27.57a	4.77a	1.33b	3.50a	26.20a	4.50b	9.53b	17.70a	27.78a
AS1	9.67a	1.27c	23.43a	3.80b	1.30b	2.97a	52.80a	4.23b	8.17b	12.87c	24.51a
AS7	8.50a	1.17c	18.87b	3.70b	1.17b	3.00a	28.30a	5.03b	9.17b	9.53e	20.65a
SN41	9.20a	1.40c	22.67a	3.37b	0.90c	3.03a	29.23a	6.00a	10.70b	7.73e	23.19a
AS6	8.97a	1.63b	24.13a	5.50a	1.63a	3.33a	42.87a	4.03b	13.07a	15.63b	15.39b
ZD156	8.73a	2.00a	22.50a	3.70b	1.20b	3.37a	20.53a	8.30a	12.47a	12.00d	17.50b
AS10	9.90a	2.13a	22.47a	4.47a	1.17b	3.20a	19.43a	6.13a	12.80a	8.87e	16.43b
AS4	10.63a	1.53b	17.93b	5.03a	1.47a	2.97a	19.77a	4.87b	10.10b	15.00b	31.19a
L140	7.33a	1.37c	20.03b	3.83b	1.17b	3.13a	22.33a	3.77b	11.43a	9.17e	24.38a
GJ08	7.57a	1.33c	16.90b	3.57b	0.93c	2.97a	22.20a	5.23b	9.03b	9.03e	13.87b
LB080	8.30a	1.47c	16.63b	3.90b	0.97c	3.17a	18.30a	4.43b	11.40a	8.63e	17.60b
LB015	8.77a	1.63b	14.90b	5.33a	1.77a	3.13a	17.97a	7.20a	12.73a	13.30c	23.32a
GJ03	8.50a	1.53b	17.43b	4.93a	1.07c	3.37a	21.00a	4.87b	9.40b	14.03c	22.92a
Mean	8.99	1.51	20.84	4.33	1.23	3.17	28.65	5.48	11.29	11.61	21.89

Means followed by the same letter in a column do not differ according to the Scott–Knot test at 5% probability.^{ns}, **, and * mean not significant, significant at 1% probability, and significant at 5% probability, respectively, according to the *F* test.

3.4- Nutrient Concentrations in Coffee Leaves in Two Sampling Periods

The nutrient concentrations in the leaves of the genotypes at pre-flowering and grain filling were compared. For N and P, there was no difference between genotypes in the two evaluation periods (Table 7). For nutrient K in pre-flowering, the genotypes VP06, AS1, AS7, SN41, ZD156, AS4, L140, GJ08, and GJ03 were grouped together and A106, AS2, GJ25, AS6, AS10, LB080, and LB015 were grouped together in the second group of means. However, four mean groups were observed for this nutrient in the second evaluation during the grain-filling period—i.e., genotypes AS1 and L140 in the first; VP06 alone in the second; AS2, GJ25, AS7, ZD156, AS10, GJ08, LB080, and GJ03 in the third; and A106, SN41, AS6, AS4, and LB015 in the fourth (Table 7).

Table 7. Leaf macronutrient concentrations in 16 *Coffea canephora* genotypes during pre-flowering and grain-filling. Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brazil.

Genotypes	Macronutrients (g kg ⁻¹)													
	N		P		K		Ca		Mg		S			
	Pre-Flowering	Grain-Filling	Pre-Flowering	Grain-Filling	Pre-Flowering	Grain-Filling	Pre-Flowering	Grain-Filling	Pre-Flowering	Grain-Filling	Pre-Flowering	Grain-Filling		
A106	17.07 Aa	17.07 Aa	1.20 Aa	1.33 Aa	8.47 Ba	8.87 Da	18.00 Ca	12.37 Cb	4.20 Ba	2.50 Cb	2.10 Ba	1.73 Ba		
AS2	19.67 Aa	21.83 Aa	1.03 Aa	1.23 Aa	8.53 Bb	11.93 Ca	21.67 Ba	12.83 Cb	5.50 Aa	2.73 Bb	2.27 Aa	1.87 Ba		
GJ25	15.73 Aa	17.90 Aa	1.10 Aa	1.13 Aa	8.07 Bb	11.10 Ca	20.50 Ba	13.80 Bb	4.70 Ba	2.80 Bb	1.93 Ba	1.63 Ba		
VP06	17.07 Aa	16.83 Aa	1.13 Aa	0.90 Ab	9.80 Ab	13.70 Ba	14.03 Da	11.17 Ca	2.77 Ca	2.10 Ca	1.80 Ba	1.87 Ba		
AS1	17.27 Aa	18.13 Aa	1.07 Aa	1.10 Aa	11.53 Ab	16.93 Aa	16.07 Ca	12.13 Cb	3.40 Ca	2.67 Ba	2.00 Ba	1.47 Bb		
AS7	18.33 Aa	17.70 Aa	0.97 Ab	1.27 Aa	10.20 Aa	11.97 Ca	12.60 Da	10.57 Ca	2.87 Ca	1.87 Ca	2.03 Ba	1.57 Bb		
SN41	17.50 Aa	18.13 Aa	1.27 Aa	1.00 Ab	10.57 Aa	8.13 Db	17.50 Ca	20.57 Aa	2.83 Cb	5.03 Aa	1.93 Ba	1.70 Ba		
AS6	15.53 Ab	18.80 Aa	1.20 Aa	1.07 Aa	8.17 Ba	7.20 Da	16.83 Ca	19.70 Aa	3.17 Cb	4.77 Aa	2.43 Aa	1.77 Bb		
ZD156	16.40 Aa	17.23 Aa	1.10 Aa	0.97 Aa	10.90 Aa	11.00 Ca	16.90 Ca	15.50 Ba	3.07 Ca	3.27 Ba	2.47 Aa	1.50 Bb		
AS10	15.30 Aa	17.03 Aa	1.23 Aa	1.07 Aa	8.60 Bb	12.07 Ca	17.67 Ca	16.27 Ba	3.77 Ca	3.43 Ba	2.33 Aa	1.50 Bb		
AS4	18.13 Aa	18.13 Aa	1.13 Aa	1.13 Aa	9.67 Aa	9.03 Da	18.00 Cb	21.60 Aa	3.63 Ca	4.40 Aa	2.20 Aa	1.37 Bb		
L140	16.60 Aa	16.40 Aa	1.23 Aa	1.13 Aa	9.33 Ab	15.77 Aa	23.37 Aa	13.77 Bb	4.53 Ba	2.00 Cb	2.07 Ba	1.57 Bb		
GJ08	17.03 Aa	19.23 Aa	1.17 Aa	1.20 Aa	11.67 Aa	9.93 Ca	17.43 Ca	15.33 Ba	3.00 Ca	2.93 Ba	2.30 Aa	1.87 Ba		
LB080	15.97 Aa	18.37 Aa	1.17 Aa	1.20 Aa	7.43 Bb	10.50 Ca	25.57 Aa	19.50 Ab	5.93 Aa	3.37 Bb	2.03 Ba	1.47 Bb		
LB015	16.60 Ab	19.90 Aa	1.17 Aa	1.07 Aa	6.73 Ba	8.40 Da	20.37 Ba	21.00 Aa	4.63 Ba	4.33 Aa	1.83 Ba	1.73 Ba		
GJ03	15.50 Ab	19.33 Aa	1.13 Aa	1.13 Aa	9.83 Aa	10.93 Ca	16.60 Ca	18.83 Aa	3.10 Ca	3.43 Ba	1.47 Bb	2.57 Aa		
Mean	16.86 b	18.25 a	1.14 a	1.12 a	9.34 b	11.09 a	18.32 a	15.93 b	3.82 a	3.23 b	2.07 a	1.70 b		
<i>F</i> test probability														
	N		P		K		Ca		Mg		S			
Genotype (G)	2.441 *		1.17 ^{ns}		8.57 **		11.97 **		5.78 **		1.30 ^{ns}			
Seasons (S)	17.07 **		0.71 ^{ns}		34.99 **		33.52 **		18.49 **		46.42 **			
G × S	1.57 *		1.99 *		4.61 **		6.49 **		7.02 **		4.64 **			

Means followed by equal letters, lowercase in rows and uppercase in columns, do not differ from each other according to the *F* and Scott–Knott test, respectively, at 5% probability. ^{ns}, **, and * mean not significant, significant at 1% probability, and significant at 5% probability, respectively, according to the *F* test.

For nutrient Ca, an irregular concentration among the genotypes and between the evaluation periods was observed. In the pre-flowering period, the genotypes were grouped into four mean groups: the first with genotypes L140 and LB080; the second with genotypes AS2, GJ25, and LB015; the third with most of the genotypes—namely, A106, AS1, SN41, AS6, ZD156, AS10, AS4, GJ08, and GJ03; and the fourth with the genotypes VP06 and AS7. For the grain-filling period, however, the genotypes were grouped into three mean groups. The first comprised the genotypes SN41, AS6, AS4, LB080, LB015, and GJ03; the second comprised the genotypes GJ25, ZD156, AS10, L140, and GJ08; and the third comprised the genotypes A106, AS2, VP06, AS1, and AS7 (Table 7). For Mg in the pre-flowering period, the genotypes were grouped into three groups. The first clustered genotypes AS2 and LB080; the second clustered genotypes A106, GJ25, L140, and LB015; and the third clustered the genotypes with the lowest means—i.e., VP06, AS1, AS7, SN41, AS6, ZD156, AS10, AS4, GJ08, and GJ03. In the grain-filling period, the 16 genotypes were also divided into three groups, but differently. The first group consisted of genotypes SN41, AS6, AS4, and LB015, the second of genotypes AS2, GJ25, AS1, ZD156, AS10, GJ08, LB080, and GJ03; and the third of genotypes A106, VP06, AS7, and L140 (Table 7).

For nutrient S in the pre-flowering period, the 16 genotypes were divided into two mean groups. The first group clustered genotypes AS2, AS6, ZD156, AS10, AS4, and GJ08 and the second clustered genotypes A106, GJ25, VP06, AS1, AS7, SN41, L140, LB080, LB015, and GJ03. For the grain-filling period, the genotypes were also grouped into two mean groups; however, genotype GJ03 with the highest mean was grouped alone in the first group and the others without statistical difference in the second (Table 7).

An evaluation of the interaction of genotypes with nutrients showed that the means of genotype GJ08 were equal in all periods and for all nutrients. Genotype LB015 differed only for N, where the mean during the pre-flowering period was higher than that in the grain-filling period. On the other hand, genotype ZD156 differed only for nutrient S; during the pre-flowering period, it had a higher concentration than in the grain-filling period (Table 7). The genotypes A106, AS2, GJ25, AS1, L140, and LB080 had lower means of Ca and Mg in the grain-filling period. For nutrient N, the means of the genotypes AS6, LB015, and GJ03 were irregular, with the highest mean occurring in the grain-filling period.

The performance pattern of the micronutrients differed from that of the macronutrients. For Fe during pre-flowering, the genotypes were grouped into two clusters with similar means within the groups, while for the grain-filling period this pattern was different and the 16 genotypes were divided into four groups. The genotypes LB015 and GJ03 were assigned to the group with the highest means in both physiological plant stages. For the pre-flowering stage, micronutrient Zn was divided into two groups. Similarly, for grain-filling the genotypes were divided into two groups, but differently. Genotype A106 was always in the group with the highest means in both tested phenological stages of the coffee tree (Table 8).

For both phases, the Cu concentrations were separated into three mean groups. Genotypes AS6 and ZD156 were assigned to the group with the highest means during pre-flowering. During grain-filling, the only genotype with a higher mean was LB015. For Mn, the 16 genotypes were divided into four mean groups for the pre-flowering stage and three for the grain-filling stage. The LB015 genotype presented the highest average in both phenological stages and was grouped separately (Table 8).

For B concentrations during pre-flowering and grain-filling, the genotypes were divided into three groups in both stages, although the clusters had different structures. Genotypes GJ25 and VP06 were allocated in the group with the highest mean in both stages; however, in the grain-filling period, another 13 genotypes had similar means (Table 8). The means of genotypes AS1, AS7, and LB080 were not influenced by the evaluation period for any micronutrient. In turn, at least four of the five micronutrient concentrations in genotypes GJ08, SN41, and LB015 were not influenced by the assessment period (Table 8).

Table 8. Leaf micronutrient concentrations in 16 *Coffea canephora* genotypes during the pre-flowering and grain-filling periods. Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brazil.

	Micronutrients (mg kg ⁻¹)									
	Fe		Zn		Cu		Mn		B	
	Pre-Flowering	Grain-Filling	Pre-Flowering	Grain-Filling	Pre-Flowering	Grain-Filling	Pre-Flowering	Grain-Filling	Pre-Flowering	Grain-Filling
A106	173.93 Ba	178.03 Da	7.93 Ab	10.93 Aa	11.10 Ba	5.30 Cb	92.20 Ba	72.70 Cb	36.26 Ba	13.03 Cb
AS2	172.10 Ba	124.60 Da	8.33 Aa	8.77 Ba	7.97 Ca	3.13 Cb	83.30 Ba	63.03 Cb	34.93 Ba	31.42 Ba
GJ25	181.30 Ba	144.57 Da	8.03 Aa	7.90 Ba	10.80 Ba	5.90 Cb	76.43 Ca	61.10 Ca	56.99 Aa	40.36 Ab
VP06	148.87 Ba	179.30 Da	7.00 Ba	6.73 Ba	7.87 Ca	3.30 Cb	61.10 Da	66.03 Ca	56.30 Aa	38.94 Ab
AS1	124.67 Ba	166.00 Da	7.17 Ba	8.13 Ba	8.13 Ca	5.33 Ca	68.90 Ca	71.87 Ca	43.70 Ba	43.67 Aa
AS7	170.30 Ba	181.60 Da	5.87 Ba	7.00 Ba	6.80 Ca	5.83 Ca	53.93 Da	54.47 Ca	34.46 Ba	45.62 Aa
SN41	177.10 Ba	251.57 Ca	6.57 Ba	7.57 Ba	8.07 Ca	6.13 Ca	55.43 Db	82.70 Ba	20.45 Cb	42.03 Aa
AS6	172.03 Bb	265.03 Ca	6.20 Ba	6.97 Ba	14.53 Aa	5.17 Cb	57.27 Db	76.37 Ca	14.46 Cb	45.69 Aa
ZD156	210.27 Ba	221.93 Ca	6.43 Bb	8.30 Ba	14.43 Aa	5.50 Cb	76.93 Ca	85.33 Ba	40.82 Ba	37.70 Aa
AS10	207.47 Bb	327.17 Ba	6.00 Bb	7.97 Ba	6.70 Ca	6.63 Ca	57.43 Db	93.40 Ba	31.29 Ca	42.51 Aa
AS4	269.07 Ab	359.27 Ba	6.93 Bb	8.93 Ba	10.70 Ba	4.33 Cb	68.30 Cb	90.43 Ba	26.44 Cb	50.85 Aa
L140	213.13 Ba	213.37 Ca	6.93 Bb	10.37 Aa	6.43 Ca	8.07 Ba	90.07 Ba	71.47 Cb	22.51 Cb	45.24 Aa
GJ08	238.57 Aa	261.10 Ca	6.87 Ba	7.90 Ba	8.33 Ca	7.47 Ba	80.47 Ca	95.60 Ba	30.37 Cb	46.84 Aa
LB080	235.50 Aa	290.63 Ba	6.77 Ba	8.00 Ba	6.13 Ca	5.13 Ca	94.23 Ba	97.77 Ba	37.65 Ba	48.58 Aa
LB015	286.43 Ab	426.47 Aa	7.30 Ba	8.73 Ba	8.43 Ca	11.10 Aa	133.43 Ab	152.60 Aa	45.38 Ba	46.48 Aa
GJ03	297.37 Ab	415.83 Aa	8.03 Aa	8.63 Ba	5.37 Ca	6.23 Ca	61.87 Db	92.87 Ba	15.97 Cb	31.94 Ba
Mean	204.88 b	250.40 a	7.02 b	8.30 a	8.86 a	5.91 b	75.71 b	82.98 a	34.25 b	40.68 a
<i>F</i> Test Probability										
	Fe		Zn		Cu		Mn		B	
Genotypes (G)	13.8776 **		4.79 **		3.91 **		22.83 **		3.78 **	
Seasons (S)	24.2149 **		47.0371 **		59.05 **		12.47 **		10.98 **	
G × S	2.2987 *		3.16 **		5.51 **		4.99 **		4.34 **	

Means followed by equal letters, lowercase in rows and uppercase in columns, do not differ from each other according to the *F* and Scott-Knott test, respectively, at 5% probability. ** and * mean significant at 1 and 5% probability, respectively, according to the *F* test.

3.5- Correlation between Nutrient Concentrations of Flowers, Grain, Husk, and Leaves during Pre-Flowering and during Grain-Filling

Using Spearman's correlation coefficients for macro- and micronutrient concentrations in the flowers, grains, husks, and leaves of 16 genotypes, a total of 50 significant correlations were detected, 7 of which were negative. Positive and significant correlations were confirmed for the relationships Flower Grain for the nutrients K, Ca, and Mg and micronutrients Cu, Mn, and B. For the relationship Flower Husk, significance was only observed for K. For the correlation between Flower Leaf in the pre-flowering period, positive correlations were observed for macronutrient Mg and for the micronutrients Fe and Mn. The correlation Flower Leaf in the grain-filling period was only positive for the micronutrients Fe and Zn, and the correlation Flower Leaf was only positive in both periods for Fe (Table 9).

For the relationships of grain with the other plant parts, only husk had a strong and positive correlation for the macronutrients P, K, and Ca and for the micronutrient Mn. For the relationships of husk with the other organs, only Husk Leaf had a weak positive correlation for nutrient P during grain-filling, and only Husk Leaf had a weak positive correlation for micronutrient Cu in both periods (Table 9).

When correlating the two leaf sampling periods (leaf in pre-flowering leaf in grain-filling), positive correlations were observed for nutrients K and Fe only. However, when correlating pre-flowering and grain-filling with the mean of the two periods, positive correlations were found for all nutrients (Table 9).

Negative correlations were observed between Flower Husk for the micronutrient Fe and Flower Leaf in the pre-flowering period for N. Negative correlations with grain were observed for Grain Leaf in the grain-filling period for Mg and Cu. For Fe, negative values were observed for all correlations of husk with the other organs (Table 9).

Table 9. Spearman correlation coefficients for macro- and micronutrient concentrations in flowers, grain, husk and leaves of 16 genotypes of *Coffea canephora*. Alta Floresta D'Oeste, Rondônia - Brazil.

Variables	Nutrients										
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Flower x Grain	-0.09	0.11	0.31*	0.50**	0.49**	0.12	0.02	0.36*	0.42**	0.08	0.29*
Flower x Husk	-0.13	0.15	0.32*	0.21	0.28	0.03	-0.52**	0.09	0.07	0.13	-0.04
Flower x Leaf in pre-flowering	-0.32*	-0.02	0.10	0.08	0.29*	-0.04	0.58**	0.12	0.39**	-0.04	0.10
Flower x Leaf in grain-filling	0.06	0.09	0.10	-0.06	-0.24	-0.12	0.57**	-0.10	-0.05	0.32*	0.25
Flower x Leaf in both periods	-0.11	0.01	0.08	0.02	0.07	-0.08	0.65**	-0.02	0.13	0.18	0.21
Grain x Husk	0.08	0.32*	0.29*	0.53**	0.16	-0.02	0.00	0.02	0.60**	-0.09	-0.22
Grain x Leaf in pre-flowering	0.03	-0.05	0.11	-0.10	0.02	-0.07	0.08	0.25	-0.06	0.25	0.09
Grain x Leaf in grain-filling	0.15	-0.20	0.12	-0.09	-0.33*	0.17	0.15	-0.28*	-0.18	0.06	0.05
Grain x Leaf in both periods	0.25	-0.14	0.13	-0.09	-0.21	0.04	0.11	0.01	-0.25	0.18	0.19
Husk x Leaf in pre-flowering	0.09	0.05	0.05	0.02	0.11	0.01	-0.57**	0.25	-0.16	0.14	0.22
Husk x Leaf in grain-filling	-0.27	-0.03	0.22	0.28*	0.07	0.19	-0.69**	0.14	-0.05	0.03	-0.04
Husk x Leaf in both periods	-0.15	0.03	0.17	0.26	0.10	0.28	-0.74**	0.31*	-0.21	0.09	0.09
Leaf in pre-flowering x Leaf in grain-filling	0.02	-0.01	0.32*	0.22	-0.04	-0.16	0.59**	-0.17	0.24	0.26	0.11
Leaf in pre-flowering x Leaf both periods	0.60**	0.64**	0.65**	0.65**	0.66**	0.54**	0.78**	0.71**	0.78**	0.70**	0.84**
Leaf in grain-filling x Leaf in both periods	0.76**	0.71**	0.90**	0.83**	0.65**	0.67**	0.95**	0.52**	0.75**	0.85**	0.55**

Values in bold and asterisks indicate significant correlations (* $P \leq 0.05$ and ** $P \leq 0.01$).

4. DISCUSSION

4.1-Parameters and Genetic Diversity

Genetic parameters are great tools in breeding programs, as they determine the genetic and environmental influence on a given trait [20]. The coefficients of genetic variation and heritability index express the genetic variability and how much can be transmitted to descendants [27,28]. Values for CVg above 7% are generally considered high [29,30]. In this study, however, lower values were found, indicating that the nutrient concentration may have been influenced by the cultivation environment of the population.

The nutrient concentrations in plant organs depend on the environmental conditions, as indicated by the much higher CVe than CVg for most nutrients. The environmental variation coefficient is a measure that is to relate the experimental precision and how much a trait is influenced by the environment [28,31,32].

The heritability of Mg and Mn was superior in all evaluated plant organs (flowers, grains, husks, and leaves). High values for this parameter are considered relevant for breeding and for indicating the possibility of selecting genotypes, since heritability also assesses the ability of trait expression in descendants, even under adverse conditions [20,30,33]. However, when studying different coffee genotypes and their interaction with different environments, heritability indices ranging from insignificant to values very close to 1 can be found [6,8,32,34].

4.2- Genotype Clustering and Genetic Contribution

Based on the dissimilarity of nutrient concentrations in different plant organs of the 16 genotypes, these were clustered into six groups. Of the six, three groups contained only one genotype. If a group consists of only a single genotype, this means that it has distinct characteristics in relation to the others [35–37]. For Robusta/Conilon coffee trees, it is expected that the larger the population is, the greater the heterogeneity of plants will be and the higher the diversity between groups will be [33,38]. Based on Singh's method, the micronutrient Fe in leaves (69.93%) and flowers (21.47%) contributed most to the genetic diversity. The Fe concentrations in the leaves and flowers were also the variables with the highest CVg, which reinforces the result obtained for the genetic contribution even more. Group V was the most populous of the six groups, with six genotypes found (AS4, GJ03, AS2, GJ25, A106, and ZD156). For nutritional factors, genotypes with affinities in nutrient uptake and concentration and fruit maturation cycle facilitate crop management, mainly in terms of fertilization and fertigation [11,16]. In seven Conilon coffee genotypes, Gomes et al. [11] evaluated leaf nutrient concentrations and observed two distinct groups formed by Mahalanobis' distance method, where the first group comprised four genotypes and the second three.

However, the more heterogeneous the genetic diversity patterns were and thus the greater the number of divergent genotypes there were in the plantations, the better the guarantees were, mainly with regard to pollination and yield stability, since Robusta/Conilon coffee trees are allogamous and self-incompatible, which reduces the availability of viable pollen at flowering [5,9,35].

Using the Tocher method, seven groups were formed. Four genotypes were grouped independently of the others, showing the heterogeneity of the crop. In a study on genetic divergences in the root system of 43 Conilon coffee genotypes, Silva et al. [38] observed small differences between the methods. The UPGMA and Tocher optimization methods determine the distance between the genotypes based on different criteria [39]. Consequently, the similarity between the groups formed by these two methods is a guarantee of the heterogeneity of the population and the reliability of the genetic distances observed between the genotypes [28,30,38].

4.3- Nutrient Concentration in Flowers, Grain and Husk

The pattern of concentrations of a nutrient in the plant organs flowers, grains, and husk was similar for the analyzed genotypes, differing only among the evaluated nutrients [4,16]. Although the maturation of all analyzed genotypes was intermediate, the flowering and maturation phases differed slightly between them; nevertheless, all were harvested at the same time of the year in the cherry stage [40]. According to Marré et al. [41], the micronutrient accumulation rates of genotypes with early, intermediate, or late cycles followed the same pattern throughout the fruit maturation cycle, differing only from super late genotypes. For these genotypes, some factors interfered directly with the genetic expression, such as irrigation management, fertigation, intensity of the dry period, environmental conditions, and fertilization management [16,41,42]. With the exception of Ca, the nutritional concentrations in the flower were higher in relation to the other organs sampled, evidencing the high demand for nutrients in the fruit formation phase. Grains and husk contained higher concentrations of N, P, K, and Ca than the other macronutrients. These nutrients are essential for plant growth and required at high levels during fruit formation [4,16].

4.4- Nutrient Concentrations in Coffee Leaves in Two Sampling Periods

The influence of genotypes on the leaf nutrient concentrations of the coffee trees was observed in both sampling periods, but the foliar concentrations of N and P did not differ between the genotypes in the two periods, showing the importance of these macronutrients for plant physiological functions [18]. Under controlled conditions, Starling et al. [43] found no change in the N concentration in leaf tissues of different genotypes under water stress. Nutritional assessments of leaves are important for crop monitoring and decision-making for fertilization management, above all to determine the optimal application time of the split rates of essential elements such as N, K, and P [11,41]. According to Oliosi et al. [12], the N and P concentrations vary in the different periods and genotypes during the fruiting period of the coffee trees, showing that early and intermediate genotypes have similar accumulation and concentration rates [41]. The highest means during the grain-filling period may have been related to the applied fertilization management, since N and K are essential nutrients for vegetative growth and fruit formation, which occur concomitantly [4,44].

Effects of the evaluated periods and genotypes on Ca and K concentrations were observed, indicating a high demand in the grain-filling period. Calcium is the second most accumulated nutrient in Conilon coffee leaves, being important for meeting the high demands during the flowering, early stage of fruit growth, and rapid fruit expansion [45]. Potassium plays a fundamental role in coffee fruit formation, especially in the grain-filling phase, when starch synthesis occurs intensely [45]. This high requirement was indicated by the variation in concentration between the sampling periods, where large differences between the concentrations of the studied genotypes were observed, as also reported by Oliosi et al. [12].

The macronutrients Mg and S varied most in terms of absolute values between the evaluated periods. These nutrients are essential for the leaf structure and play a fundamental role in photosynthesis and the Krebs cycle to generate energy and reserves for the plant [18,35]. In general, pre-flowering and flowering occur in the period of the most severe drought intensity in the Amazon region, causing a reduction in dry matter accumulation and, consequently, a lower nutrient accumulation [4,6]. After flowering, there is a phase of high demand of photoassimilates for fruit development that coincides with the vegetative growth stage, requiring a higher nutritional supply in January/February [11,12,16].

Differences between genotypes for nutrient concentrations in the same evaluation period were also reported by Silva et al. [46]. The *C. canephora* genotypes differ in relation to the root system [38], with a direct influence on uptake rate, compartmentalization, and nutrient translocation. Consequently, vegetative growth must also be considered distinct, which in turn

influences biomass accumulation [47]. Thus, nutrient dilution occurs in genotypes with higher rates of biomass accumulation and nutrient concentration in genotypes with lower biomass accumulation rates. Thus, shoot tissues such as the leaves of coffee genotypes can have different concentrations for the same nutrient, be it by the uptake effect or biomass accumulation during vegetative growth. The means reported in this study differ from those reported by Wadt and Dias [48] for the establishment of DRIS standards for coffee trees in Rondônia and also from the means calculated by DRIS standards for two evaluation periods (pre-flowering and grain-filling) for Conilon genotypes in Espírito Santo by Partelli et al. [44].

Micronutrients are characterized by a certain instability in plant demand and supply. They are required at very low quantities, which makes the range between lack and excess extremely narrow. This aspect affects decision-making in fertilizer splitting, in particular with regard to the timing for an optimized efficiency of the application [42].

During the plant cycle, Fe is the most accumulated micronutrient. It plays an essential role in chlorophyll biosynthesis and is fundamental for the photosynthetic machinery of the plant [18,35]. This nutrient contributed most to genetic diversity within the genotypes studied. The influence and changes in genotypes and concentrations were greatest during the grain-filling period.

The micronutrients Zn and B are relevant for plants, as they participate in cell division and contribute to the release of growth hormones [18,35]. Boron, together with Ca, plays a fundamental role in the leaf structure and the plant demand during the pre-flowering and flowering periods is high [12]. Genotype A106 had the lowest B concentration in the grain-filling period, indicating a high demand during the evaluated periods.

Copper had a higher mean in the pre-flowering than the grain-filling stage, unlike Mn, which had a higher mean in the grain-filling period than in the pre-flowering period. Both observed nutrient means were within the sufficiency ranges established by Partelli et al. [44], although the means were lower.

4.5- Correlation between the Nutritional Concentrations of Flowers, Grain and Husk, and Leaves during Pre-Flowering and Grain-Filling

Positive correlations were observed between the two leaf sampling periods for all nutrients and positive correlations between the other plant organs. Positive and negative correlations between nutrients for foliar analyses in different periods were reported by Lana et al. [49]; these authors emphasized that attention should be paid to antagonistic nutrients for fertilizations and especially to the need for a balanced nutrient supply preceding phases of increased nutritional demand, such as the stages of flowering, fruiting, and grain-filling.

5. CONCLUSIONS

Genetic divergence among *C. canephora* genotypes for leaf nutrient concentration was observed in the phenological stages of pre-flowering and grain-filling. However, the concentration patterns of flowers, grains, and husks were similar among the genotypes. The 16 genotypes were clustered into six distinct groups. Genotype LB015 was clustered alone. According to the genetic distance calculated by the UPGMA method, the nutrient concentration pattern of the genotypes AS4, GJ03, AS2, GJ25, A106, and ZD156 was the same.

The foliar nutrient concentrations of N and P were not influenced by the genotypes in the pre-flowering and grain-filling sampling periods. Iron in leaves and flowers was the nutrient concentration that contributed the most to genetic divergence. For a nutritional diagnosis of Robusta coffee, it is important to take into account the comparisons of genetic diversity as well as the nutritional requirements during the flowering and grain-filling periods.

The results of this study can be useful as a guide for the use of genetic resources of interest in breeding programs to obtain Robusta coffee cultivars.

6. REFERENCES

1. International Coffee Organization (ICO). Global Coffee Trade. Available online: http://www.ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics (accessed on 10 March 2021).
2. Davis, A.P.; Tosh, F.L.S.J.; Ruch, N.; Fay, M.F. Growing *coffee: Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; Implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. *Bot. J. Linn. Soc.* **2011**, *167*, 357–377. [CrossRef]
3. Conab. Conab—Safras. Available online: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras> (accessed on 5 January 2021).
4. Dubberstein, D.; Partelli, F.L.; Dias, J.R.M.; Espindola, M.C. Concentration and accumulation of macronutrients in leaf of coffee berries in the Amazon, Brazil. *Aust. J. Crop Sci.* **2016**, *10*, 701–710. [CrossRef]
5. Moraes, M.S.; Teixeira, A.L.; Ramalho, A.R.; Espindola, M.C.; Ferrão, M.A.G.; Rocha, R.B. Characterization of gametophytic self-incompatibility of superior clones of *Coffea canephora*. *Genet. Mol. Res.* **2019**, *17*, 1–11. [CrossRef]
6. Starling, L.C.T.; Martins, L.D.; Rodrigues, W.N.; Reinicke, T.M.; Colodetti, T.V.; Do Amaral, J.F.T.; Partelli, F.L.; Tomaz, M.A.; Espindola, M.C. Genetic diversity in nutritional parameters in response to drought of *Coffea canephora* cultivated in Rondonia state, Brazil. *Genet. Mol. Res.* **2019**, *18*, 1–12. [CrossRef]
7. Cubry, P.; de Bellis, F.; Pot, D.; Musoli, P. Global analysis of *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (Rubiaceae) from the Guineo- Congolese region reveals impacts from climatic refuges and migration effects. *Genet. Resour. Crop Evol.* **2013**, *60*, 483–501. [CrossRef]
8. Montagnon, C.; Cubry, P.; Leroy, T. Amélioration génétique du caféier *Coffea canephora* Pierre: Connaissances acquises, stratégies et perspectives. *Cah. Agric.* **2012**, *21*, 143–153. [CrossRef]
9. Conagin, C.H.T.M.; Mendes, A.J.T. Pesquisas citológicas e genéticas em três espécies de *Coffea*: Auto-incompatibilidade em *Coffea canephora* pierre ex froehner. *Bragantia* **1961**, *20*, 788–804. [CrossRef]
10. Berthaud, J. L'incompatibilité chez *Coffea canephora*: Méthode de test et déterminisme génétique. *Café Cacao Thé* **1980**, *24*, 267–273.
11. Gomes, W.R.; Rodrigues, W.P.; Vieira, H.D.; Oliveira, M.G.; Dias, J.R.M.; Partelli, F.L. Genetic diversity of standard leaf nutrients in *Coffea canephora* genotypes during phenological phases. *Genet. Mol. Res.* **2016**, *15*, 1–13. [CrossRef]
12. Oliosi, G.; Partelli, F.L.; da Silva, C.A.; Dubberstein, D.; Gontijo, I.; Tomaz, M.T. Seasonal variation in leaf nutrient concentration of conilon coffee genotypes. *J. Plant. Nutr.* **2020**, *44*, 1–14. [CrossRef]
13. Partelli, F.L.; Golynski, A.; Ferreira, A.; Martins, M.Q.; Mauri, A.L.; Ramalho, J.C.; Duarte Vieira, H.D. Andina—First clonal cultivar of high-altitude conilon coffee. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* **2019**, *19*, 476–480. [CrossRef]
14. Partelli, F.L.; Giles, J.A.D.; Oliosi, G.; Covre, A.M.; Ferreira, A.; Rodrigues, V.M. Tributun: A coffee cultivar developed in partnership with farmers. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* **2020**, *20*, 1–4. [CrossRef]
15. Partelli, F.L.; Oliosi, G.; Dalazen, J.R.; da Silva, C.A.; Vieira, H.D.; Espindola, M.C. Proportion of ripe fruit weight and volume to green coffee: Differences in 43 genotypes of *Coffea canephora*. *Agron. J.* **2021**, *113*, 1050–1057. [CrossRef]
16. Covre, A.M.; Partelli, F.L.; Bonomo, R.; Tomaz, M.A.; Ramalho, J.C. Impacts of water availability on macronutrients in fruit and leaves of conilon coffee. *Pesq. Agropec. Bras.* **2018**, *53*, 1025–1037. [CrossRef]
17. Amaral, J.T.; Martinez, H.E.P.; Laviola, B.G.; Fernandes Filho, E.I.; Cruz, C.D. Nutrients use efficiency by coffee cultivars. *Cienc. Rural.* **2011**, *41*, 621–629. [CrossRef]
18. Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I.M.; Murphy, A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*, 6th ed.; Porto Alegre: Artmed, Brazil, 2017.
19. Martins, L.D.; Rodrigues, W.N.; Machado, L.S.; Brinate, S.V.B.; Colodetti, T.V.; Ferreira, D.S.; Cogo, A.D.; Apostolico, M.A.; Teodoro, P.E.; Tomaz, M.A. Genotypes of conilon coffee can be simultaneously clustered for efficiencies of absorption and utilization of N, P and K. *Afr. J. Agric. Res.* **2016**, *11*, 3633–3642. [CrossRef]
20. Silva, D.R.; Silva, D.R.; Damaceno, J.B.D.; Andrade, R.A.; Domingues, C.G.; Silva, C.A.; Martins, J.K.D.; Traspadini, E.I.F.; Dubberstein, D.; Dias Jairo, R.M. Compatibility test and agronomic performance of coffee genotypes (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) in the State of Rondônia, Brazil. *J. Agric. Sci.* **2019**, *11*, 162–170. [CrossRef]
21. Teixeira, A.L.; Rocha, R.B.; Espindola, M.C.; Ramalho, A.R.; Vieira Júnior, J.R.; Alves, E.A.; Lunz, A.M.P.; Souza, F.F.; Costa, J.N.M.; Fernandes, C.F. Amazonian robustas—New *Coffea canephora* coffee cultivars for the Western Brazilian Amazon. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* **2020**, *20*, 1–5. [CrossRef]
22. Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Z.* **2013**, *22*, 711–728. [CrossRef]
23. Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Dos Anjos, L.H.C.; De Oliveira, V.A.; Lumberras, J.F.; Coelho, M.R.; De Almeida, J.A.; Araújo de Filho, J.C.; de Oliveira, J.B.; Cunha, T.J.F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, 5th ed.; Brasília, DF: Embrapa, Brazil, 2018; p. 356.

24. Silva, F.C. *Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes*, 2nd ed.; Embrapa Informação Tecnológica: Rio de Janeiro, Brazil; Embrapa Solos: Brasília, Brazil, 2009; p. 627.
25. Singh, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. *Indian, J. Genet. Plant. Breed* **1981**, *41*, 237–245.
26. Cruz, C.D. Programa genes—Ampliado e integrado aos aplicativos R, Matlab e Selegen. *Acta Sci. Agron.* **2016**, *38*, 547–552. [CrossRef]
27. Da Silva, D.O.; Ferreira, F.M.; Rocha, R.B.; Espindula, M.C.; Spinelli, V.M. Genetic progress with selection of *Coffea canephora* clones of superior processed coffee yield. *Cienc. Rural* **2018**, *48*, 1–7. [CrossRef]
28. Giles, J.A.D.; Partelli, F.L.; Ferreira, A.; Rodrigues, J.P.; Oliosi, G.; E Silva, F.H.L. Genetic diversity of promising “conilon” coffe clones based on morpho-agronomic variables. *An. Acad. Bras. Ciênc.* **2018**, *90*, 2437–2446. [CrossRef]
29. Sebbenn, A.M.; Siqueira, A.C.M.F.; Kageyama, P.Y.; Machado, J.A.R. Parâmetros genéticos na conservação da cabreúva-*Myroxylonperuiferum* LF Allemão. *Sci. For.* **1998**, *3*, 31–38.
30. Dubberstein, D.; Partelli, F.L.; Guilhen, J.H.S.; Rodrigues, W.P.; Ramalho, J.C.; Ribeiro-Barros, A.I. Biometric traits as a tool for the identification and breeding of *Coffea canephora* genotypes. *Genet. Mol. Res.* **2020**, *19*, gmr18541. [CrossRef]
31. Ferrão, R.G.; Cruz, C.D.; Ferreira, A.; Cecon, P.R.; Ferrão, M.A.G.; da Fonseca, A.F.A.; Carneiro, P.C.S.; Silva, M.F. Parâmetros genéticos em café Conilon. *Pesq. Agropec. Bras.* **2008**, *43*, 61–69. [CrossRef]
32. Akperterey, A.; Anim-Kwapong, E.; Ofori, A. Assessment of genetic diversity in robusta coffee using morphological characters. *Int. J. Fruit Sci.* **2019**, *19*, 276–299. [CrossRef]
33. Senra, J.F.B.; Ferrão, M.A.G.; de Mendonça, R.F.; da Fonseca, A.F.A.; Ferrão, R.G.; Volpi, P.S.; Verdin Filho, A.C.; Comério, M.; da Silva, M.W. Genetic variability of access of the active germplasm bank of *Coffea canephora* of Incaper in Southern Espírito Santo. *J. Genet. Resour.* **2020**, *6*, 172–184. [CrossRef]
34. Oliveira, N.S.; Carvalho Filho, J.L.S.; Silva, D.O.; Pastoriza, R.J.G.; Melo, R.A.; Silva, J.W.; Menezes, D. Selection and genetic parameters of coriander progenies with heat tolerance. *Hortic. Bras.* **2015**, *33*, 319–323. [CrossRef]
35. Martins, M.Q.; Partelli, F.L.; Ferreira, A.; Bernardes, C.O.; Golynski, A.; Vieira, H.D.; Freitas, M.S.M.; Ramalho, J.C. Genetic variability on nutrient contents in *Coffea canephora* genotypes cultivated at 850 meters of altitude in two crop seasons. *Func. Plant Breed. J.* **2019**, *1*, 1–12. [CrossRef]
36. Santin, M.R.; Coelho, M.C.; Sayd, R.M.; Peixoto, J.R.; Amabile, F.R. Yield, maturation cycle, and estimates of genetic parameters of Robusta coffee genotypes under irrigation in the Cerrado. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* **2019**, *19*, 387–394. [CrossRef]
37. Yan, L.; Ogutu, C.; Huang, L.; Wang, X.; Zhou, H.; LV, Y.; Long, Y.; Dong, Y.; Han, Y. Genetic diversity and population structure of coffee germplasm collections in China revealed by ISSR markers. *Plant. Mol. Biol. Report.* **2019**, *37*, 204–213. [CrossRef]
38. Silva, L.O.E.S.; Schmidt, R.; Valani, G.P.; Ferreira, A.; Ribeiro-Barros, A.I.; Partelli, F.L. Root trait variability in *Coffea canephora* genotypes and its relation to plant height and crop yield. *Agronomy* **2020**, *10*, 1394. [CrossRef]
39. Cruz, C.D.; Carneiro, P.C.S.; Regazzi, A.J. *Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético*, 3rd ed.; UFV: Viçosa, Brazil, 2014.
40. Partelli, F.L.; Espindula, M.C.; Marré, W.B.; Vieira, H.D. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of conilon coffee with different ripening cycles. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* **2014**, *38*, 214–222. [CrossRef]
41. Marré, W.B.; Partelli, F.L.; Espindula, M.C.; Dias, R.M.; Gontijo, I.; Vieira, H.D. Micronutrient accumulation in conilon coffee berries with different maturation cycles. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* **2015**, *39*, 1456–1462. [CrossRef]
42. Covre, A.M.; Rodrigues, W.P.; Vieira, H.D.; Braun, H.; Ramalho, J.C.; Partelli, F.L. Nutrient accumulation in bean and fruit from irrigated and non-irrigated *Coffea canephora* cv. Conilon. *Emir. J. Food. Agric.* **2016**, *28*, 402–409. [CrossRef]
43. Starling, L.C.T.; Martins, L.D.; Rodrigues, W.N.; Reinicke, T.M.; do Amaral, J.F.T.; Tomaz, M.A.; Espindula, M.C. Variability and nutritional balance among genotypes of *Coffea canephora* (Rubiaceae) in drought versus adequate water supply. *Genet. Mol. Res.* **2018**, *17*, 1–13. [CrossRef]
44. Partelli, F.L.; Gomes, W.R.; Oliveira, M.G.; Dias, J.R.M.; Espindula, M.C. Normas foliares e diagnóstico nutricional do cafeeiro conilon na pré-florada e granação, no Espírito Santo. *Coffee Sci.* **2016**, *11*, 544–554.
45. Bragança, S.M.; Martinez, H.E.P.; Leite, H.G.; Santos, L.P.; Lani, J.A.; Sediyaama, C.S.; Alvarez, V.V.H. Acumulação de matéria seca pelo cafeeiro conilon. *Rev. Ceres* **2010**, *57*, 48–52. [CrossRef]
46. Silva, C.A.; Santos, E.A.; Viana, A.P.; Dias, J.R.M.; Partelli, F.L. Genetic diversity in *Coffea canephora* genotypes for leaf nutrient concentration. *Rev. FCA UNCuyo* **2021**, *53*, 22–34. [CrossRef]
47. Partelli, F.L.; Marré, W.B.; Falqueto, A.R.; Vieira, H.D.; Cavatti, P.C. Seasonal vegetative growth in genotypes of *Coffea canephora*, as related to climatic factors. *J. Agric. Sci.* **2013**, *5*, 108–116. [CrossRef]
48. Wadt, P.G.S.; Dias, J.R.M. Normas DRIS regionais e inter-regionais na avaliação nutricional de café Conilon. *Pesq. Agropec. Bras.*

- 2012, 47, 822–830. [CrossRef]
49. Lana, R.M.Q.; de Oliveira, S.A.; Lana, A.M.Q.; de Faria, M.V. Levantamento do estado nutricional de plantas de *Coffea arabica* L.pelo dris, na região do Alto Paranaíba—Minas gerais. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* **2010**, *34*, 1147–1156. [CrossRef]

CAPÍTULO 4

GENETIC DIVERSITY OF *COFFEA CANEPHORA* CV. CONILON GENOTYPES REGARDING THEIR ROOT SYSTEM SIZE AND DISTRIBUTION

agronomy



Article

Variability of Root System Size and Distribution among *Coffea canephora* Genotypes

Raquel Schmidt 1, Larícia Olária Emerick Silva 1, Adesio Ferreira 1, Ivone Gontijo 2, Rubens José Guimarães 3, José C. Ramalho 4,5 and Fábio Luiz Partelli 2,*

1Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, Alegre CEP 29500-000, Brazil; schmidt_raquel@hotmail.com (R.S.); lariciaemerick@gmail.com (L.O.E.S.); adesioferreira@gmail.com (A.F.)

2 Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas (DCAB), Centro Universitário do Norte do Espírito Santo (CEUNES), Universidade Federal Espírito Santo (UFES), Rod. BR 101 Norte, Km 60, Bairro Litorâneo, São Mateus CEP 29932-540, Brazil; ivonegontijo@yahoo.com.br

3 Departamento de Agricultura, Campus Universitário, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG CEP 37200-000, Brazil; rubensjg@ufla.br

4 Plant Stress & Biodiversity Lab, Centro de Estudos Florestais (CEF), Instituto Superior de Agronomia (ISA), Universidade de Lisboa (ULisboa), Quinta do Marquês, 2784-505 Oeiras, Portugal; cochichor@mail.telepac.pt

5 Geobiociências, Geoengenharias e Geotecnologias (GeoBioTec), Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Universidade NOVA de Lisboa (UNL), 2829-516 Caparica, Portugal

*Correspondence: partelli@yahoo.com.br

Abstract: This work aimed to evaluate the variability in the distribution of the root system among genotypes of *C. canephora* cv. Conilon and indicate management strategies for a more efficient mineral fertilization. Root distribution was evaluated in six genotypes. The experimental design was in randomized blocks with three replications. Soil monoliths measuring about 27 cm³ were collected at six different soil depths, at three row distances and nine distances of inter-row planting. The collections were carried out in one plant of each repetition. In total, 1296 samples were evaluated. The roots were washed, digitized and processed to quantify length density, volume, surface area and diameter. The distribution of the root system was characterized using semivariograms. It was observed that the highest concentration of roots occurred in the distances close to the irrigation drippers. There was variation in the distribution of the root system among the genotypes. However, in general, the root system is concentrated at a depth of 0 to 20 cm in the soil, at distances up to 50 cm in the planting row and up to 60 cm in inter-rows. Therefore, the greatest efficiency in nutritional management can be achieved by applying fertilizers within a radius of 50 cm around the plant.

Keywords: Conilon coffee; Robusta coffee; root distribution; semivariograms; biodiversity

1. INTRODUCTION

The *Coffea arabica* and *Coffea canephora* species are widely cultivated in the tropical region. The production and trade basis of coffee, one of the main commodity products on the international scene, is considered in this study. In 2020/21, around 10.18 million tons of green coffee from the two species was produced worldwide [1]. About 29% was produced in Brazilian plantations, of which *C. canephora* represented about 34% (that is, 0.98 million tons) [2].

The *C. canephora* species is diploid ($2n = 2x = 22$ chromosomes), allogamous and self-incompatible, with self-incompatibility controlled by the *S*. allele. These characteristics promote high heterogeneity in natural coffee fields of seminal origin [3,4]. Despite exhibiting some genotype dependency, the Conilon coffee cultivar stands out in the world scenario mainly for its robustness and ability to acclimate to different environmental constraints [5–8]. Therefore, this species is expected to have some capability to endure the ongoing and future climate changes, largely associated with a more frequent exposure to abiotic stress, namely, to unfavorable temperature and water availability conditions, which are also the main constraints for this crop's sustainability [9].

The development of new varieties of Robusta and Conilon coffee, genetically characterized and with reproduction via cloning, has directly contributed to the advancement of coffee growing in Brazil, the second largest *C. canephora* producer worldwide [10,11]. The large number of new Conilon and Robusta genotypes has also greatly contributed to the generation of new hybrids, ensuring the necessary heterogeneity in crops to allow for the self-incompatibility of this species.

There are a number of attributes that are usually used to evaluate and select promising materials for cultivation with high productive and environmental stress acclimation capabilities [12]. Among them, the coffee tree root system has been targeted in studies of genetic improvement programs, with the aim of selecting more productive materials with greater endurance/adaptability. Plants with a deeper and well-developed root system are likely to be better adapted to environments with water and nutritive scarcity, in addition to ensuring better plant fixation in the soil due to its higher root/shoot ratio [13–16].

There are studies in the literature showing that in Conilon coffee crops that use localized irrigation systems (such as drip systems), it is common for root development to be concentrated mainly in the “wet bulb” region of the soil [14,17]. Consequently, when broadcast fertilization is carried out, the ability of plants to absorb nutrients outside their irrigated area may become restricted. In this sense, it is important to understand the root distribution between different genotypes so that nutritional management is more efficient. Studying root systems is a heavy cost and laborious process that usually requires uprooting the plants, which can become disadvantageous in the field and in perennial crops such as coffee [15,18]. Tools such as root imaging diagnosis and geostatistics make it possible to map the dynamics of root profiles, and to expand our knowledge regarding the distribution of roots for nutritional and water absorption [14,19].

Therefore, knowing the spatial distribution of the roots along the soil profile both vertically and horizontally on the scales between the plants and between the planting lines (greater spacing) allows one to relate the distribution of roots in the soil profile to the plant capacity to explore the soil for nutrients and water ratio. In this context, this work aimed to evaluate the variability in the distribution of the root system among genotypes of *C. canephora* cv. Conilon and indicate management strategies for more efficient mineral fertilization.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1- Plant Material and Experimental Design

This study was carried out in the municipality of Nova Venécia, northern Espírito Santo state, Brazil (18°39'43" S, 40°25'52" W and 199 m asl). The average annual temperature in the region is 23° C, with an Aw climate, tropical with hot and humid summer and dry winter, according to Köppen's classification [20]. Plant cropping systems were installed in commercial stands. The soil

of region was classified as Yellow Latosol, according to the Brazilian Soil Classification System [21], with the physical and chemical characteristics as given in Table 1.

Coffee seedlings with about five pairs of leaves were transplanted in May 2014 with a spacing of 3 m x 1 m, which corresponds to a cultivation density of 3.333 coffee trees per hectare. To standardize the number of stems per plant, formation pruning was performed, where each plant remained with four orthotropic stems (13.332 stems ha⁻¹), and the cleaning pruning of plagiotropic branches was carried out after each harvest. Agricultural management was carried out in order to meet nutritional and phytosanitary needs. Liming and fertilization were performed according to regional recommendations [22]. The annual fertilizations of N, P₂O₅ and K₂O were 500, 100 and 400 kg ha⁻¹, respectively. In relation to soil micronutrients, a total of 2 kg ha⁻¹ of Zn, 1 kg ha⁻¹ of B, 2 kg ha⁻¹ of Cu and 10 kg ha⁻¹ of Mn were applied annually. The culture was maintained under adequate water availability by means of a drip irrigation system since

Table 1. Chemical and granulometric characteristics in six soil depths (Yellow Latosol) in an irrigated area with Conilon coffee (*C. canephora*) in Nova Venécia—Espírito Santo, Brazil.

Chemical Attributes	Soil Layers (cm)					
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60
K (mg dm ⁻³)	110	95	74	57	52	46
S (mg dm ⁻³)	15	11	29	15	15	17
Ca (cmol dm ⁻³)	3.8	3.4	1.9	1.0	0.7	0.6
Mg (cmol dm ⁻³)	1.0	0.9	0.4	0.3	0.1	0.1
Al (cmol dm ⁻³)	0.0	0.0	0.3	0.7	0.8	0.8
H + Al (cmol dm ⁻³)	1.6	1.8	2.4	2.9	3.1	3.1
pH (H ₂ O)	6.6	6.5	5.3	4.8	4.8	4.8
Mat. Org. (dag dm ⁻³)	2.1	1.7	1.1	0.8	0.7	0.5
Fe (mg dm ⁻³)	140	138	126	94	88	87
Zn (mg dm ⁻³)	10.2	4.5	2.9	1.1	0.6	0.5
Cu (mg dm ⁻³)	3.4	4.3	3.0	1.9	1.2	1.0
Mn (mg dm ⁻³)	207	174	104	46	44	40
B (mg dm ⁻³)	0.81	0.83	0.58	0.55	0.56	0.61
Na (mg dm ⁻³)	11.0	37.0	8.0	6.0	5.0	4.0
Particle size fractions						
Sand (g kg ⁻¹)	434	352	188	368	366	376
Silt (g kg ⁻¹)	86	168	212	32	74	124
Clay (g kg ⁻¹)	480	480	600	600	560	500

In this experiment, we evaluated six genotypes of *C. canephora* Pierre ex A. Froehner cv. Conilon (AD1, Valcir P, Peneirão, Z21, A1 and P2), which were arranged in randomized blocks with three replications. The choice of genotypes was based on the average production capacity of five crops, the last being in 2020. The AD1, Valcir P, Peneirão, Z21, A1 and P2 genotypes had an average production of 116, 75, 105, 102, 106 and 124 bags per hectare, respectively. The studied genotypes were selected from the varieties Tributum, Andina, and Monte Pascoal from a group of 43 genotypes under evaluation [10,11,23].

2.2- Root Traits

Soil monoliths measuring about 27 cm³ were collected using auger type (tubular) at six

different soil depths (0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50 and 50–60 cm). According to Santos et al. [24], up to 60 cm depth is the main region where water absorption and root emission occur. Moreover, soil monoliths were collected at three distances in the planting row (16, 32 and 48 cm) and nine distances in inter-row planting (16, 32, 48, 96, 112, 128 and 144 cm), both obtained from the plant stem. For all distances, soil monoliths were collected at the six depths described above. The collections were made in one plant of each repetition. A total of 1296 samples was evaluated (6 genotypes 3 replicates 6 depths 12 distances). These sampling distances were defined to know the dynamics and expansion capacity of the roots between the planting lines where fertilization and irrigation did not occur [14].

The samples were placed in plastic bags, sealed, and stored at -10° C for further evaluation. Then, the samples were washed in running water in a 30-mesh sieve (0.595 mm) to separate the roots from the soil. Roots with a diameter above 3 mm were excluded from the data set as they were considered outliers.

Roots were later digitized with a Nikon 18.2 MP camera (images were taken 50 cm above the roots), and the resulting images were analyzed with the Safira program [25]. The following characteristics were evaluated: root length density (mm cm^{-3}), root volume ($\text{mm}^3 \text{cm}^{-3}$), root surface area ($\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$) and root diameter (mm).

2.3- Statistical Analyses

For the statistical analyses, data normality and homoscedasticity were verified, followed by analyses of the mean Euclidean distance and posterior grouping of genotypes by the method of single-link, nearest neighbor grouping. The R program was used for performing these analyses [26].

After grouping the genotypes, the spatial variability of the evaluated attributes was characterized using a geostatistical technique: the semivariogram [27]. The analysis of spatial dependence was performed by geostatistics, with the help of the GS + 7.0 program [28], which performs the calculation of sample semi-variance, which was estimated by the equation:

$$\gamma(h) = \frac{\sum_{i=1}^{(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2}{2n(h)}$$

where $\gamma(h)$ is the semivariogram function, $n(h)$ is the number of sample pairs $[z(x_i); z(x_i + h)]$ separated by vector h , and $z(x_i)$ and $z(x_i + h)$ are the numerical values of the analyzed attribute observed for points x_i and $x_i + h$ separated by vector h .

The semivariograms were fitted by testing the spherical, exponential and Gaussian model, and their parameter nugget effect (C_0), plateau (C), reach ($C_0 + C$) and range were determined. To choose between more than one model for the same semivariogram, the highest value of the correlation coefficient obtained by the cross-validation method was considered [29]. The spatial dependence index (SDI) showed the percentage ratio of C_0 in relation to $C_0 + C$ and was evaluated by the equation:

$$\text{SDI} = \frac{C_0}{C_0 + C} 100$$

SDIs were rated as: strong, 25%; moderate, 25 to 75%; and weak, 75% [19]. Kriging was performed using the Surfer program (Golden Software, LLC, USA), and variable maps from spatial distribution data were developed.

3. RESULTS

Based on characteristics of the root system (root length density, root volume, root surface area and root diameter), for the evaluated distances to the plant and soil depths, the genotypes were divided into three groups considering a cutoff point of 96.23% of dissimilarity in the

dendrogram, as recommended by Mojena [30]. Group I—AD1, Valcir P and Peneirão genotypes; Group II—A1 and P2 genotypes; Group III—Z21 genotype (Figure 1).

The variables root surface area, root volume per soil volume and root length density of these three groups of *C. canephora* genotypes showed dependence from the kriging analysis (Table 2). Only the t diameter variable did not show such dependence, thus not contributing to this study of the spatial arrangement of roots. The spatial dependence index (SDI) was less than 25% for all variables studied within the genotype groups (Table 2), indicating a high degree of spatial dependence. The coefficient of determination R^2 of all groups and characteristics was greater than 0.9 and particularly close to 1 root length density, reflecting great reliability as regards the equation used to determine the models.

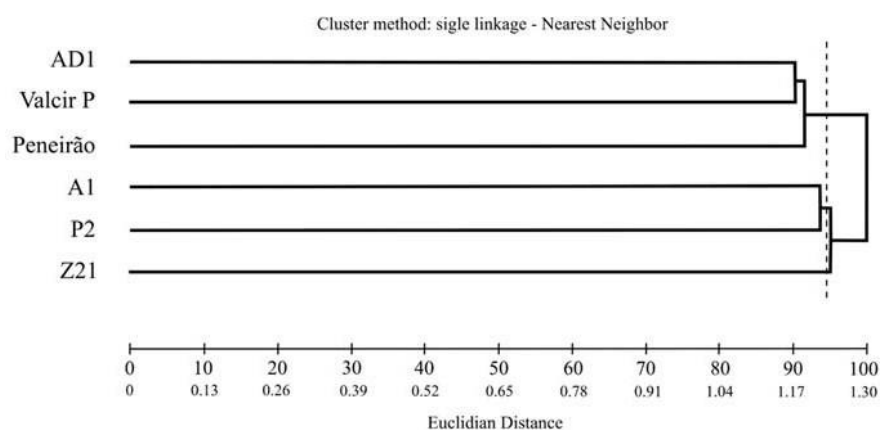


Figure 1. Dissimilarity between six *C. canephora* genotypes using the Euclidean distance of the means and the single-link clustering method—nearest neighbor, considering four root characteristics (root length density, root volume, root surface area and root diameter), based on three distances in the planting row (16, 32 and 48 cm) and nine distances in inter-row planting (16, 32, 48, 64, 80, 96, 112, 128, 144 cm). Both the distances were measured from the stem of the plant and six depths from the ground (0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50 and 50–60 cm) at each distance.

Table 2. Estimated parameters of experimental semivariograms for the studied variables of the groups of six genotypes of *C. canephora* in Nova Venécia—Espírito Santo, Brazil.

Parameters	Root surface area ($\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$)			Root volume ($\text{mm}^3 \text{cm}^{-3}$)			Root length density (mm cm^{-3})		
	Group I	Group II	Group III	Group I	Group II	Group III	Group I	Group II	Group III
SDI	0.23	20.81	17.98	0.050	0.069	13.03	0.08	13.23	0.041
R^2	0.908	0.922	0.925	0.92	0.974	0.989	0.996	0.99	0.992
RSS	1.67×10^8	1.01×10^7	3.77×10^7	547404	38734.0	36542	16115.0	1822960	2189057
RCV	1.009	1.058	1.073	0.96	0.924	1.057	1.106	1.016	0.966

SDI: spatial dependence index; R^2 : coefficient of determination; RSS: mean square residual sum value; and RCV: cross-validation regression coefficient.

The cross-validation coefficients (RCV) ranged from 0.924 to 1.106, which indicates that the models and adjustments adopted were adequate enough to represent the spatial characteristic of the attributes evaluated for each genotype group. The residual sum value of the mean square RSS was also used as a parameter for choosing the model to be used. The semivariograms were fitted to the spherical model for the three groups in the characteristic root surface area and root length density; for root volume, only for Group III was it better adjusted in the Gaussian form (Table 3).

Table 3. Estimated models and parameters of experimental semivariograms for the variables studied of the groups of six *C. canephora* genotypes, in Nova Venécia - Espírito Santo, Brazil.

Parameters	Root surface area ($\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$)			Root volume ($\text{mm}^3 \text{cm}^{-3}$)			Root length density (mm cm^{-3})		
	Group I	Group II	Group III	Group I	Group II	Group III	Group I	Group II	Group III
Model	Spherical	Spherical	Spherical	Spherical	Spherical	Gaussian	Spherical	Spherical	Spherical

Co	100.0	3540.0	6420.0	1.0	1.0	222	10.0	2650.0	10.0
Co + C	42621.0	17010.0	35700.0	1981.39	1430.0	1703.0	11670.0	20030.0	24180.0
Range (m)	93.7	121.3	93.30	89.60	134.50	139.94	55.80	180.10	68.30

The semivariograms were adjusted by testing the spherical, exponential and Gaussian theoretical models, and their nugget effect (Co), landing (C), plateau (Co + C) and range parameters were determined for each group of genotypes and traits (root surface area, root volume and root length densit

The genotype groups showed a quite distinct distribution of the root system in the soil profile up to 60 cm depth. In Group I (Figure 2), the plants showed a more uniform root distribution in the soil profile (although with a higher concentration in the superficial layers, that is, up to ca. 20 cm), together with a higher global root concentration. Moreover, strong root presence occurred up to about 70 cm away from the stem of the plant in the planting line. Therefore, these plants denoted a good soil exploitation both in the surface as well in depth (up to 50–60 cm) with 27% in the superficial layer and 11% in the deeper layers evaluated.

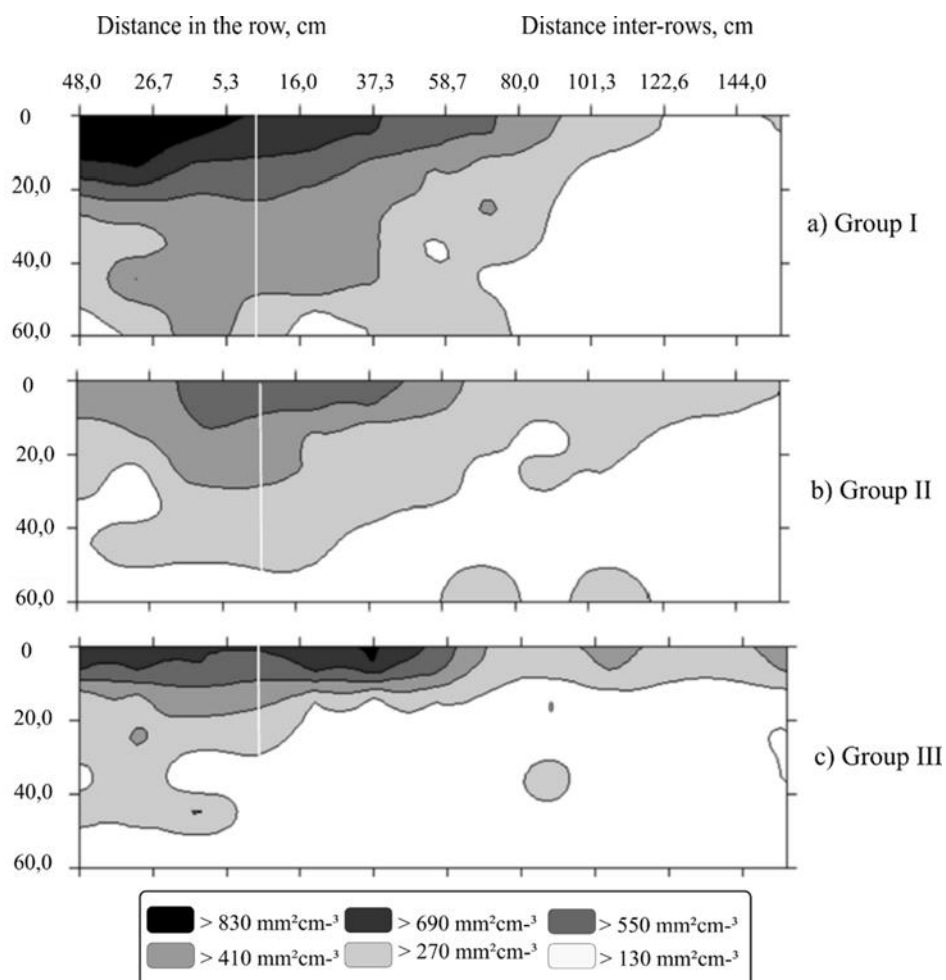


Figure 2. Spatial distribution map of the roots in the soil profile for the characteristic surface area of the roots, based on the clustering of six *C. canephora* genotypes at three distances in the planting row (16, 32 and 48 cm) and nine distances in inter-row planting (16, 32, 48, 64, 80, 96, 112, 128, 144 cm). Both distances were measured from the stem of the plant and six depths from the ground (0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50 and 50–60 cm) at each distance. The transverse white line refers to the location of the plant. (a) Group I—AD1, Valcir P and Peneirão genotypes; (b) Group II—A1 and P2 genotypes and (c) Group III—Z21 genotype.

The plants of Group II (Figure 2) showed the root system distributed in the first superficial layer (0–10 cm), and an extended presence in the inter-row space up to 1.44 m, although not in great depth. There was a predominance of the root system in the 0–30 cm layers, where about 70% of the root surface area was found.

The plants of Group III (Figure 2) presented the most superficial root system, with the root system evenly distributed in the 0–10 cm layer along with an extended presence in the inter-row up

to 1.44 m of the plant trunk with around 34% of the observed surface area. For the deeper layers in the row, root emission was mostly uniformly from 30 to 50 cm.

With regard to the spatial distribution of roots in the volume of roots per volume of soil, plants in Group I (Figure 3) showed the highest values at all distances and depths. It was particularly clear at distances from 20 to 48 cm in the line where there were high values of root surface. This uniform spatial distribution was reflected in the presence of 70% of the entire root volume up to 50 cm in depth. In the vicinity (5 cm) of the stem, the root system is not prominent, both in the planting row and inter-rows.

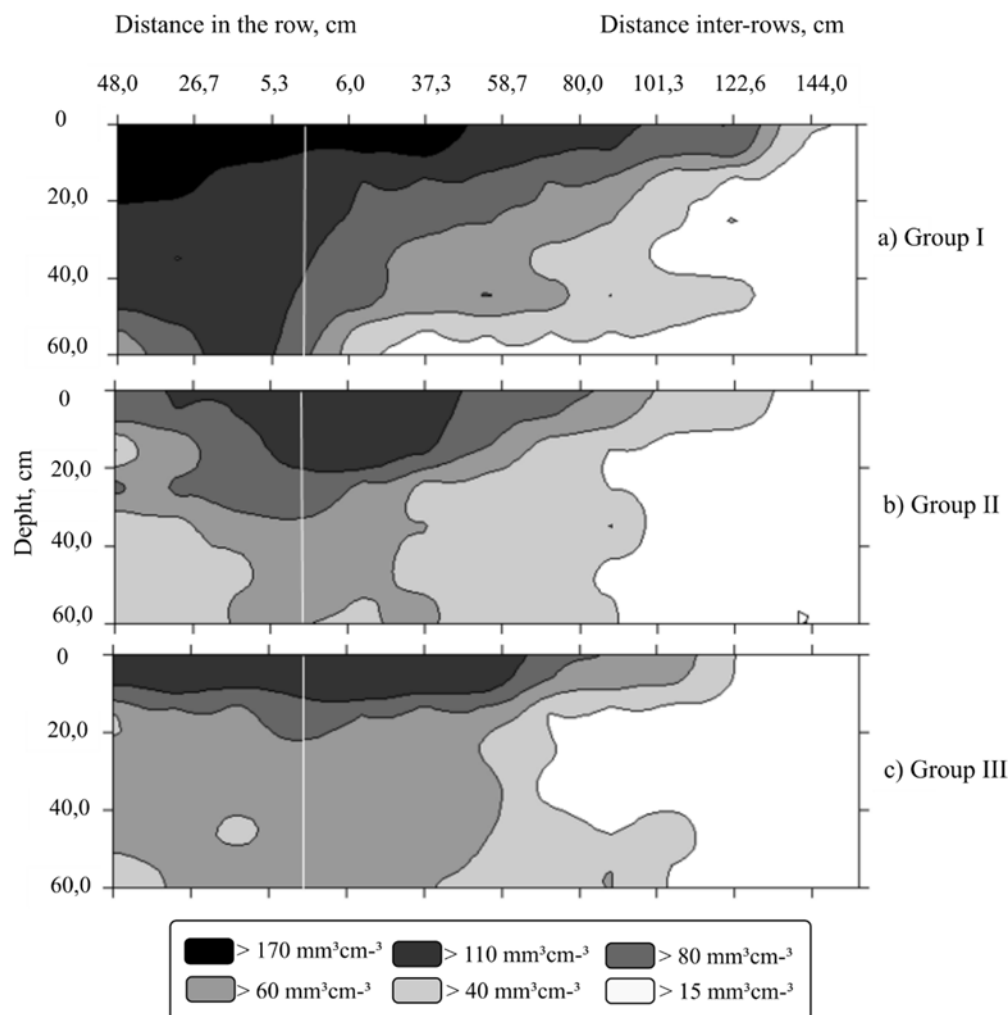


Figure 3. Spatial distribution map of roots in the soil profile for root volume per soil volume, based on the clustering of six *C. canephora* genotypes at three distances in the planting row (16, 32 and 48 cm) and nine distances in inter-row planting (16, 32, 48, 64, 80, 96, 112, 128, 144 cm). Both distances were measured from the stem of the plant and six depths from the ground (0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50 and 50–60 cm) at each distance. The transverse white line refers the location of the plant. (a) Group I—AD1, Valcir P and Peneirão genotypes; (b) Group II—A1 and P2 genotypes and (c) Group III—Z21 genotype.

In the plants of Group II (Figure 3), the volume of roots was concentrated close to the plant stem and in the more superficial layers, 0–20 cm, with 60% of the root volume concentrated up to 30 cm depth, but with a relevant presence up to 60 cm, for both within the row and inter-rows.

In the plants of Group III (Figure 3), the root volume per soil volume was greater until 20 cm depth (mainly in the 0–10 cm layer), both in the row (until 50 cm) and in the inter-row space (until ca. 65 cm). The plants of this group showed greater uniformity between the depths analyzed with 27%

of the root volume observed in the 0–10 cm layer.

For the root length density characteristic, distinct responses were observed between groups. The plants of Group I (Figure 4) showed the great values in the most superficial soil (0–10 cm) and up to 48 cm in the planting line; moreover, about 44% of the root length is in the 0–20 cm beds. On the other hand, in the inter-row direction, shorter roots can be observed in surface-layer soil (0–10 cm) along the evaluated distances, reaching up to 1.44 m away from the plant stem.

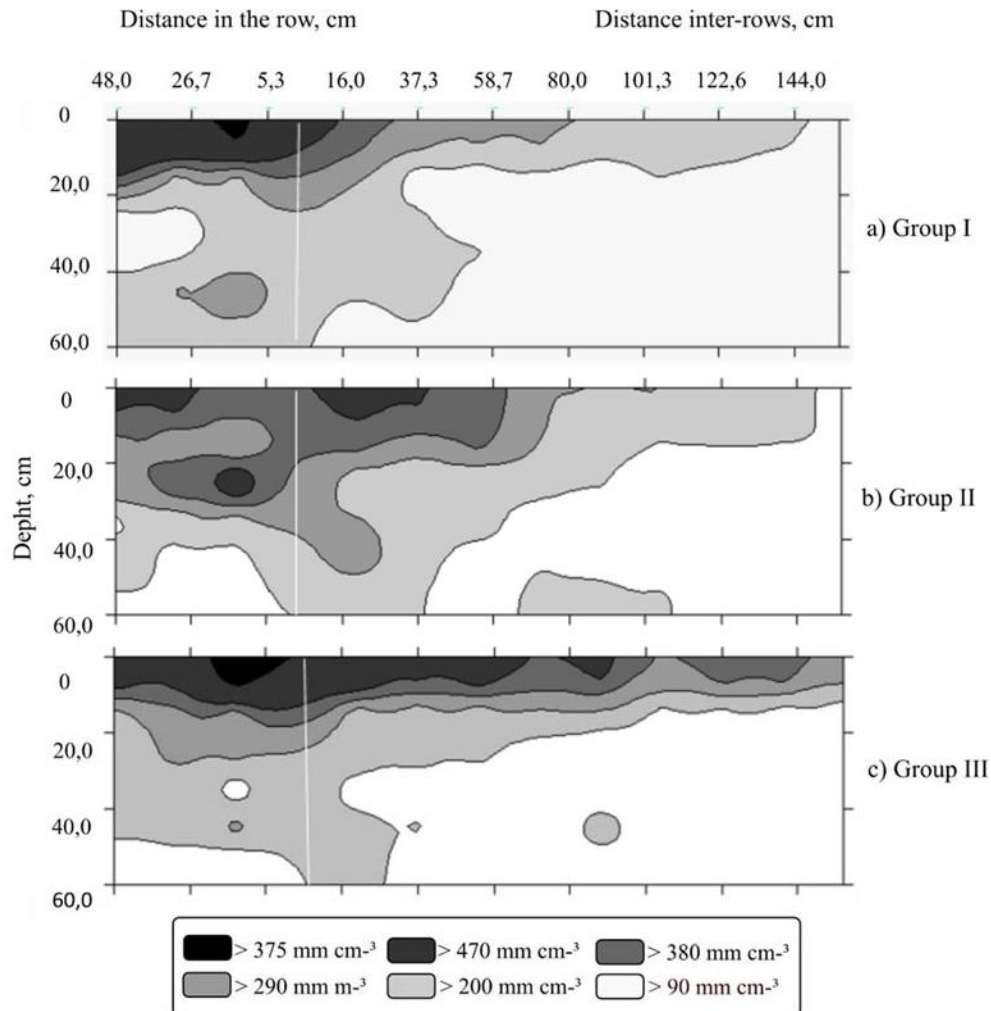


Figure 4. Spatial distribution map of roots in the soil profile for the length root density, based on the clustering of six *C. canephora* genotypes at three distances in the planting row (16, 32 and 48 cm) and nine distances in inter-row planting (16, 32, 48, 64, 80, 96, 112, 128, 144 cm). Both distances were measured from the stem of the plant and six depths from the ground (0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50 and 50–60 cm) at each distance. The transverse white line refers the location of the plant. (a) Group I—AD1, Valcir P and Peneirão genotypes; (b) Group II—A1 and P2 genotypes and (c) Group III—Z21 genotype.

In the plants of Group II (Figure 4), unlike Group I, it was possible to observe medium- to short roots throughout the profile (0–60 cm) analyzed, and along the inter-row remained the short roots in the superficial layers (0–20 cm). About 42% of the longest roots observed in this group of genotypes are located at a depth of 0–20 cm.

In the plants of Group III, the smaller size of roots was observed as the depth of evaluation and the distance observed increased; 35% of the roots of the plants in this group are located at depth 0–10 cm (Figure 4C). However, from the 30 cm layer onwards, there was a predominance of short roots close to the coffee tree stem. Only 10% of roots were located in the deepest layer, 50–60

cm; such roots were considered short and whitish.

4. DISCUSSION

In genetic improvement programs, one should identify similar and distinct genotypes, as the more heterogeneous the population, the greater the possibilities of selecting individuals who are not related. Conilon coffee genotype groupings using genetic distances are important for crops and to ensure that flower cross-fertilization occurs, which will consequently result in higher productivity [12].

These six genotypes emerged from a group of 43 genotypes as regards their high rusticity observed in the biometric characteristics of the aboveground part of the plants and productive capacity [31,32]. In these works, the genotypes were grouped differently in relation to the actual study, where we grouped the genotypes according to their root system distribution, which resulted in three distinct groups.

The Z21 genotype remained isolated in one group. In previous trials, this genotype constituted larger groups, that is, it was formed by more genotypes (in addition to Z21) for characteristics of the root system. Silva et al. [16] observed a similarity between the Z21 and L80 genotypes, at a distance of 30 cm from the plant stem. For this second evaluation moment, the plants of the L80 genotype went through the programmed cycle pruning process, being discarded by the analysis requirements of this study. As for the biometric characteristics evaluated by Dubberstein et al. [31] verified the isolation of this genotype for the characteristics plant height and orthotropic branch length Z21.

The application of geostatistical techniques can contribute to the analysis regarding the development of root systems, especially in perennial crops such as coffee in which the evaluation of the root system without damaging the plant is difficult [15].

The results show that the spherical model was the best at representing the behavior of the spatial distribution of root attributes for all groups (Table 3), in agreement with reports showing that model as the most used to describe the relationships of soil [33]. For the initial selection of the best models, the following were mainly considered: the smallest residual sum of squares (RSS), the largest coefficient of determination of the adjusted model, and the highest values of the cross-validation regression coefficient between real and estimated data. Faraco et al. [34], studying several criteria for the validation of soil attributes, concluded that cross-validation was the most appropriate method for choosing the best fit.

The root systems in Conilon coffee plants can be considered shallow and well distributed horizontally [19]. This pattern was previously observed [13,13,16,19], and could be due to the cloning system, which it is not limited to a single pivot root, as observed in Arabica coffee trees, because their propagation is primarily by seeds [13,19].

Soil fertility and the management adopted in the planting row and the inter-row planting lines can influence the spatial root arrangement. When different genotypes receive the same cultural treatments, and yet there is variation in the spatial root arrangement, it is believed that this variation is due to the genetic constitution of the plant [35].

In this planting, the irrigation drippers are located every 50 cm towards the planting line, it was observed that the root system tends to be located preferably in the vicinity of the drippers. This influences the distribution of the root system in the line. In the distance from 30 to 48 cm, there is a higher concentration of roots compared to the proximity of the coffee stem. This behavior was observed at depths of up to 40 cm with considerable root volume in Group I (Figure 3). According to Covre et al. [14], the drip irrigation system promotes greater distribution of roots in irrigated plants, in the zone by the irrigation wet bulb. The non-irrigated plants presented greater surface area, length, and volume of roots per volume of soil, as well as less discrepant root distribution in the horizontal and vertical directions of the soil, in relation to irrigated plants.

In the three groups of genotypes, it was observed that the root system was distributed, although to a lesser extent, up to the center of the lines (1.44 cm). However, up to 60 cm away from the stem in the little stars and in the superficial layers of the soil (0–20 cm) there were roots with greater surface area, length, and volume of roots per volume of soil. This is probably because these plants are irrigated with drip irrigation, even receiving manual fertilization. When irrigation is located, there is a tendency for this fertilization to be close to the irrigated aerial. However, in Conilon coffee plantations without irrigation, the distribution of roots is less discrepant [14].

Therefore, adequate fertilization should be made in the crown projection, where there is greater root distribution, to ensure better absorption of nutrients and better plant development [17].

In the deeper layers, high levels of acidity in the soil were observed (Table 1), which consequently decrease the concentrations of nutrients. Additionally, below the B horizon, the soil layers can present a higher degree of compaction, hindering the propagation of the root system [35]. Genotypes that have deep roots tend to have a greater capacity to absorb water, nutrients and ensure plant anchorage. Evidently, a root system with deep roots and good distribution along the planting lines, as in the case of plants of Group I, for the characteristic surface area and root length, can be the positive key for the selection of more resistant and productive materials [36].

In addition to the fact that these genotypes stand out due to their high productivity and good plant performance, even after five years of harvests and without the application of programmed pruning, the root system seems to be well developed, similar to what has been observed in other studies already mentioned [16,19]. We can say that the distribution of the root system may be different between different genotypes, with those capable of accessing deeper soil layers and a greater area around the plant, as well as those in which the root system is concentrated in the more superficial layers of the soil. We can also say that its distribution parallel to the plant is more limited. In this case, the non-use of programmed pruning in these genotypes does not interfere in their root distribution. Knowing each of the situations, it is possible to indicate the best regions or best methods for applying fertilizer.

5. CONCLUSIONS

There is variation in the distribution of the root system among genotypes. However, in general, the root system is concentrated at a depth of 0 to 20 cm in the soil, at distances up to 50 cm in the planting row and distances up to 60 cm in inter-rows. Considering the root distribution, the efficiency in nutritional management can be improved by applying fertilizers within a radius of 50 cm around the plant.

6. REFERENCE

1. ICO—International Coffee Organization. Global Coffee Trade. Available online: <https://www.ico.org/documents/cy2021-22/cmr-1221-e.pdf> (accessed on 21 January 2022).
2. Conab—Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de Safra Brasileira de Café, 6, 1–71. Available online: <http://www.conab.gov.br> (accessed on 10 March 2021).
3. Conagin, C.H.T.M.; Mendes, A.J.T. Pesquisas citológicas e genéticas em três espécies de *Coffea*: Auto-incompatibilidade em *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. *Bragantia* **1961**, *20*, 788–804. [CrossRef]
4. Moraes, M.S.; Teixeira, A.L.; Ramalho, A.R.; Espíndula, M.C.; Ferrão, M.A.G.; Rocha, R.B. Characterization of gametophytic self-incompatibility of superior clones of *Coffea canephora*. *Genet. Mol. Res.* **2018**, *17*, gmr16039876. [CrossRef]
5. Rodrigues, W.P.; Martins, M.Q.; Fortunato, A.S.; Rodrigues, A.P.; Smedo, J.N.; Simões-Costa, M.C.; Pais, I.P.; Leitão, A.E.; Colwell, F.; Goulao, L.; et al. Long-Term Elevated Air [CO₂] Strengthens Photosynthetic Functioning and Mitigates the Impact of Supra-Optimal Temperatures in Tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* Species. *GCB Bioenergy* **2016**, *22*, 415–431. [CrossRef]
6. Dubberstein, D.; Lidon, F.C.; Rodrigues, A.N.A.P.; Smedo, J.N.; Marques, I.; Rodrigues, W.P.; Gouveia, D.D.; Armengaud, J.; Smedo, M.C.; Martins, S.; et al. Resilient and Sensitive Key Points of the Photosynthetic Machinery of *Coffea* spp. to the Single and Superimposed Exposure to Severe Drought and Heat Stresses. *Front. Plant. Sci.* **2020**, *11*, 1049. [CrossRef] [PubMed]
7. Smedo, J.N.; Rodrigues, A.P.; Lidon, F.C.; Pais, I.P.; Marques, I.; Gouveia, D.; Armengaud, J.; Martins, S.; Smedo, M.C.; Silva, M.J.; et al. Intrinsic Non-Stomatal Resilience to Drought of the Photosynthetic Apparatus in *Coffea* spp. Can Be Strengthened by Elevated Air CO₂. *Tree Physiol.* **2021**, *41*, 708–727. [CrossRef] [PubMed]
8. Marques, I.; Gouveia, D.; Gaillard, J.C.; Martins, S.; Smedo, M.C.; Lidon, F.C.; DaMatta, F.M.; Ribeiro-Barros, A.I.; Armengaud, J.; Ramalho, J.C. Next-Generation Proteomics Reveals a Greater Antioxidative Response to Drought in *Coffea arabica* Than in *Coffea canephora*. *Agronomy* **2020**, *12*, 148. [CrossRef]
9. Ramalho, J.C.; DaMatta, F.M.; Rodrigues, A.P.; Scotti-Campos, P.; Pais, I.; Batista-Santos, P.; Partelli, F.L.; Ribeiro, A.; Lidon, F.C.; Leitão, A.E. Cold Impact and Acclimation Response of *Coffea* spp. *Plants. Theor. Exp.*

- Plant. Physiol.* **2014**, *26*, 5–18. [CrossRef]
10. Partelli, F.L.; Golynski, A.; Ferreira, A.; Martins, M.Q.; Mauri, A.L.; Ramalho, J.C.; Vieira, H.D. Andina-First clonal cultivar of high-altitude conilon coffee. *Crop. Breed. Appl. Biotechnol.* **2019**, *19*, 476–480. [CrossRef]
 11. Partelli, F.L.; Giles, J.A.D.; Oliosi, G.; Covre, A.M.; Ferreira, A.; Rodrigues, V.M. Tributun: A coffee cultivar developed in partnership with farmers. *Crop. Breed. Appl. Biotechnol.* **2020**, *20*. [CrossRef]
 12. Senra, J.F.B.; Ferrão, M.A.G.; Mendonça, R.F.; Fonseca, A.F.A.; Ferrão, R.G.; Volpi, P.S.; Verdin Filho, A.C.; Comério, M.; Silva, M.W. Genetic Variability of Access of the Active Germplasm Bank of *Coffea canephora* of Incaper in Southern Espírito Santo. *J. Genet. Resour.* **2020**, *6*, 172–184. [CrossRef]
 13. Partelli, F.L.; Covre, A.M.; Oliveira, M.G.; Alexandre, R.S.; Vitória, E.L.; Silva, M.B. Root system distribution and yield of “Conilon” coffee propagated by seeds or cuttings. *Pesqui. Agropecu. Bras.* **2014**, *49*, 349–355. [CrossRef]
 14. Covre, A.M.; Partelli, F.L.; Gontijo, I.; Zucoloto, M. Root system distribution of irrigated and nonirrigated conilon coffee. *Pesqui. Agropecu. Bras.* **2015**, *50*, 1006–1016. [CrossRef]
 15. Voss-Fels, K.P.; Snowdon, R.J.; Hickey, L.T. Designer Roots for Future Crops. *Trends Plant. Sci.* **2018**, *23*, 957–960. [CrossRef] [PubMed]
 16. Silva, L.O.E.; Schmidt, R.; Valani, G.P.; Ferreira, A.; Ribeiro-Barros, A.I.; Partelli, F.L. Root Trait Variability in *Coffea canephora* Genotypes and Its Relation to Plant Height and Crop Yield. *Agronomy* **2020**, *10*, 1394. [CrossRef]
 17. Ronchi, C.P.; Sousa Júnior, J.M.; Almeida, W.L.; Souza, D.S.; Silva, N.O.; Oliveira, L.B.; Guerra, A.M.N.M.; Ferreira, P.A. Morfologiaradicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. *Pesqui. Agropecu. Bras.* **2015**, *50*, 187–195. [CrossRef]
 18. Tracy, S.R.; Nagel, K.A.; Postma, J.A.; Fassbender, H.; Wasson, A.; Watt, M. Crop Improvement from Phenotyping Roots: Highlights Reveal Expanding Opportunities. *Trends Plant. Sci.* **2020**, *25*, 105–118. [CrossRef]
 19. Partelli, F.L.; Cavalcanti, A.C.C.; Menegardo, C.; Covre, A.M.; Gontijo, I.; Braun, H. Spatial distribution of the root system of Conilon and Arabica coffee plants. *Pesqui. Agropecu. Bras.* **2020**, *55*, e01333. [CrossRef]
 20. Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. Köppen’s climate classification map for Brazil. *Meteorol. Z.* **2013**, *22*, 711–728. [CrossRef]
 21. Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.Á.; Lumbreiras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Araújo Filho, J.C.; Oliveira, J.B.; Cunha, T.J.F. *Brazilian Soil Classification System*, 5th ed.; Embrapa: Brasília, Brazil, 2018.
 22. Paye, H.S.; Partelli, F.L.; Martins, A.G.; Siebeneichler, E.A. Recomendação de adubação e calagem. In *Café conilon: Conhecimento Para Superar Desafios*; Partelli, F.L., Espindula, M.C., Eds.; Caufes: Alegre, Brazil, 2019; pp. 75–97.
 23. Partelli, F.L.; Covre, A.M.; Oliosi, G.; Covre, D.T. Monte Pascoal: First clonal Conilon coffee cultivar for Southern Bahia-Brazil. *Funct. Plant. Breed. J.* **2021**, *3*, 107–112. [CrossRef]
 24. Santos, W.J.R.; Silva, B.M.; Oliveira, G.C.; Volpato, M.M.L.; Lima, J.M.; Curi, N.; Marques, J.J. Soil moisture in the root zone and its relation to plant vigor assessed by remote sensing at management scale. *Geoderma* **2014**, *222*, 91–95. [CrossRef]
 25. Jorge, L.A.C.; Silva, D.J.C. *SAFIRA: Manual de Utilização*; Embrapa Instrumentação Agropecuária: São Carlos, Brazil, 2010.
 26. *R Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing*; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, 2020; Available online: <https://www.R-project.org> (accessed on 20 February 2022).
 27. Vieira, S.R.; Hatfield, J.L.; Nielsen, D.R.; Biggar, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia* **1983**, *51*, 1–75. [CrossRef]
 28. Robertson, G.P. *GS+: “Geostatistics for the Environmental Sciences”*; Gamma Design Software: Plainwell, MI, USA, 2008; Available online: <https://geostatistics.com/files/GSPlusUserGuide.pdf> (accessed on 20 February 2022).
 29. Amado, T.J.C.; Pontelli, C.B.; Santi, A.L.; Viana, J.H.M.; Sulzbach, L.A.S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema de plantio direto. *Pesqui. Agropecu. Bras.* **2007**, *42*, 1101–1110. [CrossRef]
 30. Mojena, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: An evaluation. *Comput. J.* **1977**, *20*, 359–363. [CrossRef]
 31. Dubberstein, D.; Partelli, F.L.; Guilhen, J.H.S.; Rodrigues, W.P.; Ramalho, J.C.; Ribeiro-Barros, A. Biometric traits as a tool for the identification and breeding of *Coffea canephora* genotypes. *Genet. Mol. Res.* **2020**, *19*, GMR18541. [CrossRef]
 32. Partelli, F.L.; Oliosi, G.; Dalazen, J.R.; Silva, C.A.; Vieira, H.D.; Espindula, M.C. Proportion of ripe fruit weight and volume to green coffee: Differences in 43 genotypes of *Coffea canephora*. *Agron. J.* **2021**, *113*, 1050–1057. [CrossRef]
 33. Salviano, A.A.C.; Vieira, S.R.; Sparovek, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. *Rev. Bras. Cienc. Solo* **1998**, *22*, 115–122. [CrossRef]

34. Faraco, M.A.; Uribe-Opazo, M.A.; Silva, E.A.A.; Johann, J.A.; Borssoi, J.A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. *Rev. Bras. Cienc. Solo* **2018**, *32*, 463–476. [CrossRef]
35. Rao, I.M.; Miles, J.W.; Beebe, S.E.; Horst, W.J. Root adaptations to soils with low fertility and aluminium toxicity. *Ann. Bot.* **2016**, *118*, 593–605. [CrossRef]
36. Nunes, A.L.P.; Cortez, G.L.S.; Zaro, G.C.; Zorzenoni, T.O.; Melo, T.R.; Figueiredo, A.; Aquino, G.S.; Medina, C.C.; Ralisch, R.; Caramori, P.H.; et al. Soil morphostructural characterization and coffee root distribution under agroforestry system with *Hevea brasiliensis*. *Sci. Agric.* **2021**, *78*, 1–12.