INFLUÊNCIA DA SECAGEM EM TERREIRO DE CHÃO E LEITO DE JORRO NA QUALIDADE QUÍMICA E SENSORIAL DE CAFÉS ARÁBICA E CONILON

Autores:
Arildo Rodrigues Mariano Júnior[1], Evandro Messias[1], Kailane Pimenta Inácio[1], Vanessa Moreira Osório[1].

[1]Universidade Federal do Espirito Santo, Alto Universitário, s/n, Bairro Guararema - 29500-000 – Alegre - Espirito Santo – ES, Brasil,
arildo.mariano@edu.ufes.br, evandroqt@gmail.com, kailanepimentainacio@gmail.com, moreirava@yahoo.com.br.

Resumo

A secagem é uma das principais etapas do processamento pós-colheita do café, podendo influenciar diretamente sua composição química e qualidade sensorial. Este estudo avaliou três clones de *Coffea arabica* e três de *Coffea canephora* submetidos à secagem em terreiro de chão (T1) e leito de jorro (T2), totalizando 12 tratamentos. As amostras foram caracterizadas por cromatografia gasosa e teste de xícara, e os perfis químicos foram explorados por análise de componentes principais (PCA) e análise discriminante linear (LDA). A PCA explicou 53,1% da variância nas duas primeiras componentes (PC1 = 28,6%; PC2 = 24,5%) e evidenciou organização distinta entre os quatro grupos experimentais. Entre as variáveis de maior contribuição destacaram-se 2-metilpirazina, furfural, 3(2H)-furanona, 3-etil-2,5-dimetilpirazina, 4-vinilguaiacol e outros derivados pirazínicos e fenólicos. A LDA apresentou acurácia aparente de 100% e 91,7% na validação *leave-one-out*, reforçando a discriminação entre T1CA, T1CC, T2CA e T2CC. Sensorialmente, o terreiro apresentou maiores intervalos de pontuação, sobretudo para *C. arabica*. Os resultados indicam associação entre sistema de secagem, espécie e perfil cromatográfico, embora a validação com maior número de amostras independentes seja recomendada.

Palavras-chave: Café arábica, Café Conilon, Secagem, Cromatografia gasosa, Análise multivariada.

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra – Química.

Introdução

O café constitui uma das principais commodities agrícolas de relevância econômica e social no Brasil, cuja cadeia produtiva apresenta expressiva participação na geração de renda e emprego. No contexto da cafeicultura nacional, o estado do Espírito Santo destaca-se pela produção de *Coffea canephora*, além de apresentar participação relevante na produção de *Coffea arabica*, particularmente em regiões de maior altitude. Embora pertencentes ao mesmo gênero, essas espécies apresentam diferenças fisiológicas, químicas e sensoriais que influenciam as características da bebida e sua inserção nos diferentes segmentos do mercado cafeeiro (Conab, 2024; Viçosi et al., 2023).

A qualidade do café é determinada pela interação de fatores genéticos, ambientais e tecnológicos, sendo o processamento pós-colheita um dos principais fatores associados à preservação e à formação das características químicas e sensoriais do produto. Entre as operações envolvidas, a secagem apresenta particular relevância, uma vez que compreende fenômenos simultâneos de transferência de calor e massa capazes de promover alterações na estrutura e na composição bioquímica dos grãos. Durante essa etapa, compostos de interesse, como ácidos clorogênicos, cafeína e trigonelina, podem sofrer modificações em função das condições de temperatura, tempo e umidade empregadas, repercutindo potencialmente sobre atributos sensoriais como aroma, sabor, acidez, corpo e equilíbrio (Borém, 2008; Afonso Júnior, 2001; Vieira, 2015).

A secagem em terreiro de chão permanece amplamente empregada na cafeicultura, sobretudo em propriedades de pequena e média escala, em razão de sua simplicidade operacional e baixo custo. Entretanto, por depender das condições ambientais e do manejo durante o processo, esse sistema pode apresentar maior variabilidade nas condições de secagem. Em contrapartida, sistemas tecnificados, como o leito de jorro, possibilitam maior controle das condições operacionais e promovem intenso contato entre o material particulado e o ar de secagem, favorecendo os fenômenos de transferência de calor e massa. Apesar desse potencial, ainda são observadas lacunas na literatura quanto à avaliação sistemática da aplicação do leito de jorro à secagem de café, especialmente em estudos comparativos envolvendo diferentes espécies e materiais genéticos (Afonso Júnior, 2001; Pinheiro, 2018).

Nesse contexto, a utilização de técnicas estatísticas multivariadas possibilita avaliar simultaneamente um grande número de compostos e identificar padrões que dificilmente seriam observados pela análise individual das variáveis. Assim, a análise de componentes principais (PCA) pode auxiliar na redução da dimensionalidade e na visualização da distribuição das amostras, permitindo identificar as variáveis associadas à sua diferenciação, enquanto métodos de classificação, como a análise discriminante linear (LDA), permitem investigar a capacidade do conjunto de variáveis em discriminar grupos previamente definidos (Jolliffe; Cadima, 2016; Mardia, 2024).

Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da secagem em terreiro de chão e em leito de jorro sobre o perfil químico e a qualidade sensorial de *C. arabica* e *C. canephora*, bem como verificar a diferenciação das amostras em função da espécie e do sistema de secagem por meio da PCA e da LDA.

Metodologia

O experimento foi conduzido com frutos de *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, provenientes de uma propriedade rural localizada no município de Ibatiba, Espírito Santo, a aproximadamente 900 m de altitude. Foram avaliados três clones de cada espécie, referentes à safra de 2025. Para cada espécie, os clones foram submetidos a dois sistemas de secagem: terreiro de chão e leito de jorro, totalizando 12 tratamentos experimentais.

No sistema de secagem em terreiro de chão, os frutos foram distribuídos sobre piso de cimento, formando uma camada uniforme, e revolvidos periodicamente para favorecer a homogeneidade da secagem. O processo foi conduzido sob condições ambientais até que os grãos atingissem teor de umidade próximo a 12%. Para o leito de jorro, os frutos foram submetidos a um fluxo ascendente de ar aquecido, mantendo-se a temperatura de operação entre 55 e 60 °C. O processo foi conduzido até que as amostras atingissem teor de umidade semelhante ao obtido na secagem em terreiro, possibilitando a comparação entre os sistemas. Os tratamentos experimentais foram definidos considerando o sistema de secagem, a espécie de café e o clone avaliado. Para facilitar a identificação e a organização dos tratamentos ao longo do estudo, os códigos utilizados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Identificação dos tratamentos experimentais.

Secagem	C. arabica	C. canephora
Terreiro de chão (T1)	T1B1CA, T1B2CA, T1B3CA	T1B1CC, T1B2CC, T1B3CC
Leito de jorro (T2)	T2B1CA, T2B2CA, T2B3CA	T2B1CC, T2B2CC, T2B3CC

Fonte: Próprio Autor.

Após a secagem, os frutos foram beneficiados e as amostras destinadas à caracterização do perfil químico por cromatografia gasosa. Os cromatogramas obtidos foram avaliados considerando a área dos picos e os respectivos tempos de retenção. Para auxiliar na identificação dos compostos, foram calculados os índices de retenção linear (IRL), sendo as identificações realizadas pela comparação dos espectros de massas e dos índices de retenção obtidos experimentalmente com dados de referência para fases estacionárias equivalentes.

A abundância relativa dos compostos foi expressa em porcentagem de área cromatográfica (% área). Dessa forma, os valores utilizados representam a participação relativa de cada composto no perfil cromatográfico de cada amostra, e não sua concentração absoluta. Os compostos identificados foram organizados em uma matriz de dados contendo os tratamentos e suas respectivas abundâncias relativas, permitindo comparar os perfis químicos entre as espécies e os sistemas de secagem. A qualidade sensorial dos cafés foi determinada por meio de teste de xícara. Após a secagem e o beneficiamento, as amostras foram submetidas à torra padronizada e avaliadas por provadores treinados do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) – Campus Venda Nova. Durante a avaliação foram considerados os atributos sensoriais das bebidas e atribuídas as respectivas pontuações finais, possibilitando a comparação entre os sistemas de secagem e as espécies avaliadas.

Para investigar conjuntamente as variações no perfil químico, os dados cromatográficos foram submetidos a análises estatísticas multivariadas. Inicialmente, foi aplicada a Análise de Componentes Principais (PCA), com o objetivo de reduzir a dimensionalidade dos dados, visualizar a distribuição das amostras e identificar os compostos com maior contribuição para a diferenciação dos tratamentos. Os *scores* foram utilizados para avaliar a distribuição das amostras no espaço definido pelas componentes principais, enquanto os *loadings* foram utilizados para interpretar a contribuição das variáveis químicas para essa organização. Posteriormente, foi aplicada a Análise Discriminante Linear (LDA), considerando quatro classes definidas pela combinação entre sistema de secagem e espécie: TCA, T1CC, T2CA e T2CC. A capacidade de discriminação do modelo foi avaliada pela acurácia de classificação e pela validação cruzada *leave-one-out* (LOOCV), na qual cada amostra é retirada sucessivamente do conjunto de treinamento e posteriormente classificada pelo modelo construído com as demais observações.

Resultados

Os resultados mostraram diferenças entre os cafés submetidos aos dois sistemas de secagem, tanto na avaliação sensorial quanto no perfil químico. Essas diferenças foram mais evidentes para *C. arabica*, principalmente quando comparadas as pontuações sensoriais e a distribuição relativa dos compostos identificados por cromatografia gasosa.
Na avaliação sensorial, as amostras secas em terreiro apresentaram maiores pontuações em ambas as espécies. Para *C. arabica*, as notas variaram entre 79,75 e 80,75 no terreiro e entre 75,50 e 76,81 no leito de jorro. Para *C. canephora*, foram observados valores entre 79,92 e 80,13 no terreiro e entre 78,19 e 79,38 no leito de jorro, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Intervalos de pontuação sensorial dos cafés avaliados.

Sistema de secagem	C. arabica	C. canephora
Terreiro de chão (T1)	79,75-80,75	79,92-80,13
Leito de jorro (T2)	75,50-76,81	78,19-79,38

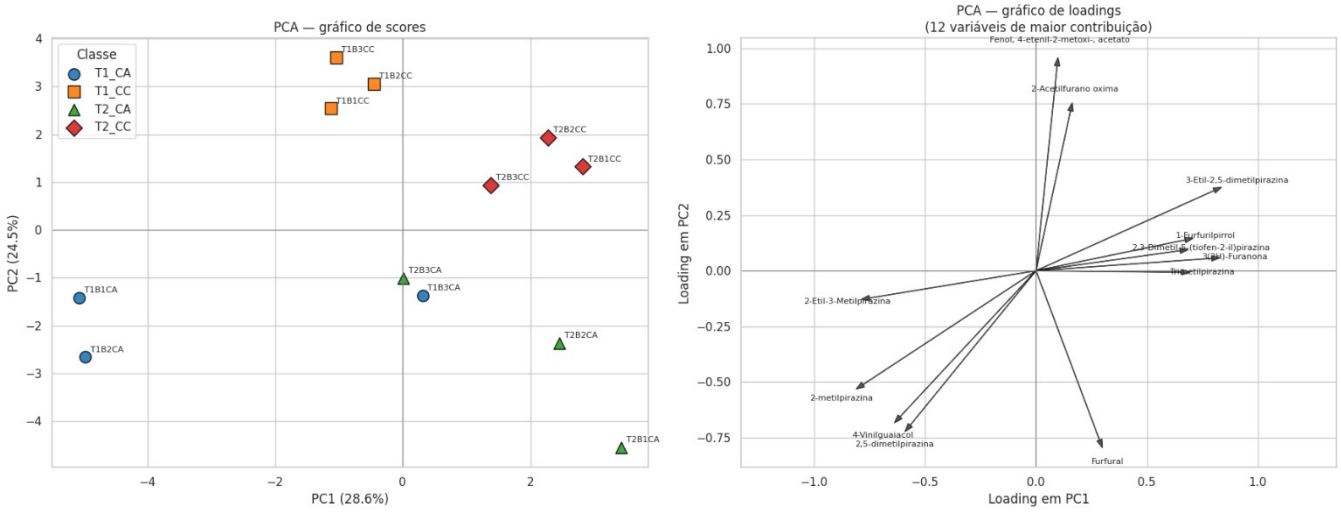
Fonte: Próprio autor. .

Observa-se que a diferença entre os sistemas foi mais pronunciada para *C. arabica*, enquanto para *C. canephora* os intervalos foram mais próximos. De forma geral, os resultados indicam tendência de melhor desempenho sensorial para as amostras secas em terreiro. Esse comportamento pode estar relacionado às diferentes condições de secagem e às alterações promovidas no conjunto de compostos e precursores responsáveis pelas características da bebida. Borém et al. (2008) também destacam que as condições empregadas durante a secagem podem interferir na qualidade final do café.

A cromatografia mostrou ampla diversidade de compostos, com destaque para derivados furânicos, pirazinas, fenólicos, ácidos e cafeína. Nos clones de C. arabica submetidos ao leito de jorro, o furfural apresentou elevada abundância relativa, correspondendo a 26,05%, 27,25% e 27,67% em T2B1CA, T2B2CA e T2B3CA, respectivamente. O 5-metilfurfural variou de 7,11 a 12,49%, a 2-metilpirazina de 7,45 a 8,93% e a 2,6-dimetilpirazina de 9,15 a 9,95%. No terreiro, o perfil dos cafés arábica apresentou maior participação relativa de determinadas pirazinas. Em T1B1CA, foram observados 20,79% de furfural, 16,74% de 2-metilpirazina e 10,80% de 5-metilfurfural. Em T1B2CA, a 2-metilpirazina atingiu 19,68%, o furfural 16,15% e a 2,5-dimetilpirazina 14,22%. T1B3CA apresentou 13,88% de 2-metilpirazina, 16,59% de furfural, 11,82% de 2,6-dimetilpirazina e 11,48% de cafeína. A distribuição

distinta dessas classes sugere que os sistemas de secagem estiveram associados a perfis químicos diferentes.
A PCA reforçou a diferenciação dos perfis químicos. As duas primeiras componentes explicaram conjuntamente 53,1% da variância total, sendo 28,6% atribuídos à PC1 e 24,5% à PC2, Figura 1.

Figura 1 - PCA dos perfis químicos: gráfico de scores e loadings das variáveis de maior contribuição.

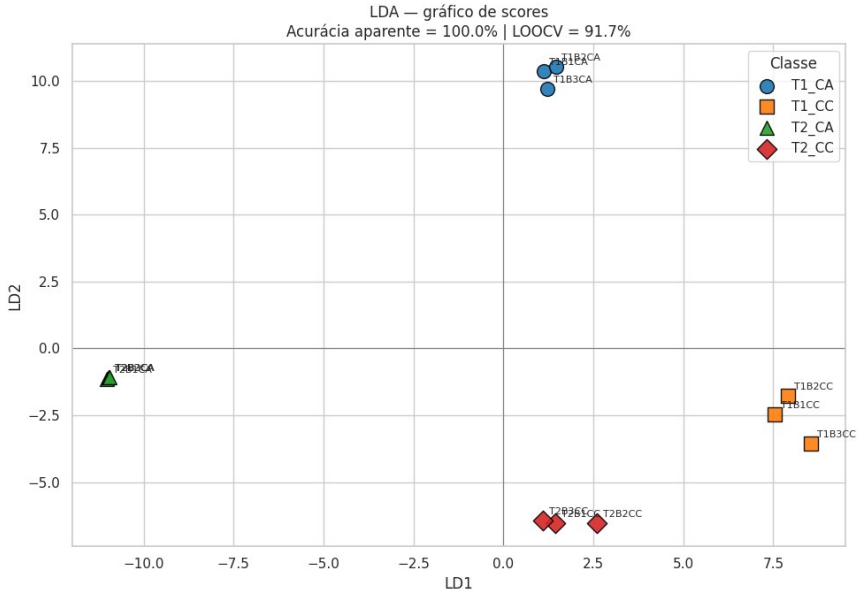


Fonte: Próprio Autor (2026).

No gráfico de scores, as três amostras T1CC concentraram-se no quadrante superior esquerdo, enquanto T2CC ocupou predominantemente a região superior direita. Os grupos de C. arabica permaneceram na região inferior, com T1CA tendendo a valores mais negativos de PC1 e T2CA a valores mais positivos. Essa organização mostra que tanto o sistema de secagem quanto a espécie contribuíram para a estrutura multivariada observada.
O gráfico de loadings indica que a separação não decorreu de um único composto. Entre as variáveis de maior contribuição apareceram 2-metilpirazina, furfural, 3(2H)-furanona, 3-etil-2,5-dimetilpirazina, 4-vinilguaiacol, 2,5-dimetilpirazina, 2-etil-3-metilpirazina, trimetilpirazina, 1-furfurilpirrol e outros sinais pirazínicos e fenólicos. O furfural apresentou contribuição positiva em PC1 e negativa em PC2, coerente com a posição dos cafés arábica do leito de jorro, que apresentaram maiores abundâncias relativas desse composto. Em sentido oposto, 2-metilpirazina e 4-vinilguaiacol apresentaram loadings negativos em PC1, contribuindo para a organização de amostras do terreiro. A presença simultânea de furanos e pirazinas entre as variáveis discriminantes é consistente com a complexidade aromática do café torrado. Furanos são frequentemente relacionados a notas doces, caramelizadas e tostadas, enquanto pirazinas são associadas a características tostadas, de noz e cacau. Entretanto, a associação observada na PCA deve ser entendida como relação multivariada entre composição e tratamentos, e não como evidência de que um único composto determine a nota sensorial (Toledo et al., 2016; Chen et al., 2025).

A LDA apresentou separação ainda mais evidente entre os quatro grupos experimentais (Figura 2). As amostras T1CA, T1CC, T2CA e T2CC formaram regiões distintas no espaço definido pelas funções discriminantes. A acurácia aparente foi de 100%, enquanto a validação cruzada leave-one-out resultou em 91,7% de acerto. O desempenho indica que o conjunto de variáveis químicas possui elevado potencial para discriminar simultaneamente o sistema de secagem e a espécie.
Apesar do desempenho elevado, a interpretação da LDA deve considerar o tamanho amostral. O conjunto experimental possui apenas três amostras por classe, totalizando 12 observações. Em amostras pequenas, a acurácia aparente pode superestimar a capacidade de generalização do modelo, e mesmo a LOOCV permanece sensível à influência de observações individuais. Portanto, o resultado de 91,7% deve ser considerado promissor, mas necessita de confirmação com maior número de amostras independentes

Figura 2 - LDA dos perfis químicos dos quatro grupos experimentais.



Fonte: Próprio Autor (2026).

A integração entre os resultados sensoriais e multivariados indica que o terreiro de chão esteve associado às maiores pontuações sensoriais, principalmente para C. arabica, enquanto o leito de jorro apresentou perfil químico distinto e maior participação relativa de furfural nos clones arábica. A separação obtida pela PCA e pela LDA demonstra que a resposta química envolve o conjunto de diferentes classes de compostos, reforçando que a qualidade final não pode ser atribuída isoladamente à concentração relativa de uma única substância.

Para C. canephora, também foram observadas diferenças entre T1 e T2. Contudo, parte das identificações das amostras T2CC foi utilizada apenas de forma exploratória, com base na proximidade dos tempos de retenção. Como a identificação cromatográfica definitiva deve considerar conjuntamente espectro de massas e índice de retenção, essas associações devem ser confirmadas antes de serem reportadas como identificação química conclusiva.

Discussão

Os resultados evidenciaram que os sistemas de secagem estiveram associados a diferenças na qualidade sensorial e no perfil químico dos cafés avaliados. As amostras secas em terreiro apresentaram maiores pontuações sensoriais, especialmente para *C. arabica*, enquanto a cromatografia gasosa revelou diferenças na abundância relativa de compostos como furanos, pirazinas e derivados fenólicos.

A maior participação de furfural observada nas amostras arábica submetidas ao leito de jorro, associada à distribuição distinta de pirazinas entre os tratamentos, indica que o sistema de secagem modifica o equilíbrio relativo entre os constituintes químicos. Como furanos e pirazinas estão relacionados à formação do aroma e de características sensoriais do café, essas alterações podem contribuir para as diferenças observadas entre as bebidas (Toledo et al., 2016; Chen et al., 2025).

As análises multivariadas reforçaram essa diferenciação. A PCA demonstrou organização distinta dos quatro grupos experimentais e indicou a contribuição conjunta de compostos como 2-metilpirazina, furfural, 3(2H)-furanona, 3-etil-2,5-dimetilpirazina e 4-vinilguaiacol. A LDA, por sua vez, apresentou elevada capacidade de discriminação entre os grupos, confirmando que o perfil químico permite distinguir as amostras segundo a espécie e o sistema de secagem.

Conclusão

Sendo assim, temos que sistema de secagem influencia o perfil químico e a qualidade sensorial dos cafés *Coffea arabica* e *Coffea canephora*. A secagem em terreiro apresentou melhor desempenho sensorial para ambas as espécies, enquanto o leito de jorro promoveu alterações mais evidentes na distribuição relativa de compostos do perfil cromatográfico, com destaque para o aumento da participação de furfural em *C. arabica*.
As análises de PCA e LDA demonstraram que as diferenças químicas entre os tratamentos são resultantes da contribuição conjunta de diferentes compostos e permitiram distinguir os grupos de acordo com a espécie e o método de secagem. Assim, os resultados confirmam que a escolha do sistema de secagem é determinante para as características químicas e sensoriais do café, sendo o terreiro de chão, nas condições avaliadas, o método associado às maiores pontuações sensoriais.

Referências

AFONSO JÚNIOR, P. C. Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento. 2001. 384 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

BORÉM, F. M.; CORADI, P. C.; SAATH, R.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade do café natural e despolpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1609-1615, 2008. DOI: 10.1590/S1413-70542008000500038.

CHEN, X.; WU, P.; WANG, S.; SUN, J.; CHEN, H. Identification of key aroma-active compounds in commercial coffee using GC-O/AEDA and OAV analysis. Foods, v. 14, n. 18, 3192, 2025. DOI: 10.3390/foods14183192.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de café: safra 2024. Brasília, DF: Conab, 2024.

OLIVEIRA, E. M. et al. Volatilome of fermented and roasted Coffea arabica in Brazil: a systematic review of the influence of microbiota and fermentative processes. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 66, n. 14, p. 2779-2790, 2026. DOI: 10.1080/10408398.2025.2588659.

PINHEIRO, C. A. Análises físico-químicas e avaliação da qualidade de Coffea canephora Pierre & Froehner cultivados no Espírito Santo. 2018. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2018.

TOLEDO, P. R. A. B.; PEZZA, L.; PEZZA, H. R.; TOCI, A. T. Relationship between the different aspects related to coffee quality and their volatile compounds. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, v. 15, p. 705-719, 2016. DOI: 10.1111/1541-4337.12205.

VIÇOSI, B. D. et al. The importance of improving the quality of arabica coffee for the sustainability of farms. Incaper em Revista, Vitória, v. 13-14, p. 57-70, dez. 2023.

Agradecimentos

Agradeço à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) - Campus Venda Nova, a minha orientadora e a todos colaboradores envolvidos nas etapas de processamento, análises cromatográficas, avaliação sensorial e tratamento estatístico dos dados.