

CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES MINERAIS EM ACESSOS DA ETIÓPIA DE *Coffea arabica*¹

Tiago Benedito dos Santos², Anderson Rotter Meda³, Renata Barrufaldi Sitta⁴, Eduardo Brandalize Vespero⁵,
Marcos Antonio Pavan⁶, Pierre Charmetant⁷, Luiz Filipe Protasio Pereira⁸, Luiz Gonzaga Esteves Vieira⁹,
Douglas Silva Domingues¹⁰

¹Trabalho financiado pelo Consórcio Pesquisa Café, Fundação Araucária e CNPq

²Bolsista CAPES, MSc., Lab. de Biotecnologia Vegetal (LBI), IAPAR, Londrina-PR, tiagogalactinol@gmail.com

³Bolsista DTI-CNPq, PhD, LBI-IAPAR, Londrina-PR, andersonmeda@gmail.com

⁴Acadêmica de Ciências Biológicas, Bolsista PIBIC/CNPq, LBI-IAPAR, Londrina-PR, re_sitta@hotmail.com

⁵Acadêmico de Agronomia, Bolsista PIBIC/Fund. Araucária, LBI-IAPAR, Londrina-PR, dudu-vespero@hotmail.com

⁶Pesquisador, PhD., Área de Solos, IAPAR, mpavan@iapar.br

⁷Pesquisador Visitante, M.Sc., LBI-IAPAR e UMR-AGAP, CIRAD, Montpellier, França, pierre.charmetant@cirad.fr

⁸Pesquisador, PhD, Embrapa Café/LBI-IAPAR, lpereira@iapar.br

⁹Pesquisador, PhD, LBI-IAPAR, lvieira@iapar.br

¹⁰Pesquisador, D.Sc., LBI-IAPAR, doug@iapar.br

RESUMO: O sucesso do manejo nutricional em plantas depende de diversos fatores, como características químicas, biológicas e físicas do solo, além da influência do genótipo. Apesar do manejo agrônomo visando à adequação do solo para a cultura do cafeeiro estar bem estabelecido, pouco se sabe sobre o efeito do genótipo na absorção e acúmulo de nutrientes minerais. Tradicionalmente, o melhoramento genético do cafeeiro foca-se em características morfológicas, resistência a doenças e na produtividade; dessa forma, a exigência nutricional foi deixada em plano secundário ao longo deste processo. Com a necessidade cada vez maior de variedades que apresentem boa produtividade com impactos menores ao meio ambiente, a introgressão de características de genótipos silvestres é uma relevante estratégia para incremento da eficiência nutricional. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar a concentração de nutrientes em 12 acessos silvestres de *Coffea arabica* provenientes da Etiópia, identificando genótipos de cafeeiro que apresentam acumulação diferencial de nutrientes minerais (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, B e Mn) com relação a três tecidos: folhas, caule e raiz. Entre os acessos da Etiópia, destacou-se a concentração diferencial de P em folhas do acesso CAF032, e o acúmulo em raiz de N (CAF009), Zn (CAF131) e Mn (CAF023). Bourbon teve acúmulo diferencialmente menor de P no caule e maior de Ca na raiz e Catuaí Vermelho apresentou concentração diferencial de Mg no caule. O presente trabalho é uma importante contribuição na definição de genótipos silvestres de *Coffea arabica* com potencial de introgressão de características relacionadas à eficiência nutricional.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, nutrição mineral, concentração de nutrientes.

MINERAL NUTRIENT CONCENTRATION IN ETHIOPIAN ACCESSIONS OF *Coffea arabica*

ABSTRACT: The success of plant nutrition depends on several factors, such as soil properties (chemical, biological and physical), and genotypic influence. Despite soil and agronomic management for coffee plantations are well established, little is known about the genotype effect in nutrient absorption and accumulation. Plant breeding is traditionally focused on morphological traits, disease resistance and productivity. Thus, the nutritional requirement was left as a secondary issue during this process. Nowadays, considering the increasing demand for productive cultivars with low environmental impact, the introgression of wild genotype traits is an important strategy for enhancing nutritional efficiency. In this context, this work aims to characterize nutrient accumulation in 12 *Coffea arabica* wild accessions from Ethiopia, in order to identify genotypes displaying differential accumulation of mineral nutrients (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, B and Mn) in three tissues: leaf, stem and root. Among Ethiopian genotypes, there was differential P concentration in CAF032 leaves; in roots, we observed differential accumulation on N (CAF009), Zn (CAF131) and Mn (CAF023). Bourbon had low P accumulation in stem and high Ca accumulation in roots, and Catuaí Vermelho had differential Mg concentration in stem. The present data is an important contribution to define *Coffea arabica* wild genotypes with potential characteristics related to nutritional efficiency.

Key words: *Coffea arabica*, mineral nutrition, nutrient concentration.

INTRODUÇÃO

O café é considerado uma importante fonte de divisas e representa o segundo item de maior comercialização no mercado internacional, atrás somente do petróleo, e o Brasil o maior produtor mundial (Leroy et al., 2006). O centro de origem da espécie encontra-se nas florestas montanas latifoliadas das regiões de Jimma e Kaffa, na Etiópia, e no platô de Boma, no Sudão (Morais, 2006). Das mais de cem espécies de *Coffea* descritas, duas destacam-se por sua importância econômica: *Coffea arabica* (aproximadamente 70% do mercado) e *Coffea canephora* (~30%) (Vieira et al., 2006).

A base genética da maioria dos cultivares brasileiros é proveniente de uma única progênie indonésia, que havia sido cultivada na Europa (revisado por Silvestrini et al., 2007). Em razão desta baixa diversidade e devido à necessidade de conservação dos recursos genéticos do cafeeiro, a FAO organizou em 1964-65 uma missão para coleta de germoplasma das prováveis regiões de origem destas espécies (FAO, 1968), onde obteve-se 621 amostras de sementes de diferentes locais, que foram distribuídos a centros de pesquisa de diversos países. O Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) teve acesso a esta coleção, que foi repassada para o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). Embora este material já tenha sido avaliado com relação a sua diversidade fenotípica (Montagnon & Bouharmont, 1996) e molecular (Silvestrini et al., 2007), resistência a nematóides (Anzueto et al., 2001) e qualidade da bebida (Bertrand et al., 2006), não existem dados sobre o acúmulo de nutrientes minerais.

A falta ou o excesso de um nutriente para a planta refletem-se em anormalidades, típicas de cada nutriente. Na maior parte dos casos, para avaliação do estado nutricional da planta, é avaliado um órgão, geralmente a folha, dependendo do elemento (Carvalho et al., 2001). A diversidade genotípica para eficiência nutricional tem sido pouco explorada na cultura cafeeira. Por consequência, as coleções de germoplasma procedente da região de origem de *C. arabica* e espécies silvestres do gênero *Coffea* apresentam grande importância do ponto de vista adaptativo, já que são fontes importantes de variabilidade genética. Estas espécies por sua vez possuem características de interesse agrônomo como resistência a doenças e pragas, bem como a vários outros tipos de estresses, bióticos e abióticos (Fazuoli et al., 2000).

Atualmente, a eficiência nutricional de um genótipo é um aspecto relevante do melhoramento, em face da potencial economia de insumos e o menor impacto ao meio ambiente. Devido à falta de informação sobre o acúmulo de nutrientes minerais em genótipos silvestres de cafeeiro, este trabalho tem como objetivo fazer um levantamento da concentração de nutrientes em folha, caule e raízes de mudas provenientes de uma coleção da Etiópia de *C. arabica*.

MATERIAL E MÉTODOS

O IAPAR conta com 135 genótipos de *C. arabica* originados da Etiópia, plantados a campo, na estação experimental de Londrina. Desses acessos, foram selecionados aqueles mais diversos quanto à origem geográfica e variabilidade fenotípica, com dados fornecidos pelo Dr. David Pot (CIRAD, França). Considerou-se parâmetros de tempo de florescimento, porte e altura da planta, tamanho dos frutos, grau de maturidade e qualidade dos grãos, teor de cafeína, vigor da planta, tamanho e largura das folhas.

Foram selecionadas sementes provenientes de 12 acessos representativos de cada grupo divergente: E565/CAF009, E332/CAF023, E327/CAF032, E007/CAF087, E386/CAF131, E272/CAF175, E287/CAF234, E261/CAF299, E124/CAF426, E038/CAF553, E237/CAF626, E037/CAF676. Incluiu-se também os seguintes cultivares comerciais de *C. arabica*: Mundo Novo, Catuaí Vermelho (IAC H-2077-2-5-99), IAPAR 59 e IPR98. As mudas de café foram obtidas através da germinação das sementes em areia e seu cultivo até dois pares de folhas verdadeiras (cinco meses) em tubetes contendo substrato agrícola, em condições de telado. As plantas foram transferidas para vasos de 4 L contendo 2,6 kg de substrato agrícola MecPlant tipo Café 2 (Klabin, Brasil), em cinco repetições por genótipo (1 planta/vaso) e mantidas em condições de casa de vegetação. As plantas foram então fertirrigadas semanalmente (0,5L por planta) com solução nutritiva com a seguinte composição química (em µM): 800 K₂SO₄, 250 MgSO₄, 200 KH₂PO₄, 500 CaCl₂, 4000 NH₄NO₃, 100 NaFeEDTA, 5 H₃BO₃, 3 MnSO₄, 2,5 ZnSO₄, 1 CuSO₄, 0,7 NaMoO₄. Dentre os tratamentos culturais foram realizadas a prevenção e controle de bicho-mineiro (Actara - 0,5%), ácaros (Abamectin - 0,05%), cercospora e ferrugem (Folicur - 0,2%).

Foram utilizados 17 tratamentos (genótipos de cafeeiro), e cada parcela foi composta por cinco plantas. Os cultivares comerciais de café (IAPAR 59, IPR 98, Catuaí Vermelho e Mundo Novo) foram incluídos como referência para comparações das concentrações de cada elemento. Após sete meses de crescimento (plantas de um ano de idade), elas foram separadas em raízes, folhas e caules para avaliação. Os materiais vegetais foram tratados com solução aquosa contendo 1% de ácido clorídrico (HCl) para descontaminação, seguida de dupla lavagem com água destilada. O material foi seco (65°C, 48h), moído, passado em peneiras de 1mm e analisado quimicamente conforme procedimento padrão do Laboratório de Solos do IAPAR, Londrina (Miyazawa et al., 1992). Os resultados foram normalizados para obtenção de uma escala “z-score” que indica o número de desvios-padrão em relação à média geral de cada nutriente em cada tecido (Lahner et al., 2003), de acordo com a fórmula: z-score= (média do genótipo)-(média de todos os genótipos)/desvio padrão das médias de todos os genótipos. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o Programa Computacional Sisvar (Ferreira, 2000) pelo teste Scott-Knot, considerando-se significativas médias com

$p < 0,05$. Em razão da importância do nitrogênio foliar para avaliação do estado nutricional da planta, sua concentração foi analisada pela Correlação de Spearman com relação aos demais nutrientes da folha ($p < 0,001$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações de macro e micronutrientes foram determinadas em folhas, caule e raiz de cafeeiros da coleção oriunda da Etiópia e cultivares comerciais, plantados em casa de vegetação na estação experimental do IAPAR, Londrina. Dentre os genótipos, em folhas, houve diferença estatisticamente significativa para as médias das concentrações de todos os nutrientes, com exceção de zinco (Zn) e manganês (Mn) (Tabela 1). Já para os nutrientes no caule, apenas o boro (B) não apresentou diferença estatisticamente significativa entre os 17 genótipos avaliados (Tabela 3). Com relação à raiz, três nutrientes não apresentaram diferença significativa de concentração: P, Ca e B (Tabela 5). Lahner et al. (2003) coloca que na análise de z-score, valores abaixo de -1,5 e acima +1,5 indicam genótipos com relevante concentração diferencial de nutrientes. Dessa forma, a variabilidade para acumulação de nutrientes nos genótipos não foi alta (Tabelas 2, 4 e 6). Entretanto, pode-se destacar a acumulação diferenciada simultânea para dois nutrientes (P e B) na folha do acesso silvestre CAF032. Já o genótipo Catuaí Vermelho apresentou acúmulo diferencial de N nas folhas, e baixa concentração de micronutrientes (Ca, Mg e B). Em caule, foi observado que IAPAR 59 teve acúmulo diferencial para cinco nutrientes, todos acima de 1,5 desvios-padrão (Tabela 4). IPR 98 destacou-se como o com maior acúmulo de K no caule, e Bourbon teve acúmulo reduzido diferencialmente para P. Para a raiz, CAF131 apresentou acúmulo diferencial para Zn e de 1,48 desvios-padrão para Cu. Bourbon apresentou maior acúmulo de B e Ca na raiz entre os genótipos avaliados. Com relação ao nitrogênio, o acesso silvestre CAF009 apresentou acúmulo diferencial com relação a média geral (Tabela 6).

Tabela 1. Concentrações de macro e micronutrientes em folhas dos genótipos de cafeeiro da coleção da Etiópia e cultivares comerciais.

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Mn
IPR 98	38.04 a2	5.92 a1	23.20 a2	11.46 a1	6.57 a1	0.94 a1	12.68 a1	80.52 a1	60.71 a1
IAPAR 59	38.68 a2	7.35 a1	22.60 a2	12.49 a1	7.11 a1	0.69 a1	17.15 a1	100.14 a2	74.22 a1
CAF553	37.96 a2	7.91 a1	21.20 a1	13.84 a2	7.58 a1	1.52 a2	11.23 a1	91.69 a1	58.25 a1
CATUAÍ V.	41.64 a2	6.31 a1	27.20 a2	11.42 a1	6.25 a1	1.20 a1	12.62 a1	62.58 a1	62.84 a1
BOURBON	34.92 a1	4.55 a1	27.40 a2	11.67 a1	6.28 a1	1.59 a2	10.67 a1	93.71 a1	66.48 a1
CAF175	30.16 a1	7.05 a1	20.20 a1	14.20 a2	8.69 a2	2.15 a2	10.41 a1	106.87 a2	51.71 a1
CAF234	37.97 a2	7.96 a1	24.40 a2	14.22 a2	8.09 a2	1.16 a1	10.79 a1	126.07 a2	81.21 a1
CAF626	37.81 a2	7.27 a1	21.80 a1	15.34 a2	8.06 a2	1.12 a1	10.95 a1	119.25 a2	74.35 a1
CAF676	40.26 a2	10.14 a2	24.20 a2	14.43 a2	7.84 a2	2.09 a2	19.04 a1	102.05 a2	69.81 a1
CAF426	34.97 a1	7.85 a1	17.40 a1	15.77 a2	8.82 a2	1.64 a2	11.38 a1	106.43 a2	71.06 a1
CAF299	35.85 a2	10.84 a3	20.60 a1	13.52 a2	7.95 a2	0.80 a1	9.36 a1	112.94 a2	73.29 a1
CAF087	31.46 a1	6.81 a1	20.00 a1	12.22 a1	6.75 a1	0.61 a1	10.97 a1	86.83 a1	71.18 a1
CAF032	32.26 a1	12.08 a3	17.60 a1	15.11 a2	9.00 a2	0.53 a1	10.43 a1	130.58 a2	63.01 a1
MUNDO NOVO	33.27 a1	9.15 a2	20.40 a1	16.94 a2	9.28 a2	2.40 a2	11.99 a1	87.82 a1	68.99 a1
CAF131	30.20 a1	8.70 a2	23.00 a2	12.47 a1	7.34 a1	2.00 a2	15.14 a1	91.74 a1	77.41 a1
CAF023	36.56 a2	9.27 a2	23.60 a2	12.03 a1	7.03 a1	0.19 a1	8.92 a1	74.72 a1	60.72 a1
CAF009	34.75 a1	7.33 a1	21.20 a1	14.74 a2	7.62 a1	0.70 a1	10.99 a1	90.01 a1	54.00 a1

Tabela 2. Identificação de genótipos de cafeeiro com perfil nutricional diferenciado nas folhas. Os valores representados referem-se ao “z-score”, que indica o número de desvios-padrão em relação à média geral de cada nutriente nas folhas.

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Mn
IPR 98	0.51	-0.86	0.24	-0.81	-0.88	-0.27	0.11	-0.60	-0.34
IAPAR 59	0.65	-0.28	0.11	-0.43	-0.44	-0.49	0.87	0.08	0.39
CAF553	0.49	-0.05	-0.20	0.08	-0.07	0.23	-0.14	-0.22	-0.48
CATUAÍ V.	1.29	-0.71	1.13	-0.82	-1.14	-0.05	0.10	-1.23	-0.23
BOURBON	-0.17	-1.43	1.18	-0.73	-1.11	0.29	-0.23	-0.14	-0.03
CAF175	-1.20	-0.40	-0.43	0.21	0.83	0.77	-0.28	0.31	-0.83
CAF234	0.50	-0.03	0.51	0.21	0.35	-0.08	-0.21	0.98	0.77

CAF626	0.46	-0.31	-0.07	0.63	0.32	-0.11	-0.19	0.74	0.40
CAF676	0.99	0.86	0.46	0.29	0.14	0.72	1.19	0.14	0.15
CAF426	-0.16	-0.07	-1.05	0.79	0.94	0.33	-0.11	0.30	0.22
CAF299	0.03	1.15	-0.34	-0.04	0.23	-0.39	-0.46	0.52	0.34
CAF087	-0.92	-0.50	-0.47	-0.52	-0.74	-0.56	-0.18	-0.38	0.23
CAF032	-0.75	1.66	-1.01	0.54	1.08	-0.63	-0.27	1.14	-0.22
MUNDO NOVO	-0.53	0.46	-0.38	1.22	1.30	0.99	-0.01	-0.35	0.11
CAF131	-1.20	0.28	0.20	-0.43	-0.26	0.64	0.53	-0.21	0.57
CAF023	0.19	0.51	0.33	-0.59	-0.51	-0.91	-0.53	-0.80	-0.34
CAF009	-0.21	-0.29	-0.20	0.41	-0.04	-0.48	-0.18	-0.27	-0.71

*Valores em negrito indicam os maiores e menores z-scores para cada nutriente.

Tabela 3. Concentrações de macro e micronutrientes em caule dos genótipos de cafeeiro da coleção da Etiópia e cultivares comerciais.

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Mn									
IPR 98	20.10	a3	6.37	a1	14.20	a3	6.19	a2	4.84	a2	2.41	a2	36.39	a3	20.14	a1	32.07	a2
IAPAR 59	20.64	a3	8.05	a2	11.40	a2	6.93	a2	6.11	a3	2.04	a2	38.29	a3	24.43	a1	39.73	a2
CAF553	16.25	a2	6.83	a1	11.20	a2	4.32	a1	3.36	a1	2.03	a2	18.90	a3	19.48	a1	25.84	a1
C. VERMELHO	19.52	a3	8.37	a2	11.60	a2	6.69	a2	6.18	a3	2.45	a2	38.21	a1	19.72	a1	32.07	a2
BOURBON	16.74	a2	4.72	a1	10.20	a1	5.55	a2	3.93	a1	2.45	a2	28.20	a2	19.66	a1	32.94	a2
CAF175	15.62	a2	6.11	a1	10.00	a1	5.25	a1	3.64	a1	2.41	a2	16.63	a1	19.30	a1	25.02	a1
CAF234	20.78	a3	7.19	a2	8.80	a1	4.93	a1	4.46	a2	2.19	a2	24.40	a1	14.41	a1	25.72	a1
CAF626	15.52	a2	6.45	a1	9.60	a1	4.56	a1	3.94	a1	2.57	a2	23.81	a1	15.61	a1	33.91	a2
CAF676	17.06	a2	8.52	a2	8.80	a1	4.61	a1	4.69	a2	1.87	a1	31.87	a2	15.92	a1	28.53	a2
CAF426	15.60	a2	7.44	a2	8.80	a1	4.01	a1	3.23	a1	1.59	a1	13.08	a1	19.19	a1	23.55	a1
CAF299	15.75	a2	6.97	a1	8.60	a1	4.13	a1	3.94	a1	1.74	a1	22.55	a1	16.37	a1	22.32	a1
CAF087	11.88	a1	6.13	a1	9.40	a1	4.45	a1	3.34	a1	1.56	a1	19.14	a1	14.19	a1	20.47	a1
CAF032	17.93	a3	6.70	a1	8.00	a1	3.88	a1	3.90	a1	1.50	a1	21.86	a1	17.09	a1	19.56	a1
MUNDO NOVO	13.11	a1	7.41	a2	7.80	a1	4.07	a1	3.38	a1	2.04	a2	20.15	a1	17.24	a1	21.44	a1
CAF131	14.08	a1	6.35	a1	7.00	a1	3.87	a1	2.76	a1	1.75	a1	14.44	a1	17.73	a1	29.88	a2
CAF023	13.45	a1	6.33	a1	8.20	a1	4.71	a1	3.04	a1	1.33	a1	19.98	a1	17.32	a1	26.46	a1
CAF009	17.93	a3	7.47	a2	10.00	a1	4.91	a1	3.84	a1	1.50	a1	18.17	a1	17.88	a1	23.93	a1

Tabela 4. Identificação de genótipos de cafeeiro com perfil nutricional diferenciado no caule. Os valores representados referem-se ao "z-score", que indica o número de desvios-padrão em relação à média geral de cada nutriente no caule.

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Mn
IPR 98	0.99	-0.41	2.01	1.03	0.69	0.71	1.34	0.50	0.61
IAPAR 59	1.14	0.88	0.78	1.62	1.80	0.12	1.54	1.51	1.59
CAF553	-0.09	-0.06	0.69	-0.45	-0.58	0.09	-0.53	0.35	-0.18
CATUAÍ V.	0.82	1.12	0.87	1.43	1.86	0.76	1.53	0.41	0.62
BOURBON	0.04	-1.67	0.25	0.53	-0.09	0.77	0.46	0.39	0.73
CAF175	-0.27	-0.61	0.17	0.29	-0.34	0.71	-0.78	0.31	-0.29
CAF234	1.18	0.22	-0.36	0.03	0.37	0.35	0.05	-0.83	-0.20
CAF626	-0.30	-0.35	-0.01	-0.26	-0.08	0.96	-0.01	-0.55	0.85
CAF676	0.13	1.24	-0.36	-0.22	0.57	-0.16	0.85	-0.48	0.16
CAF426	-0.28	0.41	-0.36	-0.69	-0.69	-0.59	-1.16	0.28	-0.47
CAF299	-0.23	0.05	-0.45	-0.60	-0.09	-0.36	-0.14	-0.38	-0.63
CAF087	-1.32	-0.59	-0.10	-0.35	-0.60	-0.65	-0.51	-0.89	-0.87
CAF032	0.38	-0.16	-0.71	-0.79	-0.11	-0.74	-0.22	-0.21	-0.98
MUNDO NOVO	-0.98	0.38	-0.80	-0.64	-0.57	0.12	-0.40	-0.17	-0.74
CAF131	-0.70	-0.43	-1.15	-0.80	-1.10	-0.34	-1.01	-0.06	0.34
CAF023	-0.88	-0.44	-0.62	-0.14	-0.86	-1.01	-0.42	-0.15	-0.10

CAF009 0.38 0.43 0.17 0.02 -0.17 -0.74 -0.61 -0.02 -0.43
*Valores em negrito indicam os maiores e menores z-scores para cada nutriente.

Tabela 5. Concentrações de macro e micronutrientes em raiz dos genótipos de cafeeiro da coleção da Etiópia e cultivares comerciais.

	N		P		K		Ca		Mg		Cu		Zn		B		Mn	
IPR 98	22.68	a2	2.74	a1	24.00	a1	4.13	a1	7.17	a1	4.50	a1	20.63	a1	32.28	a1	29.66	a1
IAPAR 59	22.85	a2	3.00	a1	22.00	a1	4.49	a1	6.36	a1	3.95	a1	20.69	a1	32.58	a1	32.96	a1
CAF553	18.38	a1	3.50	a1	20.00	a1	2.78	a1	6.07	a1	4.02	a1	15.25	a1	31.57	a1	23.22	a1
CATUAÍ V.	22.95	a2	3.15	a1	28.80	a2	3.79	a1	9.12	a2	4.81	a1	34.98	a2	28.81	a1	32.57	a1
BOURBON	22.87	a2	3.62	a1	22.00	a1	6.76	a1	7.11	a1	3.76	a1	16.25	a1	48.01	a1	37.90	a2
CAF175	21.54	a2	3.42	a1	24.40	a1	3.99	a1	8.85	a2	5.80	a2	16.10	a1	22.98	a1	39.19	a2
CAF234	22.34	a2	3.49	a1	29.00	a2	3.89	a1	8.11	a1	4.37	a1	15.83	a1	27.95	a1	33.59	a1
CAF626	21.01	a2	3.17	a1	25.20	a2	3.66	a1	10.82	a3	4.61	a1	18.79	a1	26.82	a1	32.74	a1
CAF676	19.76	a1	3.14	a1	22.80	a1	3.51	a1	8.73	a2	4.27	a1	28.25	a2	28.14	a1	30.49	a1
CAF426	19.07	a1	3.55	a1	21.80	a1	2.92	a1	6.89	a1	4.19	a1	13.96	a1	24.70	a1	28.80	a1
CAF299	17.35	a1	3.32	a1	22.40	a1	3.56	a1	10.36	a3	4.47	a1	15.47	a1	27.01	a1	30.89	a1
CAF087	18.70	a1	3.63	a1	21.00	a1	3.72	a1	9.88	a2	4.59	a1	16.50	a1	28.92	a1	29.91	a1
CAF032	18.64	a1	3.06	a1	21.80	a1	3.73	a1	11.66	a3	4.30	a1	18.01	a1	26.47	a1	29.17	a1
MUNDO NOVO	16.86	a1	2.84	a1	24.00	a1	3.10	a1	8.15	a1	5.33	a2	18.91	a1	23.60	a1	28.82	a1
CAF131	18.78	a1	2.93	a1	19.40	a1	3.12	a1	8.64	a2	6.02	a2	38.46	a2	30.26	a1	42.18	a2
CAF023	19.63	a1	3.46	a1	21.00	a1	3.66	a1	8.36	a1	3.90	a1	18.88	a1	27.58	a1	47.94	a2
CAF009	25.96	a3	4.07	a1	26.80	a2	3.57	a1	9.57	a2	4.08	a1	24.34	a1	26.67	a1	29.53	a1

Tabela 6. Identificação de genótipos de cafeeiro com perfil nutricional diferenciado na raiz. Os valores representados referem-se ao “z-score”, que indica o número de desvios-padrão em relação à média geral de cada nutriente na raiz.

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Mn
IPR 98	0.68	-0.69	0.15	0.20	-0.67	-0.03	0.00	0.20	-0.34
IAPAR 59	0.73	-0.37	-0.29	0.41	-1.06	-0.57	0.00	0.22	0.00
CAF553	-0.69	0.25	-0.73	-0.59	-1.19	-0.50	-0.47	0.16	-1.01
CATUAÍ V.	0.76	-0.18	1.21	0.00	0.26	0.27	1.25	-0.02	-0.04
BOURBON	0.74	0.40	-0.29	1.73	-0.70	-0.75	-0.39	1.20	0.52
CAF175	0.31	0.15	0.24	0.12	0.13	1.26	-0.40	-0.39	0.65
CAF234	0.57	0.23	1.26	0.06	-0.22	-0.16	-0.42	-0.07	0.07
CAF626	0.15	-0.16	0.42	-0.07	1.07	0.08	-0.16	-0.14	-0.02
CAF676	-0.25	-0.20	-0.11	-0.16	0.07	-0.26	0.66	-0.06	-0.25
CAF426	-0.47	0.31	-0.34	-0.50	-0.81	-0.34	-0.59	-0.28	-0.43
CAF299	-1.02	0.03	-0.20	-0.13	0.85	-0.05	-0.45	-0.13	-0.21
CAF087	-0.59	0.40	-0.51	-0.04	0.62	0.06	-0.36	-0.01	-0.31
CAF032	-0.61	-0.29	-0.34	-0.03	1.46	-0.22	-0.23	-0.17	-0.39
MUNDO NOVO	-1.17	-0.57	0.15	-0.40	-0.21	0.79	-0.15	-0.35	-0.43
CAF131	-0.56	-0.46	-0.87	-0.39	0.03	1.48	1.56	0.07	0.96
CAF023	-0.29	0.20	-0.51	-0.08	-0.11	-0.62	-0.16	-0.09	1.56
CAF009	1.72	0.95	0.77	-0.13	0.47	-0.44	0.32	-0.15	-0.35

*Valores em negrito indicam os maiores e menores z-scores para cada nutriente.

A concentração média de nitrogênio nas folhas foi submetida a uma análise de correlação de Spearman, avaliando-se dados com $p < 0,001$. Os estudos do nutrioma em plantas são geralmente conduzidos utilizando-se as folhas, porque a concentração de nutrientes minerais em folhas geralmente é representativa do estado nutricional da planta como um todo (Marschner, 1995) e das folhas são retranslocados a maior parte dos nutrientes para o fruto. Dentre os nutrientes quantificados nas folhas, a concentração de N apresentou uma forte correlação positiva com P ($r=0,86$), e uma correlação negativa com a concentração de B ($r=-0,78$) K ($r=-0,74$), Zn ($r=-0,71$). Ressalta-se a associação negativa entre o principal macronutriente demandado pela cultura cafeeira e os dois importantes micronutrientes para esta cultura. É conhecido que a deficiência isolada, ou em conjunto, de boro e zinco tem impacto no desenvolvimento de mudas de cafeeiro e provoca uma série de anomalias (Gontijo et al., 2008). Dessa forma, estudos que avaliem conjuntamente a dinâmica da nutrição nitrogenada em conjunto com B e Zn podem dar importantes respostas sobre a variabilidade genotípica para o acúmulo de nutrientes minerais.

CONCLUSÕES

O presente trabalho abre uma frente inovadora para o melhoramento de cafeeiro, apresentando acessos silvestres candidatos para introgressão de características relacionadas à maior eficiência nutricional – como CAF032, com acúmulo diferencial de P nas folhas e CAF009, com acúmulo diferencial de N nas raízes. Com isso, são trazidos subsídios para a escolha de genótipos de *C. arabica* da Etiópia como parentais de populações para o desenvolvimento de cultivares com maior capacidade de acúmulo de nutrientes. Abre-se também a perspectiva de estudos funcionais e biotecnológicos para o entendimento da base molecular relacionada à absorção e transporte de nutrientes no cafeeiro, que resultem na geração de plantas com maior eficiência do uso destes nutrientes e demandem menor quantidade de fertilizantes não-renováveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANZUETO F, BERTRAND B, SARAH J-L, ESKES AB, DECAZY B. Resistance to Meloidogyne incognita in Ethiopian *Coffea arabica* accessions. **Euphytica** 118:1–8, 2001.
- BERTRAND, B.; VAAST, P.; ALPIZAR, E.; ETIENNE, H.; DAVRIEUX, F.; CHARMETANT, P. Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. **Tree Physiology**, 26:1239–1248, 2006.
- CARVALHO, J.G.; LOPES, A.S.; BRASIL, E.; REIS JUNIOR, R. A. Diagnose da fertilidade do solo e do estado nutricional de plantas. **1ª Ed. Lavras, UFLA/FAEPE**. 95 p., 2001.
- FAZUOLI, L.C; MEDINA FILHO, H.P.; GUERREIRO FILHO, O.; LIMA, M.M.A.; SILVAROLLA, M.B.; GALLO, P.B. Cultivares de café selecionadas pelo Instituto Agrônômico de Campinas. **In: Simpósio de Pesquisa dos Cafês do Brasil**, 1. Poços de Caldas, MG. Anais. Brasília, D.F.: EMBRAPA CAFÉ/MINASPLAN, p.488-493, 2000.
- FAO. Coffee mission to Ethiopia 1964–1965. **FAO**, Rome. p 200, 1968.
- FERREIRA, D.F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. **In: Reunião Anual da região brasileira da Sociedade Internacional de Biometria**, 45., São Carlos. Anais. São Carlos: UFSCar, p.255-258, 2000.
- GONTIJO, R. A. N. et al. Crescimento e teor foliar de nutrientes em cafeeiro decorrente da omissão isolada e simultânea de Ca, B, Cu e Zn. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 124-132, jul./dez. 2008
- LAHNER et al. Genomic scale profiling of nutrient and trace elements in *Arabidopsis thaliana*. **Nature Biotechnology**, vol. 21 (10) pp. 1215-21, 2003.
- LEROY, T.; RIBEYRE, F.; BERTRAND, B.; CHARMETANT, P.; DUFOUR, M.; MONTAGNON, C.; MARRACCINI, P.; POT, D. Genetics of coffee quality. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n.1, p. 229-242, 2006.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: **Academic Press**, 889 p. 1995.
- MIYAZAWA, M. et al. **Análise química de tecido vegetal**. Londrina: IAPAR, 17p. 1992.
- MONTAGNON, C.; BOUHARMONT, P. Multivariate analysis of phenotype diversity of *Coffea arabica*. **Genetic Resources and Crop Evolution**. 43(3):221–227, 1996.
- MORAIS, H. **Efeitos do sombreamento artificial durante o desenvolvimento das gemas florais em Coffea arabica L.** Dissertação (Doutorado). Universidade Estadual de Londrina – UEL, 2006.
- SILVESTRINI, M.; JUNQUEIRA, M. G.; FAVARIN, A. C.; GUERREIRO-FILHO, O.; MALUF, M. P.; SILVAROLLA, M. B.; COLOMBO, C. A. Genetic diversity and structure of Ethiopian, Yemen and Brazilian *Coffea arabica* L. accessions using microsatellites markers. **Genetic Resources and Crop Evolution**. 54:1367–1379, 2007.
- VIEIRA, L. G. E.; ANDRADE, A. C.; COLOMBO, C. A.; et al. Brazilian coffee genome project: an EST-based genomic resource. **Brazilian Journal of Plant** v. 18, p. 95-108, 2006.