

RELAÇÃO ENTRE METAIS PESADOS E MACRONUTRIENTES EM CAFÉS FERMENTADOS: ESTUDO VIA PCA

**Kailane Pimenta Inácio¹, Bernardo Aparecido Buqueroni Mateini¹, Pedro
Henrique de Almeida Satil Gonçalves¹, Paulo Roberto Filgueiras², Karla Moreira
Vieira³, Vanessa Moreira Osório¹.**

¹Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, s/n, Guararema – 29500-000 – Alegre-ES, Brasil, kailanepimentainacio@gmail.com, bernardo.mateini@edu.ufes.br, pedro.a.goncalves@edu.ufes.br, moreirava@yahoo.com.br.

²Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Metodologias para Análise de Óleos – LABPETRO, Departamento de Química, Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari, 514, Vitória – 29075-910 – Espírito Santo, Brasil, paulo.filgueiras@ufes.br.

³Universidade Federal de Ouro Preto/Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Rua Trinta e Seis, 115, Loanda, 35931-008 – João Monlevade-MG, Brasil, vieirakarla@ufop.edu.br.

Resumo

O Espírito Santo destaca-se na produção de café conilon, sendo o maior produtor do país. Devido a essa posição de destaque, a produção científica sobre o tema tem um impacto significativo na geração de conhecimento, pois a forma de cultivo do café pode influenciar sua composição química, assim como as técnicas de manejo, e todos esses fatores afetam diretamente a qualidade do grão e seu valor econômico. Em vista disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a presença de metais pesados e macronutrientes em amostras de café, bem como investigar a influência do tempo de fermentação no teor desses elementos. Utilizando os métodos de fermentação natural do café e a análise elementar por absorção atômica para avaliação do teor de metais, e por fim da Análise de Componentes Principais para tratar os dados. Os resultados indicaram que a fermentação influenciou significativamente nos teores de metais e macronutrientes nos grãos de café analisados, evidenciando perfis distintos entre os metais e nutrientes, em alguns casos os valores de metais pesados ultrapassaram os limites estabelecidos pelos órgãos de saúde. Conclui-se que o processo fermentativo impacta diretamente a composição química do café.

Palavras-chave: Café conilon. Fermentação. Metais. Qualidade.

Área do Conhecimento: Ciências exatas e da terra – Química.

Introdução

O Espírito Santo é o maior produtor de café conilon do Brasil (Incaper, 2025). Durante o processamento do café, uma grande diversidade microbiana está presente, favorecendo a fermentação natural. Além disso, vários estudos mostram que o uso de culturas *starter*, que são preparações que contêm microrganismos ativos que desempenham atividades metabólicas desejadas, selecionadas do próprio café que ajudam a controlar a fermentação, melhorar as características sensoriais (como aroma e sabor), diminuir o tempo de secagem e inibir o crescimento de alguns fungos toxigênicos (Silva *et al.*, 2013; Vaughan *et al.*, 2015; Bressani *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2019).

Levando em conta essa busca pela qualidade do café, tanto visando assegurar a saúde dos que o consomem quanto a reputação que o café tem no mercado é de extrema importância garantir a ausência de elementos potencialmente tóxicos nesse produto. Esses contaminantes, que podem estar presentes nos grãos de café, se presentes em grandes concentrações causam danos à saúde quando absorvidos pelo organismo. Danos como alterações celulares, complicações no DNA, mutagênese, carcinogênese, entre outros (Pascalicchio, 2002). Assim como os componentes presentes no café podem influenciar de diversas maneiras na qualidade, outros fatores também podem influenciar como nutrientes, micronutrientes e também elementos potencialmente tóxicos como metais pesados. Esses elementos estão na maioria das vezes presentes no solo, e sendo assim de fácil acesso as mudas de café, que podem absorvê-los e armazená-los durante o seu crescimento. O acúmulo desses elementos

no solo pode ocorrer de maneira natural, referida como antecedentes geoquímicos, ou de maneira antropológica, ou seja, devido a interação do homem com a natureza (Patinha *et al*, 2018).

Para o desenvolvimento do café, dentre os elementos necessários, destacam-se os macrominerais como cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg), sódio (Na), fósforo (P) e os microminerais cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), sendo os dois últimos citados como minerais “ultratraços”, ou seja, elementos essenciais ao organismo em concentrações de nanogramas (Campos, 1978; Cunha e Cunha, 1998; Oliveira e Marchini, 1998). Os principais elementos potencialmente tóxicos presentes no café estudados são arsênio (As), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni) e chumbo (Pb).

Diante da complexidade dos fatores que afetam a qualidade sensorial do café, a pesquisa científica tem se voltado ao estudo integrado de variáveis ambientais que assegurem maior confiabilidade alimentar. Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a presença de metais pesados e macronutrientes em amostras de café, bem como investigar a influência do tempo de fermentação no teor desses elementos.

Metodologia

A coleta das amostras de café conilon ocorreu em uma propriedade localizada na região de Cachoeiro de Itapemirim próxima ao distrito de Burarama, no Espírito Santo. Foram coletadas amostras de três clones do fruto, e cada uma das amostras recebeu dois tratamentos diferentes pós colheita: processo natural de colheita e secagem, via seca e processo de colheita associado a fermentação natural e posteriormente a secagem.

A Fermentação Autoinduzida foi realizada após a colheita manual de frutos de café conilon com mais de 90% de maturação. Depois de colhidos os frutos foram lavados e introduzidos em biorreatores de fermentação, fechados com controle de temperatura. Após a temperatura permanecer constante os cafés foram retirados e espalhados sobre a lona/terreiro de cimento e seco pela radiação do sol até obter 13% de umidade. As amostras de café que não passaram pelo processo de fermentação foram colhidas, lavadas e secas em terreiro até obter uma umidade próxima de 13%.

Para a Análise elementar por Absorção Atômica usou-se um equipamento da marca Thermo, modelo ICE 3300 as amostras foram submetidas a Digestão ácida em forno micro-ondas da marca Ethos Lean, Modelo 2110, onde Alíquotas de 1,5 gs das amostras foram pesadas. Posteriormente foi adicionado 10,0 mL de Ácido Nítrico (HNO₃ 30%) v/v e em seguida os tubos foram submetidos ao ultrassom, em uma temperatura de 50°C por 20 min. As amostras foram avolumadas para 30,0 mL com água ultrapura, sendo filtradas e transferidas para novos frascos, e por fim as concentrações foram determinadas por Absorção Atômica. Os elementos analisados foram: (Cd), (Cu) e (Pb), componentes responsáveis por afetar a qualidade do café e proporcionar danos à saúde dos que o consomem quando presentes em quantidades acima do permitido pela legislação. Também foram analisados os macronutrientes: (K), (Ca), (Mg) e (P).

Os dados obtidos pela análise elementar foram tratados por meio da Análise de Componentes Principais (PCA, Principal Component Analysis). Essa técnica foi empregada para reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados e identificar padrões entre os tratamentos de fermentação e os clones de café avaliados.

Resultados

Na propriedade de Cachoeiro de Itapemirim, os três clones de café conilon foram colhidos manualmente quando os frutos atingiram mais de 90% de maturação como mostrado na Figura 1 (a).

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Figura 1 – (a) Grãos de café com maturação superior a 90% e (b) Grãos introduzidos no balde de fermentação.



(a)



(b)

Fonte: O autor (2025).

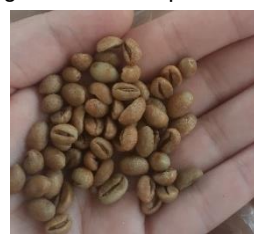
Após a colheita, os frutos de cada clone colhidos passaram por um processo de lavagem para remover impurezas e resíduos da casca. Os grãos maduros e não danificados foram separados para a fermentação, enquanto os grãos defeituosos foram descartados. Os grãos selecionados foram introduzidos em biorreatores de fermentação com controle de temperatura como se observa na Figura 1 (b), sendo submetidos a diferentes períodos de fermentação. O período de fermentação foi indicado pela sigla D0 a D7, em que D0 correspondeu ao tempo inicial (0 dias) e D1 ao primeiro dia de fermentação até o D7 sendo o sétimo dia de fermentação.

Após a conclusão da fermentação, os cafés foram secos ao sol até atingir 12% de umidade. Depois serem secos os cafés passaram pelo processo de retirada da casca, Figura 2 (a) e (b), para se obter o grão, em resultado a fermentação obteve-se grãos uniformes, os mesmos foram utilizados nas análises.

Figura 2 – (a) Grãos de café envoltos pela casca e (b) grãos de café após a retirada da casca



a)



(b)

Fonte: O autor (2025).

O processo de digestão das amostras dos três clones de café foram realizados e submetidos a análise por Absorção Atômica, como podemos ver na Figura 3 (a) e (b).

Figura 3 – (a) Amostras separadas para serem analisadas e (b) amostras colocadas no prato giratório do microondas.



a)



(b)

Fonte: O autor (2025).

Após a análise por Absorção Atômica, foram obtidos os dados que estão organizados na Tabela 1, de acordo com os clones e os dias de fermentação, apresentando as concentrações finais de metais pesados e macronutrientes alcançadas em g/kg de café. Cada valor encontrado foi quantificado pela curva de calibração.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Tabela 1 - Concentração de Metais Pesados e Macronutrientes (g/kg) em amostras de café por Clone e Tempo de Fermentação.

Dias de Fermentação e clones	Cd	Cu	Pb	K	Ca	Mg	P
D0 - A1	0,015	10,820	1,625	18,900	0,940	1,200	1,530
D1 - A1	0,040	5,490	0,000	19,220	0,890	1,090	1,510
D2 - A1	0,000	5,280	3,165	18,440	0,690	1,070	1,320
D3 - A1	0,110	5,395	0,000	15,250	0,670	0,920	1,300
D4 - A1	0,090	3,180	0,270	14,490	0,480	0,820	1,070
D5 - A1	0,000	4,780	0,645	17,270	0,370	1,050	1,520
D6 - A1	0,000	4,615	1,425	15,050	0,280	1,060	1,300
D7 - A1	0,030	5,305	3,060	17,300	0,010	1,080	1,350
D0 - R	0,025	6,825	2,385	14,640	0,080	1,080	1,250
D1 - R	0,000	8,965	0,000	16,330	0,160	1,290	1,200
D2 - R	0,035	6,785	0,125	15,890	0,030	1,130	1,150
D3 - R	0,000	6,850	0,000	15,000	0,030	1,190	1,060
D4 - R	0,120	7,615	2,615	16,530	0,160	1,130	1,200
D5 - R	0,000	6,490	0,000	15,420	0,000	1,110	1,140
D6 - R	0,000	6,945	1,170	13,560	0,000	1,080	1,280
D7 - R	0,000	12,510	0,755	13,500	0,000	1,230	1,230
D0 - V	0,000	6,710	0,880	15,820	0,000	1,080	1,180
D1 - V	0,000	7,215	0,605	16,290	0,000	1,060	1,020
D2 - V	0,005	9,175	0,000	17,210	0,000	1,240	0,940
D3 - V	0,000	6,250	0,000	15,650	0,000	1,090	0,890
D4 - V	0,010	7,440	0,000	14,710	0,000	0,970	0,990
D5 - V	0,000	8,125	0,000	15,680	0,000	0,980	1,130
D6 - V	0,000	6,190	0,015	16,200	0,000	0,990	1,050
D7 - V	0,035	6,495	0,705	15,710	0,000	0,980	1,100

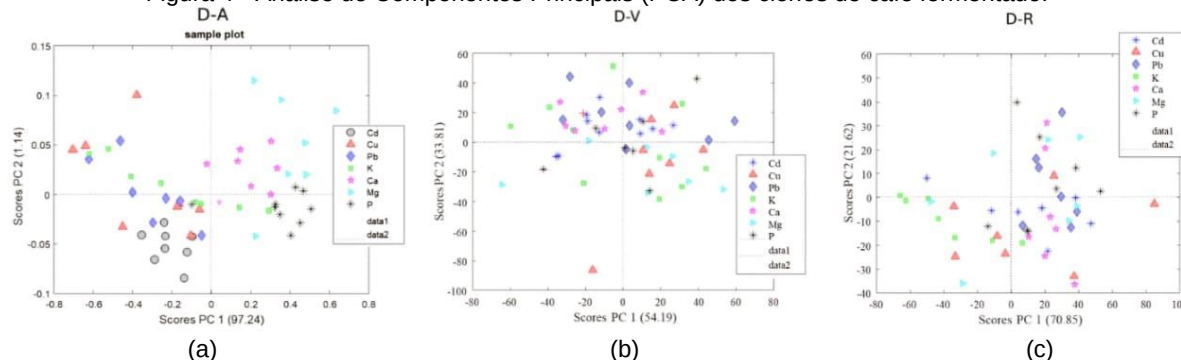
A1- Clone A1, R- Clone Romarim, V- Clone Verdão.

Fonte: O autor (2025).

Discussão

Para a interpretação dos resultados foi feita uma Análise de Componentes Principais (PCA), a Figura 4 expõe os gráficos obtidos segundo cada clone de café e seus dias de fermentação, sendo o D-A representa o clone A1, o D-V representa o clone Verdão e o D-R representa o clone Romarim.

Figura 4 - Análise de Componentes Principais (PCA) dos clones de café fermentado.



Fonte: O autor (2025).

A Figura 4 (a) apresenta uma PC1 de 97,24%, na qual o primeiro componente principal explica praticamente toda a variabilidade existente entre as amostras do D-A. Observa-se uma separação clara entre os metais pesados (lado esquerdo) dos macronutrientes (lado direito), mostrando que os dois grupos são quimicamente bem diferentes. A Figura 4 (b), a PC1 (54,19%) e a PC2 (33,81%) concentram conjuntamente a maior parte da variabilidade, indicando uma distribuição mais equilibrada entre os dois primeiros componentes. É possível observar que os metais pesados, cádmio e chumbo,

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

estão agrupados bem próximos um do outro, isso confirma uma correlação entre esses dois elementos. A Figura 4 (c) apresenta uma PC1 de 70,85 %, explicando boa parte da variabilidade. Nessa análise, o chumbo e cádmio novamente se agruparam. Assim, a PC1 é o fator mais dominante representando uma separação de um perfil rico em nutrientes para um perfil com maior teor de metais.

O processo de fermentação não apenas afeta a concentração individual de cada composto, mas também causa uma mudança de perfil químico. De acordo com a Instrução Normativa (IN) nº 160, de 1º de julho de 2022, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), são estabelecidos os limites máximos tolerados (LMT) para contaminantes em alimentos, sendo 0,50 mg/kg para Chumbo (Pb), 0,20 mg/kg para Cádmio (Cd) e 1,00 mg/kg para Cobre (Cu). Este alto valor encontrado nas amostras analisadas deve-se ao fato de que o solo pode conter maiores ou menores teores de um destes elementos, em virtude de contaminações locais via água, uso de corretivos e fertilizantes, pH do solo, material de origem do solo, entre outros (Schmidt *et al.*, 2009).

A fermentação demonstrou ser uma forte influenciadora nos teores de metais pesados e macronutrientes, resultados semelhantes foram relatados por Várady *et al.* (2024), que também observaram comportamento diferenciado dos metais pesados em relação aos demais constituintes minerais do café, em função do processamento, de exemplo podemos citar do estudo a influência da fermentação nos teores de Pb onde foram encontrados valores entre 0,13 e 0,10 mg/kg.

Conclusão

Com base nos resultados obtidos com a PCA foi possível concluir que o processo de fermentação autoinduzida teve um impacto significativo na composição química do café, criando perfis distintos e uma clara oposição entre a presença de macronutrientes e a de metais pesados. A PCA se mostrou uma ferramenta eficaz para identificar as principais características de cada amostra de café.

Referências

- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa nº 160, de 1º de julho de 2022**. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 de jul. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/plano-de-nacional-de-controle-de-residuos-e-contaminantes/instrucao-normativa-anvisa-2022_160-1.pdf/view. Acesso em: 02 de setembro de 2025.
- BRESSANI, A. P. P. et al. Características de café fermentado inoculado com culturas iniciadoras de levedura usando diferentes métodos de inoculação. **LWT - Food Science and Technology**, v.92, p.212-219, 2018.
- CAMPOS, M.A.P. Estudo Químico-Fisiológico dos Elementos Minerais: macro e microelementos. In: CHAVES, N. (Ed.) **Nutrição Básica e Aplicada**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A., 1978.
- CUNHA, D.F.; CUNHA, S.F.C. Microminerais. In: OLIVEIRA, J.E.D.; MARCHINI, J.S. (Ed.). **Ciências nutricionais**. São Paulo: Savier, cap. 9, p.142-143, 1998.
- INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Incapar**. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/cafeicultura-conilon>. Acesso em: 25 agosto 2025.
- OLIVEIRA, J.E.D.; MARCHINI, J.S. **Ciências nutricionais**. São Paulo: Savier, 1998.
- PASCALICCHIO, E. A. **Contaminação por metais pesados**. São Paulo: Editora Annablume. 2002.
- PATINHA, C., et al. Chapter 6 - Inorganic Pollutants in Soils. In: DUARTE, A. C.; CACHADA, A.; ROCHA-SANTOS, T. (Ed.). **Soil Pollution, Academic Press**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849873-6.00006-6>. Acesso em: 25 de agosto de 2025.
- PEREIRA, G. V. de M., et al. Explorando os impactos do processamento pós-colheita na formação do aroma dos grãos de café - uma revisão. **Food Chemistry**, v.272, p.441-452, 2019.
- SCHMIDT, C. A. P., et al. Concentrações de metais pesados em grãos de café produzidos em lavouras sobre solos originados do basalto e do arenito Caiuá. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1590-1593, 2009.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

SILVA, C.F., et al. Avaliação de uma potencial cultura starter para melhorar a qualidade da fermentação do café. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.29, p.235-247, 2013.

VÁRADY, M.; BORŽÍKOVÁ, J.; POPELKA, P. Effect of processing method (natural, washed, honey, fermentation, maceration) on the availability of heavy metals in specialty coffee. **Heliyon**, v. 10, e25563, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25563>.

VAUGHAN, M. J.; MITCHELL, T.; GARDENER, B. B. M. O que há dentro daquela semente que preparamos? Uma nova abordagem para explorar o microbioma do café. **Microbiologia Aplicada e Ambiental**, v.81, p.6518-6527, 2015.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo - Brasil (FAPES) - Código de Financiamento 001. Deixaremos aqui nossa sincera gratidão a nossa Orientadora Professora Vanessa Moreira Osório por todo apoio prestado ao longo desta pesquisa.