



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

**DIEGO RIGHI BENEDICTO**

INFLUÊNCIA DO TIPO DE PROCESSAMENTO NAS CARACTERÍSTICAS  
QUÍMICAS E SENSORIAIS DE CAFÉ CONILON

ALEGRE – ES

Julho 2023

DIEGO RIGHI BENEDICTO

INFLUÊNCIA DO TIPO DE PROCESSAMENTO NAS CARACTERÍSTICAS  
QUÍMICAS E SENSORIAIS DE CAFÉ CONILON

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Jussara Moreira Coelho  
Co-Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Patrícia Campos Bernardes

ALEGRE – ES

Julho 2023

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

---

R571i Righi Benedicto, Diego, 1995-  
INFLUÊNCIA DO TIPO DE PROCESSAMENTO NAS  
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E SENSORIAIS DE CAFÉ  
CONILON / Diego Righi Benedicto. - 2023.  
87 f. : il.

Orientadora: Jussara Moreira Coelho.

Coorientadora: Patricia Campos Bernardes.

Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) -  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências  
Agrárias e Engenharias.

1. Café. 2. Fermentação. I. Moreira Coelho, Jussara. II.  
Campos Bernardes, Patricia. III. Universidade Federal do  
Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV.  
Título.

CDU: 664

---

**DIEGO RIGHI BENEDICTO**

**“INFLUÊNCIA DO TIPO DE PROCESSAMENTO NAS  
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E SENSORIAIS DE CAFÉ  
CONILON”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em 27 de julho de 2023.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Jussara Moreira Coelho  
Universidade Federal do Espírito Santo-UFES  
Orientadora

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Campos Bernardes  
Universidade Federal do Espírito Santo-UFES  
Examinadora Interna

---

Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva  
Universidade Federal do Espírito Santo-UFES  
Examinador Interno

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rosane Freitas Schwan  
Universidade Federal de Lavras - UFLA  
Examinadora Externa





## Documentos Defesa de Dissertação - Diego Righi Benedicto

Data e Hora de Criação: 27/07/2023 às 15:20:06

### Documentos que originaram esse envelope:

- 122ª Ata Defesa de Dissertação - Diego Righi Benedicto.pdf (Arquivo PDF) - 1 página(s)
- Folha de Aprovação Defesa - Diego Righi Benedicto.pdf (Arquivo PDF) - 1 página(s)
- Folha de Rosto Defesa Dissertação - Diego Righi Benedicto<sup>A</sup>.pdf (Arquivo PDF) - 1 página(s)



### Hashs únicas referente à esse envelope de documentos

[SHA256]: 49dd11d2e6bc629cfd3371789c3312429f986bda1c8ef9b157cd7ec325df347

[SHA512]: 119f5143754297e069182d42b740da268ea4ba44a8f127d72c32041569e5b852eb216f4a2cc1e6c80489dade9cb8c035bfc68c4e41b941900e4e1fc23474c820

### Lista de assinaturas solicitadas e associadas à esse envelope



#### ASSINADO - Jussara Moreira Coelho (jussara.coelho@ufes.br)

Data/Hora: 27/07/2023 - 15:34:12, IP: 186.193.18.211, Geolocalização: [-20.759502, -41.533054]

[SHA256]: f35589ff99631e8b2b2ff2bfc16b5cc70f32923d915aa20ea024149094df2d09



#### ASSINADO - Patrícia Campos Bernardes (patricia.bernardes@ufes.br)

Data/Hora: 27/07/2023 - 16:05:25, IP: 179.109.143.187, Geolocalização: [-20.756157, -41.531328]

[SHA256]: 5e423d15fb8797f20d2c578e84bcf3f31eea3af4bd30f220e164e45d9d79d8b



#### ASSINADO - Rosane Freitas Schwan (rschwan@ufes.br)

Data/Hora: 27/07/2023 - 15:49:09, IP: 152.255.106.64, Geolocalização: [-21.247102, -44.998580]

[SHA256]: 4234eba087acac6850f315f8b7fb01b54243306df79f6ab1aa03e950e8e99ea



#### ASSINADO - Sergio Henriques Saraiva (sergio.saraiva@ufes.br)

Data/Hora: 27/07/2023 - 15:33:11, IP: 200.137.72.202, Geolocalização: [-20.7606, -41.5301]

[SHA256]: 402c6609c24d111b199f3ef5ccfbca8930b1e3011bb716f5c747d9a99d89f46d

### Histórico de eventos registrados neste envelope

- 27/07/2023 16:05:26 - Envelope finalizado por patricia.bernardes@ufes.br, IP 179.109.143.187
- 27/07/2023 16:05:26 - Assinatura realizada por patricia.bernardes@ufes.br, IP 179.109.143.187
- 27/07/2023 16:04:11 - Envelope visualizado por patricia.bernardes@ufes.br, IP 179.109.143.187
- 27/07/2023 15:49:09 - Assinatura realizada por rschwan@ufes.br, IP 152.255.106.64
- 27/07/2023 15:49:04 - Envelope visualizado por rschwan@ufes.br, IP 152.255.106.64
- 27/07/2023 15:34:12 - Assinatura realizada por jussara.coelho@ufes.br, IP 186.193.18.211
- 27/07/2023 15:34:03 - Envelope visualizado por jussara.coelho@ufes.br, IP 186.193.18.211
- 27/07/2023 15:33:11 - Assinatura realizada por sergio.saraiva@ufes.br, IP 200.137.72.202
- 27/07/2023 15:30:15 - Envelope visualizado por sergio.saraiva@ufes.br, IP 200.137.72.202
- 27/07/2023 15:28:53 - Envelope registrado na Blockchain por sergio.saraiva@ufes.br, IP 200.137.72.202
- 27/07/2023 15:28:51 - Envelope encaminhado para assinaturas por sergio.saraiva@ufes.br, IP 200.137.72.202
- 27/07/2023 15:20:08 - Envelope criado por sergio.saraiva@ufes.br, IP 200.137.72.202

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a mim, pela coragem, dedicação e força por ter conseguido chegar até aqui neste momento. É um pouco irônico escrever estas palavras e direcionar um “agradecimento” a depressão. Não sou grato, nem tampouco gostaria de conviver com ela, mas vivo, ou melhor, aprendi a conviver e tentar enxergar o melhor em todas as adversidades que surgem durante a caminhada. Não sou grato e nem quero ser grato a depressão, mas ela me ensinou a tentar buscar um sentido para o que é viver, dia após dia.

Externo meus mais sinceros agradecimentos a minha orientadora Jussara Moreira Coelho, uma pessoa ímpar, amiga e alguém com que tive a felicidade de cruzar em meu caminhar por essa vida. Jussara, você é uma das melhores pessoas que conheci durante esta minha trajetória a este plano e é fonte de inspiração para mim.

Ao professor Sérgio, um grande amigo que tive o prazer de ser aluno, muito obrigado por toda ajuda e todas as orientações durante a elaboração deste trabalho. Você é fonte de inspiração para mim. A professora Patrícia, uma das melhores professoras que já tive em minha vida, que com cuidado e atenção foi capaz de transmitir muitos conhecimentos acerca de microbiologia para quem não era nem da área.

Aos meus pais e tudo aquilo que foi feito por mim, durante todos os anos de minha vida, serei eternamente grato. Ao meu pai e sua dedicação em me ensinar os fundamentos ideias da vida, meu muito obrigado. A minha mãe, por toda compreensão e dedicação, meu muito obrigado. A vida e ao destino que nos molda, informo que o peso de ser filho único não é tão leve quanto parece, mas o amadurecimento adquirido é de grande ajuda, por isto, meu muito obrigado.

A Isabela Teixeira, com quem eu tenho o grande prazer de compartilhar 8 anos de história, sua dedicação e companheirismo são fundamentais em minha vida. Eu não imagino uma vida sem você, eu a amo profundamente e sou grato por tudo neste universo por tê-la em minha vida.

Aos membros da banca, muito obrigado

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
1.1 Referências bibliográficas .....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivos geral.....	15
2.2 Objetivos específicos .....	15
3. ARTIGO ORIGINAL .....	16
1.INTRODUÇÃO .....	17
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	19
2.1 Preparo do inóculo .....	19
2.2 Processo fermentativo .....	19
2.3 Planejamento experimental e amostragem.....	20
2.4 Persistência do inóculo por PCR em tempo real (q-PCR).....	20
2.5 Análises físico-químicas .....	21
2.5.1 Análise de carboidratos e ácidos orgânicos. ....	21
2.6 Compostos Voláteis.....	22
2.7 Análise Sensorial.....	22
2.8 Delineamento experimental e análise estatística .....	23
3. RESULTADOS.....	23
3.1 Temperatura .....	23
3.2 qPCR.....	24
3.3 Compostos Voláteis.....	26
3.3.1 Compostos Voláteis durante a fermentação .....	26
3.3.2 Compostos voláteis após a torra .....	29
3.4 Análise De Componentes Principais.....	35
3.4.1 Análise de Componentes Principais dos compostos voláteis durante a fermentação.....	35

3.4.2 Análise de Componentes Principais dos compostos voláteis após a torra. .....	37
3.5 Açúcares e ácidos orgânicos .....	40
3.6 Análise Sensorial .....	51
4. DISCUSSÃO .....	52
5. CONCLUSÃO .....	58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58
4. ARTIGO ORIGINAL .....	69
1. INTRODUÇÃO .....	69
2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	71
2.1 Local de realização do estudo e materiais utilizados .....	71
2.2 Secagem .....	71
2.3 Compostos Voláteis.....	72
2.4 Análise Sensorial.....	72
2.5 Delineamento experimental e análise estatística .....	73
3 RESULTADOS.....	73
3.1 Compostos Voláteis.....	73
3.2 Análise de Compostos Principais (PCA) .....	76
3.3 Análise Sensorial.....	79
4. DISCUSSÃO .....	81
5. CONCLUSÃO .....	82
6. REFERÊNCIAS.....	83

## RESUMO

O café é uma bebida popular em todo o mundo, com origens na Etiópia há mil anos. Sua introdução nas Américas ocorreu no século XVII, tornando-se uma cultura econômica essencial na América do Sul e Central, com destaque para países como Brasil e Colômbia. A safra de 2022, brasileira, mostrou um aumento de 6,7% em relação a 2021, mas com uma queda de 19,3% em relação a 2020 devido às condições climáticas adversas. A área de cultivo em 2022 abrangeu 2.242,1 mil hectares, com produtividade crescente, especialmente no Espírito Santo. Estudos recentes exploram a fermentação do café em biorreatores em condições anaeróbicas, resultando em perfis sensoriais distintos e melhoria na qualidade da bebida. Diferentes culturas, como *Candida parapsilosis* e *Meyerozyma guilliermondii*, têm sido utilizadas para aprimorar a qualidade do café. Além disso, o café também tem sua qualidade influenciada pelas condições de secagem, uma vez que a temperatura de 35 °C é considerada a mais favorável para alta qualidade. O uso de secadores de fogo direto, com combustíveis sólidos e altas temperaturas, pode afetar negativamente a qualidade do café devido à formação de fuligem e compostos indesejáveis na fumaça. A torrefação do café envolve várias reações químicas que resultam em transformações significativas, incluindo a decomposição de polissacarídeos e proteínas, perda de água e formação de compostos voláteis. O presente trabalho investigou as alterações na composição química e sensorial do café submetido à fermentação por anaerobiose autoinduzida, com inoculação de *Candida parapsilosis* e *Meyerozyma guilliermondii*. Investigou-se também os métodos de secagem, à temperatura ambiente e em secadores a 35°C e 60°C. Durante a fermentação, foram identificados 24 compostos voláteis, e após a torra, 35 compostos voláteis no experimento com cafés inoculados. No estudo de diferentes métodos de secagem foram identificados 32 compostos voláteis. As leveduras *C. parapsilosis* e *M. guilliermondii* estiveram presentes em todas as amostras, mesmo sem inoculação. O café proveniente do tratamento inoculado com *M. guilliermondii* obteve a melhor pontuação sensorial, com destaque para notas de frutas vermelhas, melão e baunilha. Também, recomenda-se a secagem lenta em temperaturas controladas abaixo de 40°C para preservar a qualidade do café, pois secagem rápida a altas temperaturas afetou negativamente a qualidade.

**Palavras-chave:** Fermentação, SIAF, secagem, compostos voláteis e análise sensorial.

## Abstract

Coffee is a popular drink around the world, with origins in Ethiopia a thousand years ago. Its introduction to the Americas occurred in the 17th century, becoming an essential economic crop in South and Central America, especially in countries such as Brazil and Colombia. The 2022 Brazilian harvest showed an increase of 6.7% compared to 2021, but with a drop of 19.3% compared to 2020 due to adverse weather conditions. The cultivation area in 2022 covered 2,242.1 thousand hectares, with increasing productivity, especially in Espírito Santo. Recent studies explore coffee fermentation in bioreactors under anaerobic conditions, resulting in distinct sensory profiles and improved beverage quality. Different cultures, such as *Candida parapsilosis* and *Meyerozyma guilliermondii*, have been used to improve the quality of coffee. Furthermore, coffee's quality is also influenced by drying conditions, as a temperature of 35 °C is considered the most favorable for high quality. The use of direct fire dryers, with solid fuels and high temperatures, can negatively affect the quality of the coffee due to the formation of soot and undesirable compounds in the smoke. Coffee roasting involves several chemical reactions that result in significant transformations, including the decomposition of polysaccharides and proteins, loss of water and the formation of volatile compounds. The present work investigated changes in the chemical and sensorial composition of coffee subjected to fermentation by self-induced anaerobiosis, with inoculation of *Candida parapsilosis* and *Meyerozyma guilliermondii*. Drying methods were also investigated, at room temperature and in dryers at 35°C and 60°C. During fermentation, 24 volatile compounds were identified, and after roasting, 35 volatile compounds were identified in the experiment with inoculated coffees. In the study of different drying methods, 32 volatile compounds were identified. The yeasts *C. parapsilosis* and *M. guilliermondii* were present in all samples, even without inoculation. The coffee from the treatment inoculated with *M. guilliermondii* obtained the best sensory score, highlighting notes of red fruits, molasses and vanilla. Also, slow drying at controlled temperatures below 40°C is recommended to preserve the quality of the coffee, as rapid drying at high temperatures negatively affected quality.

**Keywords:** Fermentation, SIAF, drying, volatile compounds and sensory analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

O café é uma das bebidas mais populares do mundo e é um dos principais produtos de exportação em muitos países. Sua origem remonta a Etiópia, onde os primeiros arbustos de café foram cultivados há cerca de mil anos (ECCARDI; SANDALJ, 2002; RIBEIRO, 2015).

Na América, o café foi introduzido pela primeira vez no século XVII, quando os colonos holandeses começaram a cultivá-lo nas Antilhas. Mais tarde, o café foi levado para as Américas do Sul e Central, onde se tornou um dos principais cultivos econômicos. Hoje, os principais países produtores de café incluem Brasil, Colômbia, Vietnã e Indonésia (ICO, 2020).

A colheita do ano de 2022 rendeu um total de 50.920,1 mil sacas de café conilon e arábica beneficiado, um acréscimo de 6,7% em relação à safra de 2021. Em comparação com a safra de 2020, que foi marcada por uma bienalidade elevada, observou-se uma diminuição de 19,3%, o equivalente a 12.157,8 mil sacas. Essa redução pode ser atribuída às condições climáticas adversas durante o ciclo da cultura, como escassez de água e geadas (CONAB, 2023).

A área destinada à cafeicultura no país, em 2022, abrangeu 2.242,1 mil hectares, e estima-se que 389 mil hectares foram destinados ao café conilon (CONAB, 2023). A produtividade do café conilon foi de 46,8 sacas por hectare, representando um crescimento de 7,9% em relação à safra anterior. No estado do Espírito Santo, responsável por 68% da produção nacional de café conilon, a produtividade atingiu 43,1 sacas por hectare (CONAB, 2023).

Estudos recentes têm demonstrado que o acréscimo de uma etapa ao processo convencional, pode melhorar a performance fermentativa da microbiota do café, permitindo um novo perfil sensorial (CASSIMIRO et al., 2023; BATISTA DA MOTA et al., 2022). Essa nova etapa envolve o uso de biorreatores para fermentação do café. Durante essa fermentação, microrganismos presentes nas cascas dos frutos iniciam a fermentação dos açúcares presentes na polpa, resultando na liberação de dióxido de carbono e ácidos orgânicos para os grãos de café. Neste sentido, a utilização do biorreator em condições anaeróbias para o processo fermentativo é uma opção viável para os produtores e tem um impacto positivo na obtenção de cafés com perfis sensoriais distintos, promovendo uma melhora na qualidade da bebida (BATISTA DA MOTA et al., 2022).

Culturas diversas, incluindo leveduras puras, originárias de diferentes regiões, têm sido objeto de estudo para aprimorar a qualidade do café (BRESSANI et al., 2020, BRESSANI et al., 2018, DA MOTA et al., 2020). *Candida parapsilosis* e *Meyerozyma guilliermondii* têm sido utilizadas em diversos estudos como culturas iniciadoras a fim de melhorar a qualidade das bebidas. Jimenez et al., (2023), obteve nota de 85,90 em cafés naturais inoculados com *C. parapsilosis*. Bressani et al., (2021) apontou que cafés arábica inoculados com *C. parapsilosis* apresenta maiores notas para o atributo corpo durante a análise sensorial. Em um estudo conduzido por Bravim et al., (2023), cafés inoculados com *M. guilliermondii* apresentou o composto volátil 2-heptanona, responsável pelos descritores sensoriais frutado, picante, canela e banana, impactando positivamente no perfil sensorial da bebida. *M. guilliermondii* apresenta várias características vantajosas em contextos biotecnológicos, tais como a síntese de ácidos orgânicos, produção de metabólitos desejados e capacidade de se adaptar a uma variedade de substratos (YAN et al., 2021).

Em relação à secagem do café, Marques et al. (2008), destaca que a temperatura desempenha um papel crucial na obtenção de cafés de alta qualidade. Suas descobertas indicam que uma temperatura de secagem de 35 °C é mais favorável em comparação com temperaturas mais elevadas, como 50 °C e 60 °C. Isso ressalta a importância de considerar cuidadosamente a temperatura durante o processo de secagem do café (PALACIN et al., 2005). Além disso, é amplamente reconhecido na literatura que a secagem do café utilizando secadores de fogo direto, especialmente quando combustíveis sólidos como lenha e palha de café são utilizados, pode resultar na formação de fuligem e compostos indesejáveis na fumaça. Esse fenômeno têm um impacto negativo na qualidade do café, conforme apontado por Carvalho (2020) e Clarke e Macrae (1987).

Durante o processo de torrefação do café, várias reações químicas ocorrem no grão, resultando em transformações significativas. Essas reações envolvem a decomposição de polissacarídeos e proteínas, a perda de água e a formação de melanoidinas e compostos voláteis (DURÁN, C. A. A. et al., 2016).

Neste sentido, o presente trabalho investigou as alterações na composição química e sensorial dos cafés, submetidos à fermentação por anaerobiose autoinduzida, do inglês Self-induced anaerobiosis fermentation (SIAF), tendo avaliado também, a influência dos diferentes tipos de secagem na qualidade do produto.

## 1.1 Referências bibliográficas

BATISTA DA MOTA, M. C. et al. Impact of microbial self-induced anaerobiosis fermentation (SIAF) on coffee quality. **Food bioscience**, v. 47, n. 101640, p. 101640, 2022.

BRESSANI, A. P. P. et al. Characteristics of fermented coffee inoculated with yeast starter cultures using different inoculation methods. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, v. 92, p. 212–219, 2018.

BRESSANI, A. P. P. et al. Influence of yeast inoculation on the quality of fermented coffee (*Coffea arabica* var. Mundo Novo) processed by natural and pulped natural processes. **International Journal of Food Microbiology**, v. 343, p. 109107, 2 abr. 2021.

BRESSANI, A. P. P. et al. Organic acids produced during fermentation and sensory perception in specialty coffee using yeast starter culture. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 128, n. 108773, p. 108773, 2020.

CASSIMIRO, D. M. DE J. et al. Coinoculation of lactic acid bacteria and yeasts increases the quality of wet fermented Arabica coffee. **International journal of food microbiology**, v. 369, n. 109627, p. 109627, 2022.

CASSIMIRO, D. M. DE J. et al. Wet fermentation of *Coffea canephora* by lactic acid bacteria and yeasts using the self-induced anaerobic fermentation (SIAF) method enhances the coffee quality. **Food microbiology**, v. 110, n. 104161, p. 104161, 2023.

**Conab - Safra Brasileira de Café**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>>. Acesso em: 25 abr. 2023.

DA MOTA, M. C. B. et al. Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 136, n. 109482, p. 109482, 2020.

DE CARVALHO NETO, D. et al. Yeast diversity and physicochemical characteristics associated with coffee bean fermentation from the Brazilian cerrado Mineiro region. **Fermentation**, v. 3, n. 1, p. 11, 2017.

DURÁN, C A. A et al. Café: Aspectos Gerais e seu Aproveitamento para além da Bebida. **Revista virtual de química**, v. 9, n. 1, p. 107-134, 2017.

ECCARDI, F.; SANDALJ, V. Coffee – a celebration of diversity. **Sandalj Eccardi Company**, Trieste, Italy, 228 p., 2002.

FARAH, A.; DONANGELO, C.M. Phenolic compounds in coffee. **Brazilian Journal Plant of Physiology**, Londrina, v.18, n.1, p.23-26, June/Mar. 2006

GONZALEZ, E. A. S. Estudo da viabilidade de implantação de pequenas unidades de torrefação de café. (Graduação) Bacharelado em Engenharia de Alimentos. **Universidade Estácio de Sá. Rio de Janeiro**, 2004.

International Coffee Organization - **Estatísticas do comércio - Table 1: Crop year (2020) production by country\* In thousand 60-kg bags** Disponível em: <<https://ico.org/prices/po-production.pdf>>.

JIMENEZ, E. J. M. et al. Influence of anaerobic fermentation and yeast inoculation on the viability, chemical composition, and quality of coffee. **Food bioscience**, v. 51, n. 102218, p. 102218, 2023.

MARTINEZ, S. J. et al. Different inoculation methods for semi-dry processed coffee using yeasts as starter cultures. **Food Research International**, v. 102, p. 333–340, 1 dez. 2017.

MARTINS, A. L. **História do café**. Lisboa, Portugal: Editora Contexto, 2012.

MASOUD, W. et al. Yeast east involved in fermentation of *Coffea arabica* in East Africa determined by genotyping and by direct denaturing gradient gel electrophoresis. **Yeast (Chichester, England)**, v. 21, n. 7, p. 549–556, 2004.

PALACIN, J.J et al. Boas práticas para produzir café com qualidade. 2005. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/1989>>. Acesso em: 17 jul. 2023.

PENNA, A. M. M. Avaliação do potencial de grãos defeituosos de café como substratos na produção de fibras com potencial antioxidante. **Dissertação de Mestrado**. Belo Horizonte-MG. 2015.

RIBEIRO, J.M. Estudo da composição química e das atividades antioxidante e antibacteriana dos óleos extraídos dos grãos de café (*coffea arabica*) cru e torrado. **Dissertação de mestrado**. Diamantina-MG.2015. p 1-72.

SOUZA, C.M.M. et al. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química Nova**, São Paulo, v.30, n.2, p.351-355, jul. 2007.

STOKES, C. N. et al. Hedonic and descriptive sensory evaluation of instant and fresh coffee products. **European Food Research and Technology**, v. 243, n. 2, p. 331–340, 2017.

SWIEGERS, J. H. et al. Yeast and bacterial modulation of wine aroma and flavour. **Australian journal of grape and wine research**, v. 11, n. 2, p. 139–173, 2005.

VILELA, D. M. et al. Molecular ecology and polyphasic characterization of the microbiota associated with semi-dry processed coffee (*Coffea arabica* L.). **Food Microbiology**, London, v. 27, n. 8, p. 1128-1135, Dec. 2010.

YAN, W. et al. Biotechnological applications of the non-conventional yeast *Meyerozyma guilliermondii*. **Biotechnology advances**, v. 46, n. 107674, p. 107674, 2021.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos geral**

Avaliar e comparar a influência do tipo de processamento nas características químicas e sensoriais de café conilon.

### **2.2 Objetivos específicos**

- i. Conduzir a fermentação por SIAF com inoculação de *Candida parapsilosis* e *Meyerozyma guilliermondii* e avaliar sensorialmente os cafés.
- ii. Acompanhar o comportamento das leveduras *Candida parapsilosis* e *Meyerozyma guilliermondii* inoculadas nos cafés ao longo da fermentação.
- iii. Identificar e quantificar os ácidos orgânicos e açúcares formados ou degradados durante a fermentação dos frutos de café.
- iv. Identificar os compostos voláteis presentes nos frutos de café durante a fermentação e nos grãos após secagem e torra.
- v. Conduzir o processamento do café em secador a 35°C, secador a 60 °C, e terreiro suspenso.
- vi. Comparar o conteúdo de compostos voláteis e suas diferenças sensoriais por diferentes métodos de secagem.

### 3. ARTIGO ORIGINAL

## FERMENTAÇÃO POR ANAEROBIOSE AUTOINDUZIDA PELO METABOLISMO MICROBIANO (SIAF) DE CAFÉ CONILON COM ADIÇÃO DE CULTURAS INICIADORAS: CARATERIZAÇÃO QUÍMICA E SENSORIAL

### RESUMO:

O café Conilon, uma variante robusta de *Coffea canephora*, é resistente à seca e valorizado globalmente. O Brasil lidera sua produção, com o Espírito Santo contribuindo com 60%. Protocolos avançados melhoraram sua qualidade. A fermentação do café está despertando interesse, pois pode elevar os preços. O processo gera sabores complexos. O plantio, a colheita e a fermentação são cruciais para a qualidade. Culturas iniciadoras selecionadas influenciam positivamente a fermentação, resultando em cafés com perfis sensoriais distintos e *C. parapsilosis* e *M. guilliermondii* têm resultados promissores. A fermentação por anaerobiose autoinduzida pelo metabolismo microbiano (SIAF) em biorreatores oferece controle eficiente, minimizando metabólitos indesejáveis. Os biorreatores beneficiam produtores e consumidores, melhorando a qualidade do café e aprimorando o perfil sensorial. Este estudo pioneiro avaliou a fermentação anaeróbica autoinduzida com adição de cultura iniciadora, e seu impacto na qualidade química e sensorial da bebida. Os experimentos de fermentação foram realizados em frutos de café conilon maduros, com diferentes tratamentos em 3 repetições, SIAF CP (inoculado com *Candida parapsilosis*), SIAF MG (inoculado com *Meyerozyma guilliermondii*), SIAF CM (coincubação de *C.parapsilosis M.guilliermondii*), SIAF Controle (tratamento sem adição de culturas), utilizando biorreatores, além do café em terreiro. O processo de fermentação durou 264 horas e os frutos foram secos por 13 dias. Os biorreatores foram fabricados em polietileno de alta densidade e monitorados quanto à temperatura. Foram realizadas análises químicas, incluindo carboidratos e ácidos orgânicos, e análises de compostos voláteis por cromatografia gasosa. A análise sensorial foi realizada conforme o Protocolo de Prova de Robusta Finos. Os dados foram submetidos à análise estatística. As leveduras *C. parapsilosis* e *M. guilliermondii* foram monitoradas ao longo da fermentação e secagem do café. Foram identificados 24 compostos voláteis durante a fermentação, incluindo álcoois, aldeídos, cetonas, ésteres, entre outros. Após a torra, foram encontrados 35 compostos voláteis. Os açúcares sacarose, glicose e frutose foram detectados, e os ácidos acético e láctico também foram encontrados. As leveduras *C. parapsilosis* e *M. guilliermondii* estavam presentes em todas as amostras de café, mesmo nos tratamentos não inoculados. *C. parapsilosis* atingiu sua maior contagem após 264 horas de fermentação no tratamento Terreiro, enquanto *M. guilliermondii* atingiu sua maior contagem após 96 horas no tratamento SIAF MG. A co-inoculação favoreceu o crescimento de *M. guilliermondii* no tratamento SIAF CM, mas *C. parapsilosis* não foi favorecida pela fermentação em biorreatores, sendo mais abundante no Terreiro, mesmo sem inoculação. Durante a fermentação, houve interações sinérgicas entre microrganismos, como bactérias ácido-láticas e leveduras, que influenciaram o processo. A presença de ácido láctico foi detectada em todas as amostras. Vários compostos voláteis foram identificados, incluindo 2-furancarboxaldeído, furfural,

Pirazinas, maltol e 2-heptanol. O tratamento SIAF MG foi o que possibilitou a melhor pontuação sensorial, com notas de frutas vermelhas, melão e baunilha se destacando como o mais complexo sensorialmente.

**Palavras-chave:** Café conilon, inoculação, SIAF, análise sensorial e compostos voláteis.

## 1. INTRODUÇÃO

O café Conilon, uma variante de *Coffea canephora*, possui uma grande resistência à períodos de seca e grande valor no mercado mundial. Em 2022, a produção média do Brasil atingiu 18,20 milhões de sacas, segundo dados da CONAB (2022). O estado do Espírito Santo é líder como produtor de café conilon no Brasil, contribuindo com mais de 60% da colheita nacional (CONAB, 2022). A indústria possui grande apreço a esta variedade, pois seu rendimento é elevado, bem como suas características que resultam em bebidas com acidez equilibrada e corpo robusto (FONSECA et al., 2015).

*Coffea canephora* foi frequentemente associado à baixa qualidade, conforme notado pelos consumidores, entretanto, tal perspectiva passou por transformações devido à protocolos específicos para o seu cultivo, bem como a adoção de novas tecnologias em todo o seu processamento, de colheita e pós-colheita (de MORAIS et al., 2021; VELÁSQUEZ; BANCHÓN, 2022).

Nos últimos tempos, há um crescente interesse nas regiões produtoras em relação à fermentação do café, devido ao seu potencial de alcançar preços mais elevados no mercado nacional e internacional (BATISTA DA MOTA et al., 2022; EVANGELISTA et al., 2015; MARTINS et al., 2020). Esse processo é responsável por uma série de transformações químicas cruciais para o desenvolvimento de sabores complexos no perfil sensorial da bebida (RIBEIRO et al., 2017; SILVA et al., 2000; SILVA et al., 2013; VILELA et al., 2010).

A qualidade do café tem início em seu plantio e deve ser assegurada por inúmeros fatores, incluindo práticas de manejo da cultura que visam uma produção de alta qualidade, livre de pragas, além das colheitas realizadas no momento adequado. O processo de fermentação também desempenha um papel fundamental (BATISTA DA MOTA et al., 2022; CLAY et al., 2016).

A introdução de culturas iniciadoras selecionadas proporciona uma influência positiva sobre as transformações químicas que ocorrem durante a fermentação, resultando na formação de compostos voláteis complexos e na harmonização do perfil

sensorial da bebida. Dessa forma, é possível obter cafés com características distintas e, ao mesmo tempo, garantir uma qualidade ao longo dos lotes (CARDOSO et al., 2017, BORTOLI & WIRTH, 2022, JANNE CARVALHO FERREIRA et al., 2023). *C. parapsilosis* e *M. guilliermondii* têm sido estudadas em largas escalas como culturas iniciadoras isoladas previamente de frutos de café conilon. Em um recente estudo, a inoculação de *C. parapsilosis* em cafés naturais resultou em bebidas com notas de 85,90 em análise sensorial por provadores treinados (JIMEZ et al., 2023) e a inoculação de *M. guilliermondii* contribui de diversas formas para a síntese de ácidos orgânicos e outros metabólitos capazes de melhorar a qualidade sensorial de cafés inoculados com esta levedura (YAN et al., 2021).

A técnica de fermentação por anaerobiose autoinduzida pelo metabolismo microbiano (SIAF) é uma inovadora abordagem para a fermentação do café, que foi inicialmente descrita por Mota et al. (2020), utilizando biorreatores cilíndricos de polietileno fechados. Neste sentido, os biorreatores oferecem um ambiente controlado para a fermentação do café, possibilitando um monitoramento mais eficiente de variáveis críticas, como temperatura, umidade e disponibilidade de oxigênio. Essa intervenção mais eficaz no processo fermentativo tem o potencial de minimizar a formação de metabólitos indesejáveis, garantindo, assim, uma maior previsibilidade e controle da qualidade final do produto. Além disso, a utilização de biorreatores permite explorar estratégias de fermentação específicas para maximizar a expressão de compostos desejáveis e a complexidade sensorial do café (MARTINEZ et al., 2021; PEREIRA et al., 2022).

A implementação dos biorreatores na indústria cafeeira apresenta benefícios significativos, tanto para os produtores quanto para os consumidores. A capacidade de controlar de forma mais eficiente o processo fermentativo pode levar à uma redução na variabilidade da qualidade do café, permitindo que os produtores alcancem padrões de excelência de maneira mais consistente. Ao mesmo tempo, os consumidores poderão desfrutar de uma bebida de alta qualidade, com um perfil sensorial aprimorado, enriquecido por sabores complexos e desejáveis (BRESSANI et al., 2021, MOTA et al., 2020, MARTINEZ et al., 2021). Portanto, este trabalho é pioneiro e teve como objetivo avaliar a fermentação anaeróbica com adição de cultura iniciadora, isoladas do próprio café conilon, e seu impacto na qualidade química e sensorial da bebida.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Preparo do inóculo

As leveduras foram ativadas em meio YEPD e incubada a 28°C por 24h, aumentando-se o volume até que a contagem atingisse aproximadamente  $10^6$  células.mL<sup>-1</sup> em um volume de 500 mL. Após a multiplicação o meio foi centrifugado a 3200 g por 10 min e a massa de leveduras foi colhida e ressuspensa em 225 mL de solução salina 0,85% m/v que foi misturada aos frutos de cafés (BRESSANI et al., 2018; EVANGELISTA et al., 2014a; MARTINS., et al. 2019). A contagem inicial de levedura do inóculo foi confirmada após plaqueamento em ágar YPD (HiMedia, Mumbai, Índia) e incubação a 28 ° C por 5 dias (DA SILVA, 2021).

### 2.2 Processo fermentativo

Os experimentos de fermentação foram conduzidos em Muqui, Espírito Santo, Brasil (20° 57 07" S e 41° 20 45" O, e altitude de 246m). Foram selecionados manualmente os frutos de café conilon maduros, onde 98% dos frutos eram maduros e 2% verdes ou boias, com aproximadamente 20,6 °Brix, da variedade Vitória, colhidos em junho de 2022. Unidades amostrais compostas por 5 litros dos frutos foram levadas direto para a secagem em terreiro suspenso, até que atingissem umidade em torno de 11% base úmida. A mesma quantidade de frutos de café (5L) foram para os biorreatores (Figura 1) que foram inoculados com *Candida parapsilosis* CCMA 1732, ou com *Meyerozyma guilliermondii* CCMA 1738, ou com ambas as leveduras (co-inoculação). Um grupo controle sem inóculo, apenas com água, também foi avaliado. Dessa forma foram conduzidos cinco tratamentos: Terreiro Suspenso, Controle SIAF, SIAF com adição de *C. parapsilosis* (SIAF-CP), SIAF com adição de *M. guilliermondii* (SIAF-MG) e SIAF com adição de *C. parapsilosis* e *M. guilliermondii* (SIAF-CM).

No método SIAF cada biorreator foi preenchido com aproximadamente 5L de fruto de café, deixando um espaço de aproximadamente 5cm até a tampa. O café permaneceu no biorreator até que o processo de fermentação e temperatura interna estabilizasse, comprovada com o uso de termômetro de contato, o que durou aproximadamente 264 horas (11 dias). Posteriormente, o café foi levado direto para os terreiros suspensos, até atingir 11 a 12% de umidade em base úmida, totalizando 13 dias de processamento.

Os biorreatores foram fabricados em polietileno de alta densidade, com no máximo 0,005m<sup>3</sup>. Os biorreatores eram cilíndricos, com 23cm de altura por 20cm de

diâmetro. Para suportar a anaerobiose autoinduzida pela fermentação, a tampa de 20cm de diâmetro foi fechada com uma trava já presente no balde. Além disso, a tampa possuía um *airlock*, o que permitiria a liberação de CO<sub>2</sub> dos biorreatores.

**Figura 1:** Biorreator utilizado no experimento



### 2.3 Planejamento experimental e amostragem

Todos os tratamentos foram aplicados em 3 repetições, totalizando 15 unidades experimentais. Foi realizada medição de temperatura, com termômetro de contato, escala de -20 a 110 °C, uma vez ao dia, durante dias intervalados. Aproximadamente 20g de amostra foi retirada nos tempos 0 (início da fermentação SIAF), 264h (final da fermentação SIAF) e 312 h (final da secagem, frutos secos após 13 dias). Os grãos verdes (11% de umidade) foram armazenados em sacos de papel pardo, envoltos com sacola plástica, devidamente fechados, a 2°C durante 4 meses, e 500g de café de todas as amostras, foram torrados e analisados química e sensorialmente.

### 2.4 Persistência do inóculo por PCR em tempo real (q-PCR)

A persistência da *M. guilliermondii* e *C. parapsilosis* foi avaliada durante o processo de fermentativo por real time PCR (qPCR). As culturas iniciadoras foram crescidas separadamente em YEPG e a população foi estimada por contagem em câmara de Neubauer. O DNA das cepas e das amostras de café (0, 24, 48, 72, 96, e 264 h) foram extraídos utilizando o kit QIAamp DNA Mini Kit (Qiagen, Hilden, Germany) seguindo o protocolo “DNA Purification from Tissues”.

A quantificação de *Candida parapsilosis* e *Meyerozyma guilliermondii* foi realizada no Rotor-Gene Q System (Qiagen, Hombrechtikon, Zurich (ZH), Switzerland). Cada reação continha 12.5 µL 2× Rotor-Gene SYBR Green PCR Master Mix (Qiagen, Stockach, Konstanz, Germany), 0.8 µM de cada primer (Invitrogen, São Paulo, SP, Brasil) e 1 µL do DNA extraído totalizando um volume final de 25 µL. Primers específicos foram utilizados para *Meyerozyma guilliermondii* (MeF3 5'GAGATCAGACTCGATATTTTGTGAG3'/MeR5 5'GTCTAGGCAGGCAGCATCAAC 3' (Wang et al., 2020) e *Candida parapsilosis* (SADH F 5' GCTGCGGCTTCAACTGATGC 3'/SADH R 5' CTTGGTCACGAGCCTCC 3' (Hays et al. 2011)). Os parâmetros da corrida foram ajustados conforme descrito por Batista et al., (2015). A curva padrão foi realizada através de diluições seriadas (1:10) do DNA extraído das cepas ( $10^8$ – $10^4$  cel/mL). Cada ponto da curva de calibração e as amostras foram medidas em triplicata.

## **2.5 Análises físico-químicas**

### **2.5.1 Análise de carboidratos e ácidos orgânicos.**

Carboidratos (frutose, glicose, sacarose e manitol) e ácidos orgânicos (acético, cítrico, málico, oxálico, propiônico, succínico, tartárico, butírico e láctico) foram analisados. As análises foram realizadas com 0, 264 h de fermentação e após a secagem, com 312h. Para extração, 3 g de frutos de café inteiro foram misturados com 45mL de água Milli-Q à temperatura ambiente por 10min em vórtex magnético. As amostras foram centrifugadas duas vezes a 19.976 g /4 °C por 10 min. Apenas para análise de ácidos, o pH da solução foi ajustado para 2,11 utilizando-se uma solução de ácido perclórico (200 mM) sendo em seguida centrifugado a 19.976 g /4 °C por 10 min (BATISTA DA MOTA et al., 2022). O sobrenadante das amostras foi filtrado através de uma membrana de acetato de celulose de 0,22 µm. As condições de operação e os resultados foram adaptados conforme descrito por Evangelista et al. (2014).

Estes extratos foram analisados por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) no cromatógrafo da marca Shimadzu (modelo Prominence), usando coluna Aminex HPX – 87H. O sistema é acoplado a um detector espectrofotométrico UV/visível Shimadzu (modelo SPD-20A), conectado por interface (CBM-20A) a um microcomputador para processamento de dados. As condições de análise que foram utilizadas são: fluxo de 1 mL.min<sup>-1</sup>; fase móvel: solução de 5mM de ácido sulfúrico;

temperatura da coluna 40 °C e comprimento de onda de 272 nm (ABRAHÃO et al., 2008).

## 2.6 Compostos Voláteis

Os compostos voláteis dos grãos de café torrados e grãos crus foram extraídos de acordo com Evangelista et al. (2014), utilizando-se microextração em fase sólida acoplada ao *headspace* (HS-SPME, Fiber Assembly 55/30um DVB/CAR/PDMS, Stableflex, 24Ga, Manual Holder, 3pk, Gray). Após extração dos compostos voláteis, a análise foi conduzida por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG-MS) equipada com um detector de ionização de chama (FID) e uma coluna de sílica Rtx®-5MS (30 m × 0,25 mm x 0,25 µm). Para a determinação dos constituintes químicos, os espectros de massas obtidos foram comparados com os da biblioteca do aparelho, com dados de outros trabalhos e com os índices de retenção. Para realizar o cálculo dos índices de retenção (IR), foi injetada no cromatógrafo uma mistura de alcanos lineares (C<sub>8</sub> a C<sub>23</sub>) nas mesmas condições usadas na análise dos referidos voláteis de café (FRANCA et al., 2009; PINHEIRO, 2018).

Os índices de retenção (IR) foram calculados usando a equação 1 (van den Dool; Kratz, 1963).

**Equação 1:** Cálculo do índice de retenção

$$IR = 100[n + (t_c - t_n)/(t_{n+1} - t_n)]$$

onde:  $t_c$  - tempo de retenção do composto de interesse;  $t_{n+1}$  - tempo de retenção do hidrocarboneto posterior;  $n$  - nº de carbonos do hidrocarboneto;  $t_n$  - tempo de retenção do hidrocarboneto anterior.

## 2.7 Análise Sensorial

A avaliação sensorial do café seguiu o Protocolo de Prova de Robusta Finos, com a participação de três provadores certificados, seguindo as diretrizes da Organização Internacional do Café (ICO, 2010). As amostras de café foram submetidas à torrefação 24 horas antes da avaliação, com um tempo de torra variando entre 9 e 14 minutos, até que os grãos atingissem uma coloração média. As temperaturas utilizadas foram 175 °C como temperatura inicial e 205 °C como temperatura final de torra. Após a torrefação, as amostras foram devidamente resfriadas à temperatura ambiente (20 °C) e armazenadas em embalagens herméticas para garantir sua preservação até a degustação. Para a infusão, foram usados 150 mL de água a 93 °C e 8,75 g de café moído em partículas ligeiramente mais espessas

do que o habitualmente utilizado para o preparo de filtros de papel, com 70% a 75% das partículas passando por uma peneira granulométrica de 20 mesh.

Cada amostra foi preparada em cinco xícaras distintas. Os atributos sensoriais avaliados durante a degustação foram: fragrância/aroma, sabor, sabor residual, salinidade/acidez, amargor/doçura, sensação na boca, equilíbrio, uniformidade, copo limpo, impressão geral e ausência de defeitos. A pontuação final dos resultados varia de 0 a 100 e classifica o café em diferentes categorias: Muito Bom (90-100), Fino (80-90), Premium (70-80), Boa Qualidade Usual (50-70), Comercial (40-50), Classificação Comercializável (<40), Classificação Abaixo da Mínima (<30), Não Classificável (<20) e Escolha (<10).

## **2.8 Delineamento experimental e análise estatística**

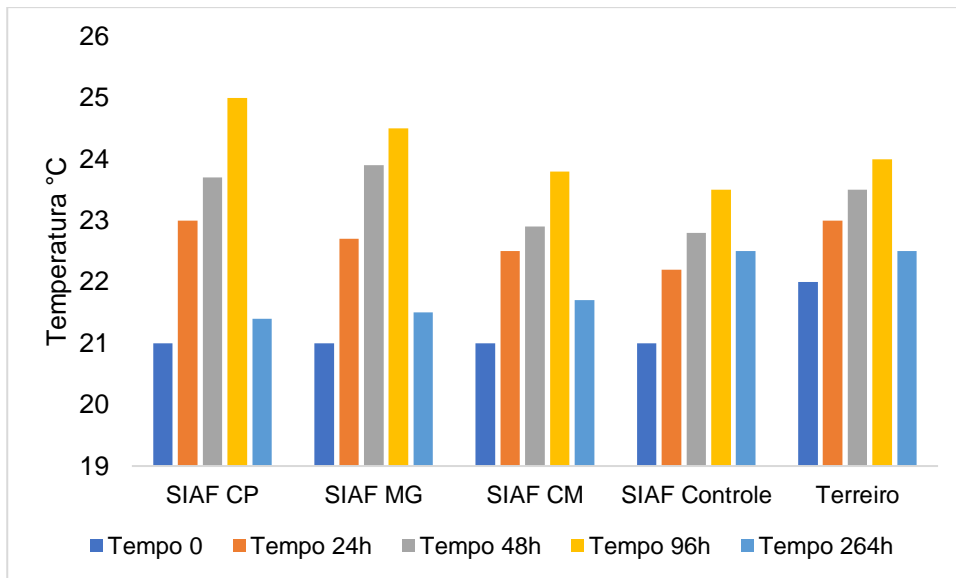
Após a coleta dos dados, foi realizada a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey utilizando-se o software Statistica 12® (Statsoft). Para a análise dos compostos voláteis, foi empregada a Análise de Componentes Principais (PCA) em uma matriz de correlação, utilizando o software Statistica 12® (STATSOFT, Inc. 2022). O nível de significância adotado para todas as análises foi de 0,05.

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 Temperatura**

Durante o experimento, a temperatura dos biorreatores variou entre 21 °C e 25°C (Figura 2). No tempo 0h a temperatura foi de 21°C para as amostras de SIAF CP, SIAF MG, SIAF Controle e SIAF CM. O maior pico de temperatura foi no tempo 96h, 25 °C, para as amostras provenientes do tratamento SIAF CP. Neste mesmo tempo foram obtidas temperaturas de 24,5 °C para SIAF MG, 23,8 °C para SIAF CM e 23,5 °C para SIAF Controle. Os dados de temperatura para as amostras do Terreiro são referentes a temperatura ambiente no local onde foi conduzido o processo fermentativo.

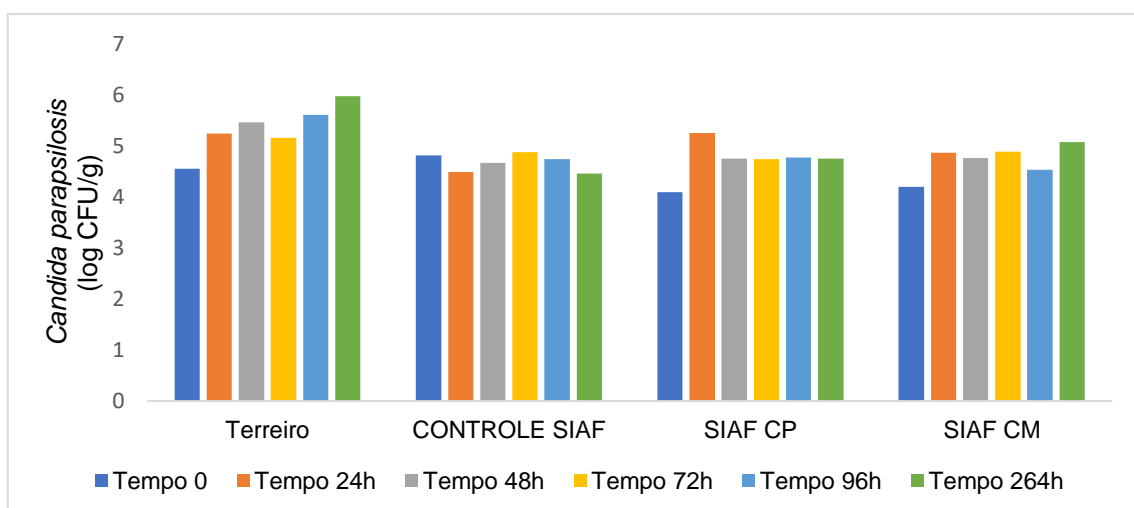
**Figura 2:** Temperatura em °C das amostras em função do tempo de fermentação



### 3.2 qPCR

A presença das leveduras *C. parapsilosis* e *M. guilliermondii* foi monitorada durante a fermentação e secagem dos cafés (Figura 3 e 4). *C. parapsilosis* estava presente nos cafés não inoculados (Terreiro e Controle SIAF) desde o tempo zero. A co-inoculação com *M. guilliermondii* e *C. parapsilosis* não favoreceu o crescimento no tempo 0 (Terreiro e SIAF CM).

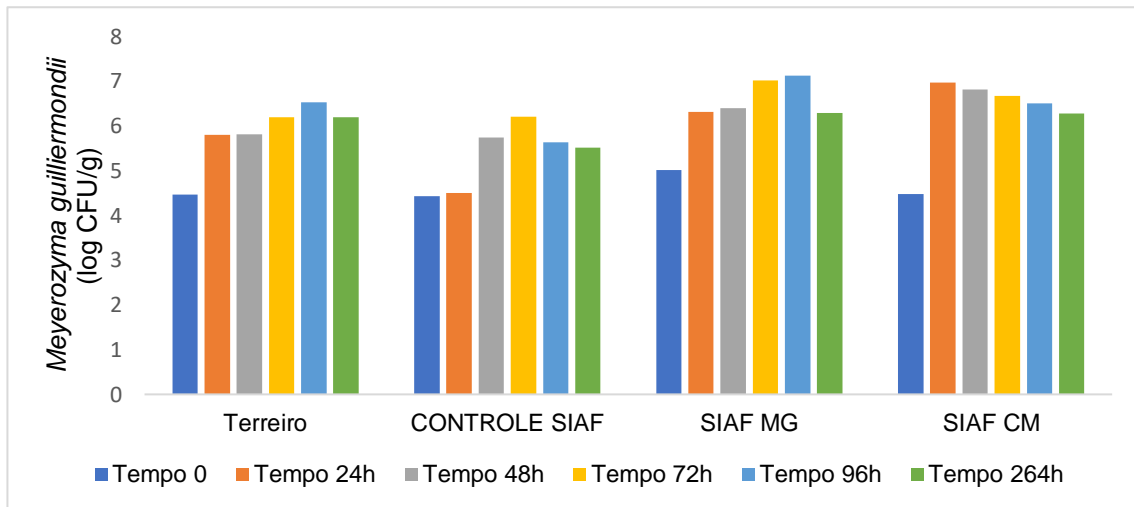
**Figura 3:** População (log UFC/g) de *Candida parapsilosis* em função do tempo de fermentação nos tratamentos Terreiro, Controle SIAF, SIAF-CP e SIAF-CM



*M. guilliermondii* esteve presente desde o tempo 0 para os cafés não inoculados (Terreiro e Controle SIAF). Para o tratamento SIAF CM, observou-se um aumento na

população no tempo 24h. O tratamento inoculado com *M. guilliermondii* apresentou o maior crescimento após 96h de fermentação (Figura 4).

**Figura 4:** População (log UFC/g) de *Meyerozyma guilliermondii* em função do tempo de fermentação nos tratamentos Terreiro, Controle SIAF, SIAF-MG e SIAF-CM.



### 3.3 Compostos Voláteis

#### 3.3.1 Compostos Voláteis durante a fermentação

Foram encontrados 24 compostos durante o processo fermentativo do café conilon por SIAF (Tabela 1). Desses 24 compostos, 6 são da classe dos álcoois, 4 são aldeídos, 1 dos benzenos, 2 das cetonas, 9 são ésteres, 1 são terpenos e 1 são xantinas. O composto 2-Heptanol esteve presente em todas as amostras. O composto éster octila do ácido acético esteve presente em maior percentual nas amostras inoculadas. O composto salicilato de metila foi encontrado em maior percentual nas amostras inoculadas com a levedura *C. parapsilosis* e nas amostras do terreiro.

Composto	IR	Descritor sensorial	%SIAF CP T0	%SIAF CP T264	%SIAF MG T0	%SIAF MG T264	%SIAF CM T0	%SIAF CM T264	%CONTROLE SIAF T0	%CONTROLE SIAF T264	%TER T0	%TER T264
<b>Álcoois</b>												
1-Pentanol	768	Balsâmico, fruta, verde, pungente	0,07	1,62	1,03	2,44	2,39	2,39	1,05	1,05	0,28	0,28
3-metil-2-hexanol	909	- Odor herbáceo que lembra limão	0,57	1,03	0,82	1,06	0,87	0,87	1,15	1,15	0,39	0,87
2-Heptanol	905	e frutado, verde, sabor um pouco amargo	32,97	52,81	39,9	65,62	51,93	51,91	57,75	57,63	33,23	39,56
2-octanol	995	Oleoso	0,12	0,15	0,11	0,2	0	0,19	0	0,12	0,14	0,14
Acetato do 2-Heptanol	1043	Frutado	34,02	3,24	16,01	2,38	5,42	5,43	3,18	3,18	6,97	6,98
2-Nonanol	1098	Herbal	3,16	4,97	3,18	5,77	4,97	4,96	4,68	4,67	0,00	0,00
<b>Aldeídos</b>												

Hexanal	769	Verde, frondoso, gramado	0,39	0,19	0,63	0,17	0,51	0,51	0,52	0,51	0,11	0,11
2-Hexenal	820	Verde, fresco, frutado	0,53	0	1,64	0,28	0,58	0,58	0,41	0,41	0,00	0,00
Benzenoacetaldeído	1043	Desagradável, pungente, amargo, doce, fruta, mel, floral, verde	0	0,92	1,51	0,82	1,05	1,05	1,72	1,71	0,10	0,10
Pentadecanal	1715	Aroma fresco e ceroso	0,29	0,23	0,22	0,19	0,24	0,24	0,22	0,22	0,19	0,19
<b>Benzenos</b>												
Benzaldeído	926	Amêndoa, açúcar queimada	0	0,31	0,22	0,21	0,52	0,52	0,29	0,29	0,00	0,00
<b>Cetonas</b>												
2-Heptanona	889	Odor frutado semelhante a uma banana.	1,53	3,21	2,48	2,68	4,35	4,35	2,81	2,81	6,44	5,12
2-Nonanona	1096		0,16	0,32	0,19	0,41	0,57	0,56	0,17	0,17	0,35	0,35
<b>Ésteres</b>												
Acetato do 3-metil-1-butanol	660.1	-	0	0,76	0,43	0,16	0,37	0,37	0,61	0,61	0,00	0,00
Éster etílico do ácido benzoico	1172	Doce, verde, frutado, medicinal, cereja e uva	0,08	0,52	0,26	0,49	0,4	0,4	0,44	0,44	2,35	2,36
Salicilato de metila	1187	Hortelã-pimenta,	15,4	3,44	13,74	1,25	2,96	2,96	5,21	5,21	28,90	28,93
Acetato de octila	1214	Em uma solução mais	7,73	1,38	1,84	1,34	1,38	1,37	1,01	1	0,75	0,75

		diluída, o odor pode cheirar a frutas maduras										
Éster etílico do ácido benzenoacético	1252	-	0	2,05	2,69	0,82	2,4	2,4	1,02	1,02	0,20	0,20
Éster etílico do ácido salicílico	1279	Amargo	0,23	11,13	6,19	5,9	7,42	7,41	8,73	8,71	3,88	3,88
Éster etílico do ácido benzoico	1172	Doce, verde, frutado, medicinal, cereja e uva	0,08	0,52	0,26	0,49	0,4	0,4	0,44	0,44	2,35	2,36
Éster etílico do ácido hexadecanoico	1995	Odor semelhante a cera	0	2,04	2,91	1,09	1,06	1,06	1,2	1,2	1,72	1,73
Éster etílico do ácido linoleico	2177	-	0	0,95	1,61	0,18	0,3	0,3	0,4	0,4	0,50	0,50
Éster etílico do ácido 9- octadecenóico (Z)-	2179	-	0,22	0,51	0,67	0,27	0,26	0,26	0,52	0,51	0,41	0,41
<b>Terpenos</b> copaeno	1376	-	0,17	0,63	0,48	0	0,25	0,25	0,18	0,18	0,13	0,13
<b>Xantina</b> Cafeína	1838	-	0,65	2,91	2,64	4,32	3,86	3,86	4,07	3,95	1,75	1,67

**Tabela 1:** Porcentagem relativa (%) de compostos voláteis encontrados nas amostras de café, durante a fermentação, correspondente aos tratamentos SIAF-CP, SIAF-MG, SIAF-CM, Controle SIAF e Terreiro.

IR: Índice de Retenção

Descritores sensoriais foram retirados da literatura: (BURDOCK, G. A, 2004; BATISTA DA MOTA et al., 2022; BRESSANI et al., 2020; BRESSANI et al., 2021a; BRESSANI et al., 2021b; BRIOSCHI JUNIOR et al., 2021; CAPORASO et al., 2018; CHAKRABORTY et al., 2022; CHEN et al., 2021; DA MOTA et al., 2020; DE BRUYN et al., 2017; DE MELO PEREIRA et al., 2015; ELHALIS et al., 2020; ERÖZ POYRAZ et al., 2016; ESQUIVEL; JIMÉNEZ, 2012; GALARZA; FIGUEROA, 2022; GONZALEZ-RIOS et al., 2007; GUO et al., 2021; HADJ SALEM et al., 2020; KANG et al., 2019; LEE et al., 2016; MARTINS et al., 2020; MASOUD; POLL; JAKOBSEN, 2005; MEI; DING; CHEN, 2023; MOON; SHIBAMOTO, 2009; PEREIRA et al., 2022; PINTO-ZEVALLOS et al., 2013; PROCIDA et al., 2020; PUBCHEM, [s.d.]; RIBEIRO et al., 2017b; RONG et al., 2021; VÁRADY et al., 2022; WANG et al., 2019; WANG et al., 2011; WANG; RUAN, 2009; WANG et al., 2022).

### 3.3.2 Compostos voláteis após a torra

Foram encontrados 35 compostos voláteis nas amostras de café conilon fermentadas por SIAF e torradas (Tabela 2). Desses 35 compostos, 3 são das classes dos álcoois, 2 são aldeídos, 5 são cetonas, 1 é da classe dos ésteres, 3 são Fenóis, 13 são Pirazinas, 3 são Pirimidinas, 4 são Pirróis e 1 são Xantinas. O composto 2-Furanometanol foi encontrado em todos os tratamentos, furfural e 5-metil-2-furancarboxaldeído foi encontrado em maior percentual relativo para os tratamentos sem adição dos inóculos. A formação de dihidro-2-metil- 3(2H)-Furanona foi maior nos tratamentos utilizando o inóculo. O composto maltol foi encontrado em todas as amostras de café conilon e 2,3-dimetil-5-etilpirazina foi encontrado em maior percentual para os tratamentos inoculados.

Composto	IR	Descritor Sensorial	%SIAF CP	%SIAF MG	%SIAF CM	%Controle SIAF	% Terreiro
<b>Álcoois</b>							
2-Furanometanol	882	Velho, doce, caramelo marrom, pão, café	13,40	14,38	15,09	14,14	16,48

1-acetiloxi-2-Propanona	876	Frutado, nozes	3,56	3,44	4,00	3,51	3,78
Acetato de 2-Furanometanol	998	Nozes	2,83	2,79	3,63	2,79	2,53
<b>Aldeídos</b>							
Furfural	839	Doce e queimado	3,81	4,34	3,84	4,51	5,45
5-metil-2-Furancarboxaldeído	960	-	3,41	3,52	3,42	3,62	4,35
<b>Cetonas</b>							
1-Hidroxi-2-butanona	748	Doce, floral	0,19	0,20	0,27	0,23	0,31
Dihidro-2-metil-3(2H) -Furanona	804	Café torrado, pão, doce, nozes	1,14	1,13	1,16	1,07	0,95
1-acetiloxi-2-Propanona	876	Frutado, nozes	3,56	3,44	4,00	3,51	3,78
2-Heptanona	889	Frutado, picante, canela, banana	0,31	0,25	0,30	0,33	0,35

Maltol	1110	Doce e caramelo	1,40	1,78	1,44	1,55	1,61
<b>Ésteres</b>							
Triacetina	1344	Doce, cremoso, boca oleosa	21,54	15,92	16,78	21,74	16,36
<b>Fenóis</b>							
2-metoxifenol	1090	Doce	0,51	0,58	0,67	0,55	0,56
4-etil-2-metoxifenol	1287	Cravo, curry, especiarias	0,80	0,87	0,92	0,68	0,67
2-metoxi-4-vinilfenol	1323	Queimado, Fenol, madeira, especiarias	10,43	12,18	10,65	10,71	11,78
<b>Pirazinas</b>							
Metilpirazina	832	Nozes, cacau, torrado e chocolate	5,46	5,21	5,33	5,00	5,44
2,5-dimetil-pirazina	920	Nozes, cacau	2,05	1,93	2,00	1,89	2,25
2,6-dimetil-pirazina	936	Nozes, torrado	3,20	3,36	3,16	3,27	2,65

Etil-pirazina	928	Chocolate, nozes	2,51	2,54	2,74	2,57	2,65
2,3-dimetil-pirazina	926	Cacau e torrado	0,48	0,53	0,66	0,56	0,33
2-etil-5-metilpirazina	997	Nozes, cacau, torrado e chocolate	0,74	0,83	0,77	0,69	0,87
2-etil-6-metilpirazina	1005	Nozes, cacau, torrado e chocolate	0,96	1,05	0,95	0,98	1,15
Trimetilpirazina	1012	Queimado, assado	1,28	1,44	1,57	1,12	0,96
2-etil-3-metilpirazina	1014	Nozes, cacau, torrado e chocolate	0,56	0,58	0,55	0,49	0,68
3-etil-2,5- dimetilpirazina	1079	Nozes, cacau, torrado e chocolate	1,39	1,39	1,13	1,22	1,37
2,3-Dimetil-5- etilpirazina	1097	Nozes, cacau, torrado e chocolate	0,45	0,56	0,60	0,41	0,29

2-Acetil-3-metilpirazina	1112	Batatas assadas, nozes	0,8	0,96	0,73	0,75	1,00
3,5-dietil-2-metilpirazina	1150	Nozes, cacau, torrado e chocolate	0,27	0,37	0,28	0,31	0,31
<b>Pirimidina</b>							
1,3-diazina	728	-	0,59	0,54	0,62	0,53	0,52
Piridina	734	Amargo, adstringente, assado, queimado	1,81	1,77	2,46	2,04	1,54
N-acetil-4(H)-Piridina	1038	Amargo, adstringente, assado, queimado	0,48	0,48	0,50	0,46	0,62
<b>Pirróis</b>							
Pirrol	747	Odor doce e etéreo que lembra clorofórmio	0,19	0,22	0,22	0,21	0,24

1-metil-1H-Pirrol-2-carboxaldeído	1022	Clorofórmio	0,49	0,56	0,55	0,49	0,46
1H-Pirrole-2-carboxaldeído	1030	Café mofado	0,49	0,58	0,52	0,58	0,60
1-(2-Furanilmetil) - 1H-pirrol	1185	Vegetal, frutado	0,55	0,65	0,57	0,54	0,60
<b>Xantina</b>							
Cafeína	1838	-	1,14	0,73	0,75	1,03	1,21

**Tabela 2:** Porcentagem relativa (%) de compostos voláteis encontrados nas amostras de café torrado nos tratamentos SIAF-CP, SIAF-MG, SIAF-CM, Controle SIAF e Terreiro.

IR: Índice de Retenção

Descritores sensoriais foram retirados da literatura: (BURDOCK, G. A, 2004; BATISTA DA MOTA et al., 2022; BRESSANI et al., 2020; BRESSANI et al., 2021a; BRESSANI et al., 2021b; BRIOSCHI JUNIOR et al., 2021; CAPORASO et al., 2018; CHAKRABORTY et al., 2022; CHEN et al., 2021; DA MOTA et al., 2020; DE BRUYN et al., 2017; DE MELO PEREIRA et al., 2015; ELHALIS et al., 2020; ERÖZ POYRAZ et al., 2016; ESQUIVEL; JIMÉNEZ, 2012; GALARZA; FIGUEROA, 2022; GONZALEZ-RIOS et al., 2007; GUO et al., 2021; HADJ SALEM et al., 2020; KANG et al., 2019; LEE et al., 2016; MARTINS et al., 2020; MASOUD; POLL; JAKOBSEN, 2005; MEI; DING; CHEN, 2023; MOON; SHIBAMOTO, 2009; PEREIRA et al., 2022; PINTO-ZEVALLOS et al., 2013; PROCIDA et al., 2020; PUBCHEM, [s.d.]; RIBEIRO et al., 2017b; RONG et al., 2021; VÁRADY et al., 2022; WANG et al., 2019; WANG et al., 2011; WANG; RUAN, 2009; WANG et al., 2022)

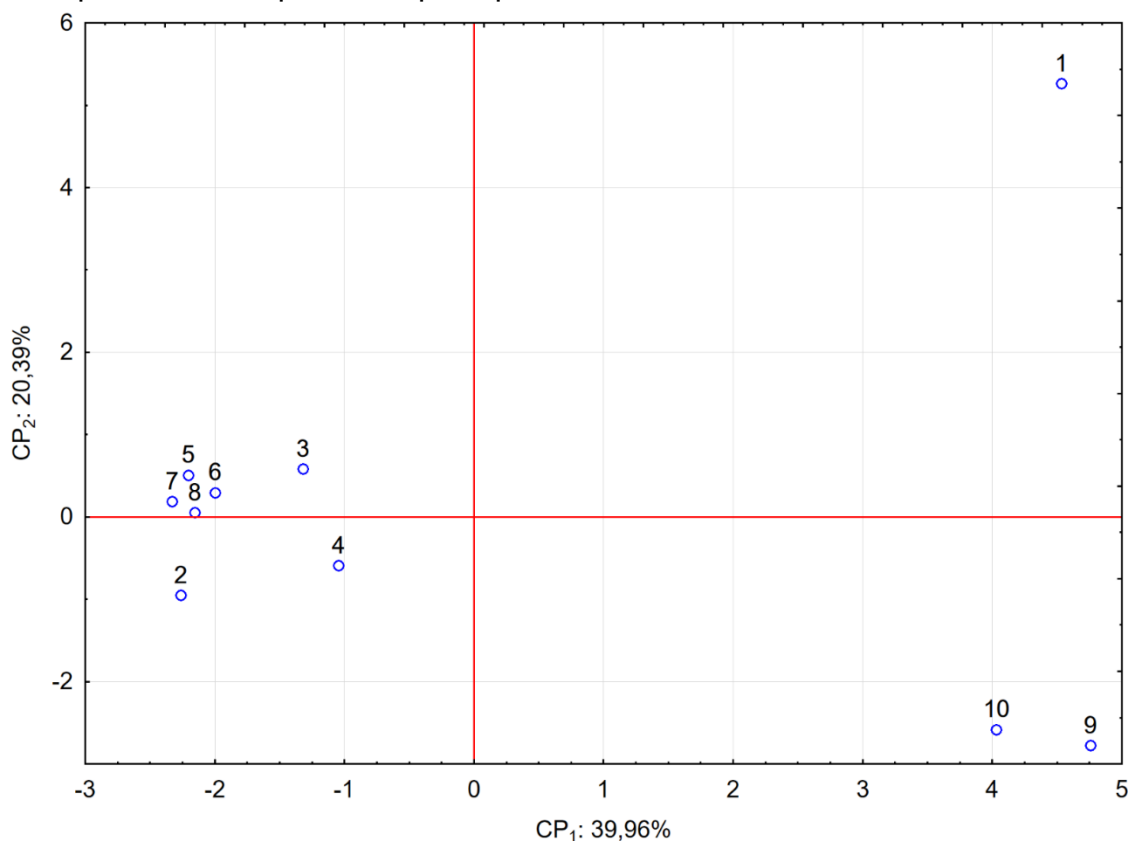
### 3.4 Análise De Componentes Principais

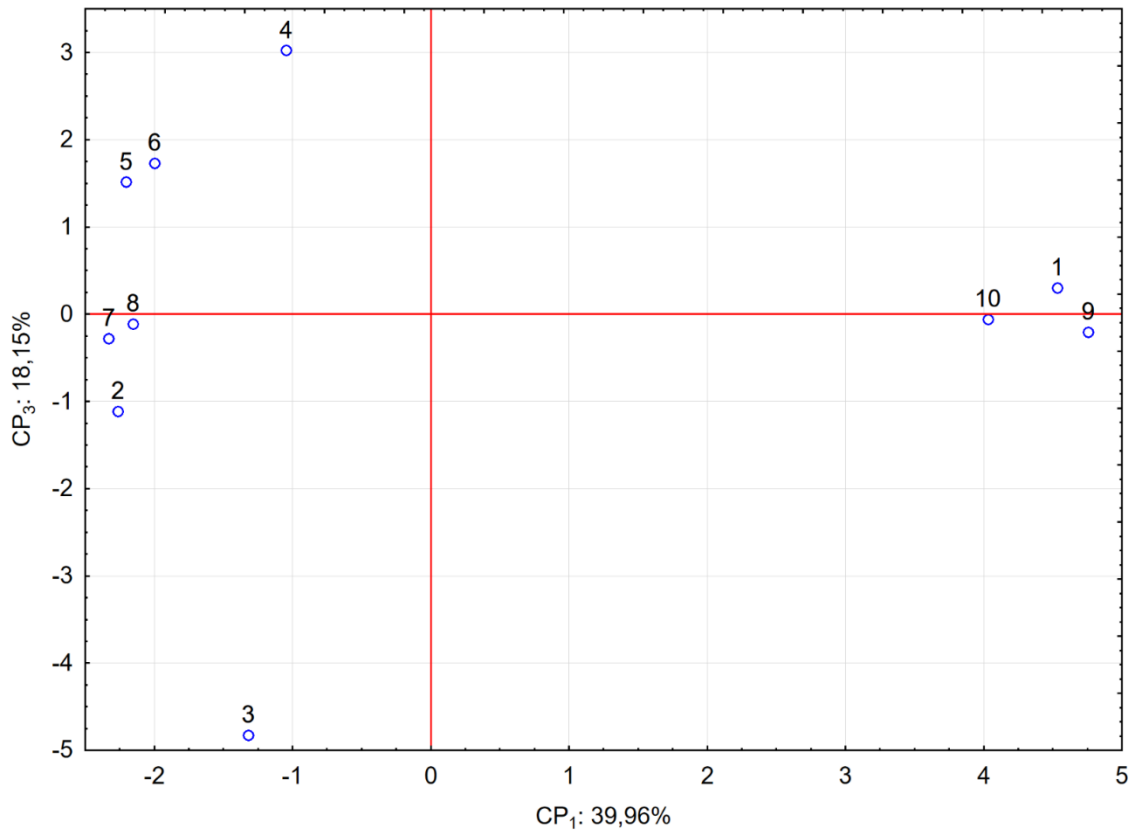
#### 3.4.1 Análise de Componentes Principais dos compostos voláteis durante a fermentação

A Figura 5 ilustra os resultados de scores dos três primeiros componentes principais, CP<sub>1</sub>, CP<sub>2</sub> e CP<sub>3</sub>, que explicaram respectivamente 39,96%, 20,39% e 18,15% indicando a variância armazenada em cada componente principal expressa pelos autovalores da matriz padronizada. Os três primeiros componentes principais explicam 78,5% da variância total observada entre os tratamentos. Observa-se que o primeiro componente principal diferencia os tratamentos 1, 9 e 10 dos demais tratamentos; o segundo componente principal diferencia o tratamento 1 dos tratamentos 9 e 10; o terceiro componente principal diferencia o tratamento 3 dos demais, assim como o 4 dos demais.

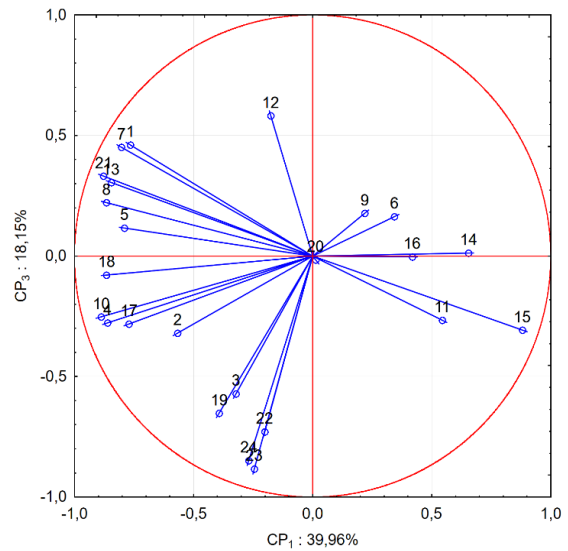
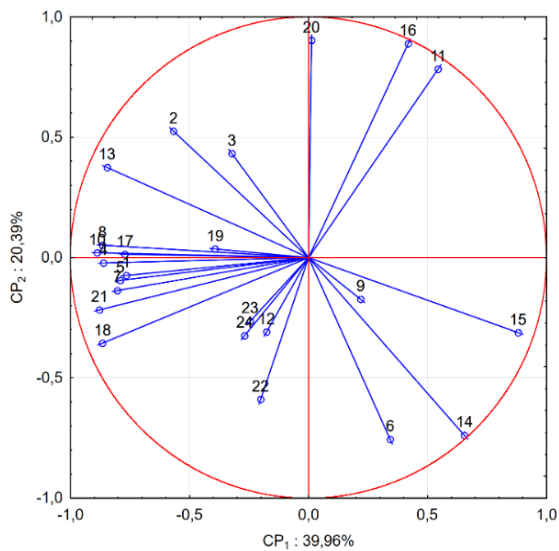
**Figura 5:** Score da análise de componentes principais para os cinco tratamentos. 1: SIAF CP 0h; 2: SIAF CP 264h; 3: SIAF MG 0h; 4: SIAF MG 246h; 5: SIAF CM 0h; 6: SIAF CM 264h; 7: SIAF controle 0h; 8: SIAF controle 264h; 9: Terreiro 0h; 10: Terreiro 264h.

A Figura 6 ilustra as contribuições dos 24 compostos voláteis identificados para os três primeiros componentes principais.





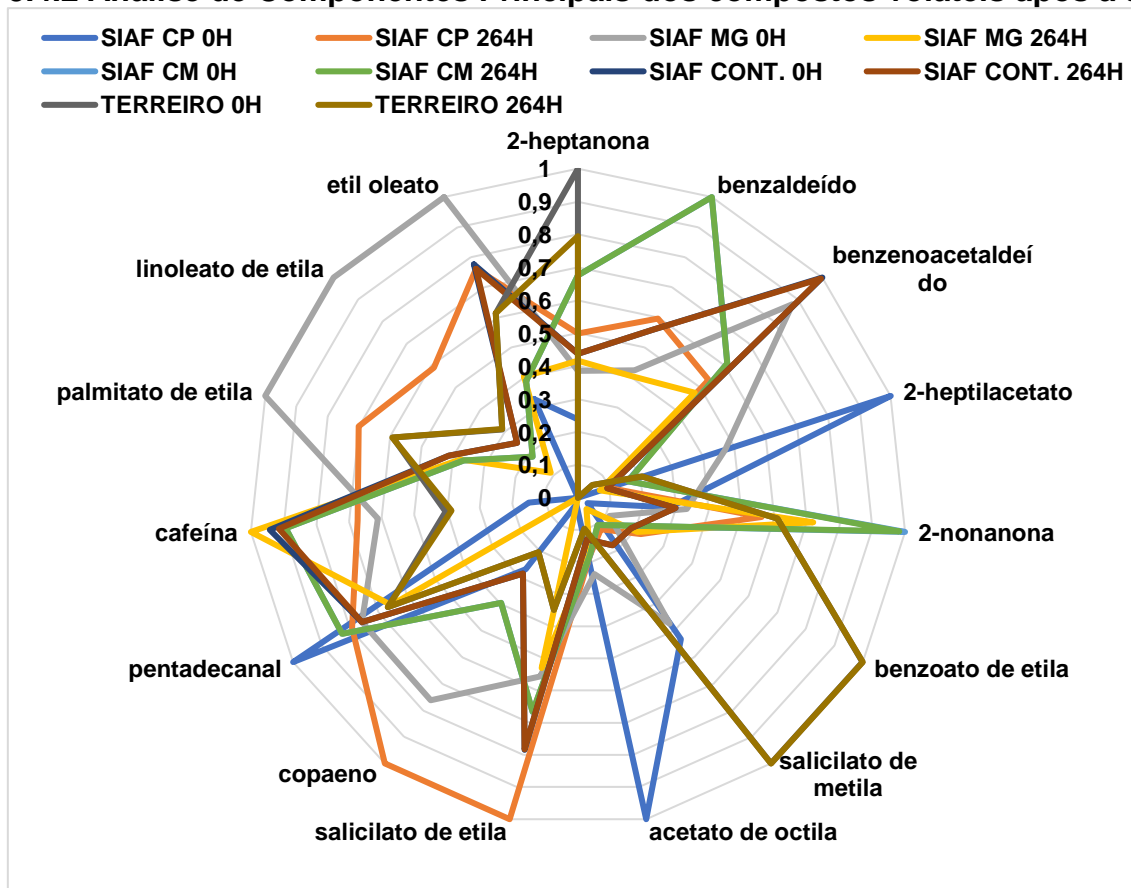
**Figura 6:** Contribuições dos compostos voláteis identificados para os três primeiros componentes principais. 1: 1-pentanol; 2: hexanal; 3: 2-Hexenal, (E); 4: 1-butanol, 3-metil-, acetato; 5: 2-hexanol, 3-metil-; 6: 2-Heptanona; 7: 2-Heptanol; 8: Benzaldeído; 9: 2-octanol; 10: Benzenoacetaldeído; 11: 2-Heptanol, acetato; 12: 2-Nonanona; 13: 2-Nonanol; 14: Ácido benzóico, éster etílico; 15: Salicilato de metila; 16: Ácido acético, éster octil; 17: Ácido benzenoacético, éster etílico; 18: Ácido salicílico, éster etílico; 19: .alfa.-Copaene; 20: Pentadecanal -; 21: Cafeína; 22: Ácido hexadecanóico, éster etílico; 23: Éster etílico do ácido linoleico; 24: Ácido 9-octadecenóico (Z)-, éster etílico.



Os compostos com maiores contribuições com o primeiro componente principal foram o Benzenoacetaldeído (8,22% de contribuição), salicilato de metila (8,08%), cafeína (8,05%), benzaldeído (7,83%) e éster etílico do ácido salicílico (7,81%). Os compostos com maiores contribuições com o segundo componente principal foram o pentadecanal (16,64%), acetato de octila (16,15%), acetato do 2-Heptanol (12,53%); 2-heptanona (11,67%) e éster etílico do ácido benzenoacético (11,14%). Os compostos com maiores contribuições com o terceiro componente principal foram o éster etílico do ácido linoleico (17,89%), éster etílico do ácido 9-octadecenoico (Z) (16,53%), éster etílico do ácido hexadecanoico (12,19%), copaeno (9,79%) e 2-nonanona (7,77). O perfil desses quinze compostos (em termos proporcionais ao valor máximo encontrado) mais correlacionados com os três primeiros componentes principais para os cinco tratamentos avaliados é ilustrado na Figura 7.

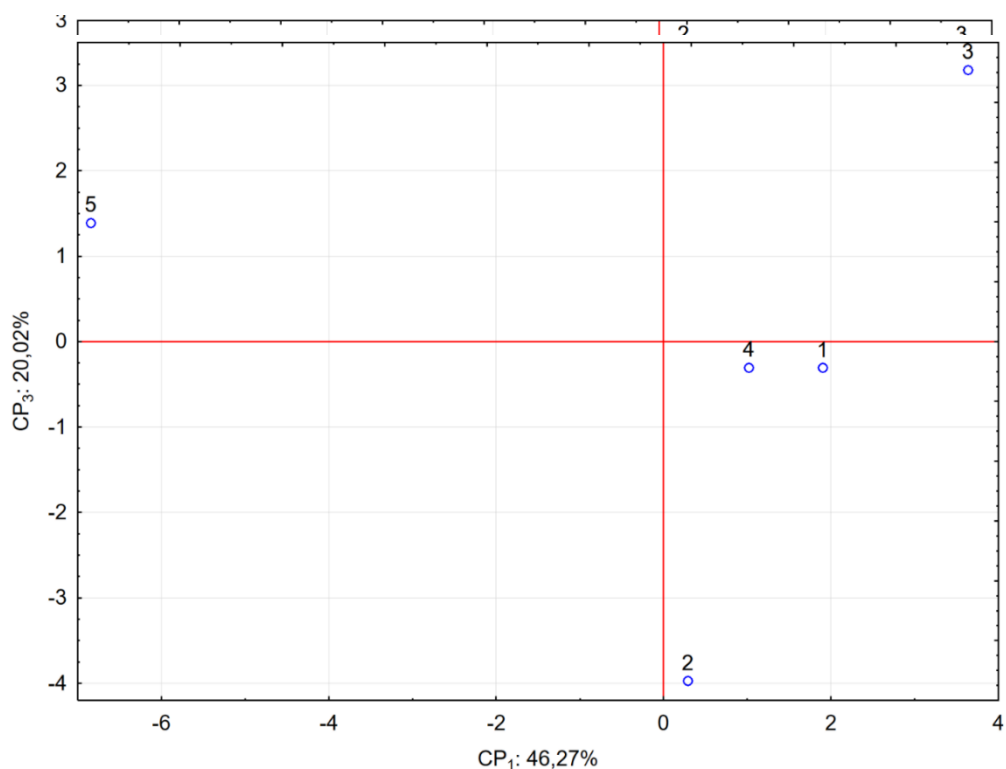
**Figura 7:** Perfil dos compostos mais correlacionados com os três primeiros componentes principais. Os escores para cada composto é relativo em relação ao valor máximo encontrado.

### 3.4.2 Análise de Componentes Principais dos compostos voláteis após a torra.



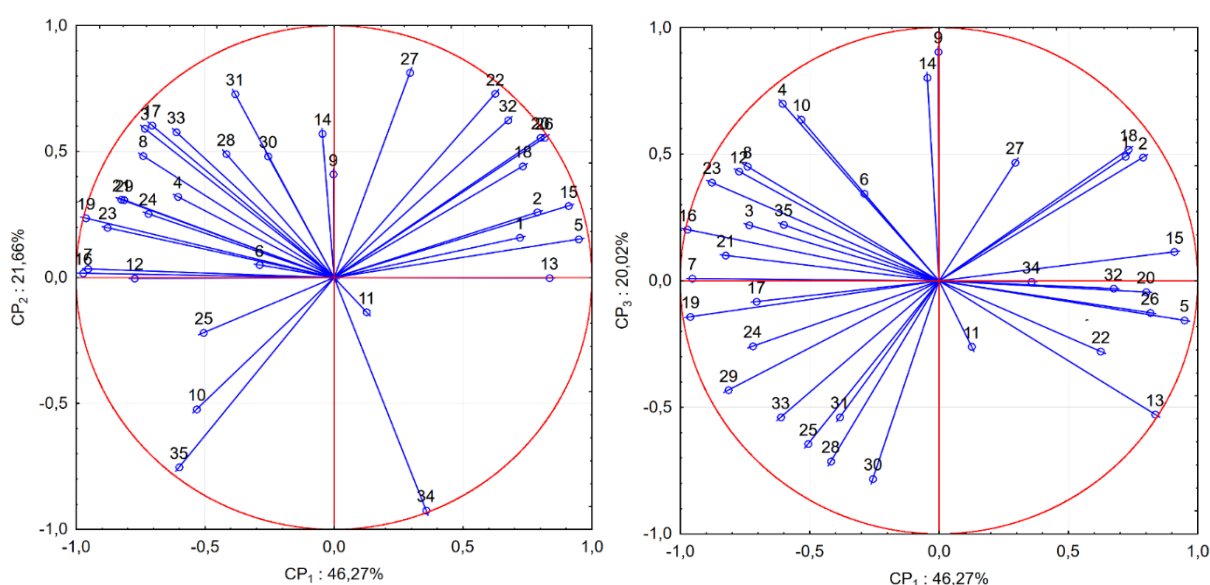
A Figura 8 ilustra os resultados de scores dos três primeiros componentes principais, CP1, CP2 e CP3, que explicaram respectivamente 46,27%, 21,66% e 20,02% indicando a variância armazenada em cada componente principal expressa pelos autovalores da matriz padronizada. Os três primeiros componentes principais explicam 87,95% da variância total observada entre os tratamentos. Observa-se que o primeiro componente principal diferencia o tratamento 5 dos demais tratamentos; o segundo componente principal diferencia os tratamentos 2 e 3 dos tratamentos 1 e 4; o terceiro componente principal diferencia o tratamento 2 do tratamento 3. Pode-se observar também uma grande proximidade para o par de tratamentos 1 e 4.

**Figura 8:** Score da análise de componentes principais para os cinco tratamentos. 1: SIAF CP; 2: SIAF MG; 3: SIAF CM; 4: SIAF Controle; 5: Terreiro.



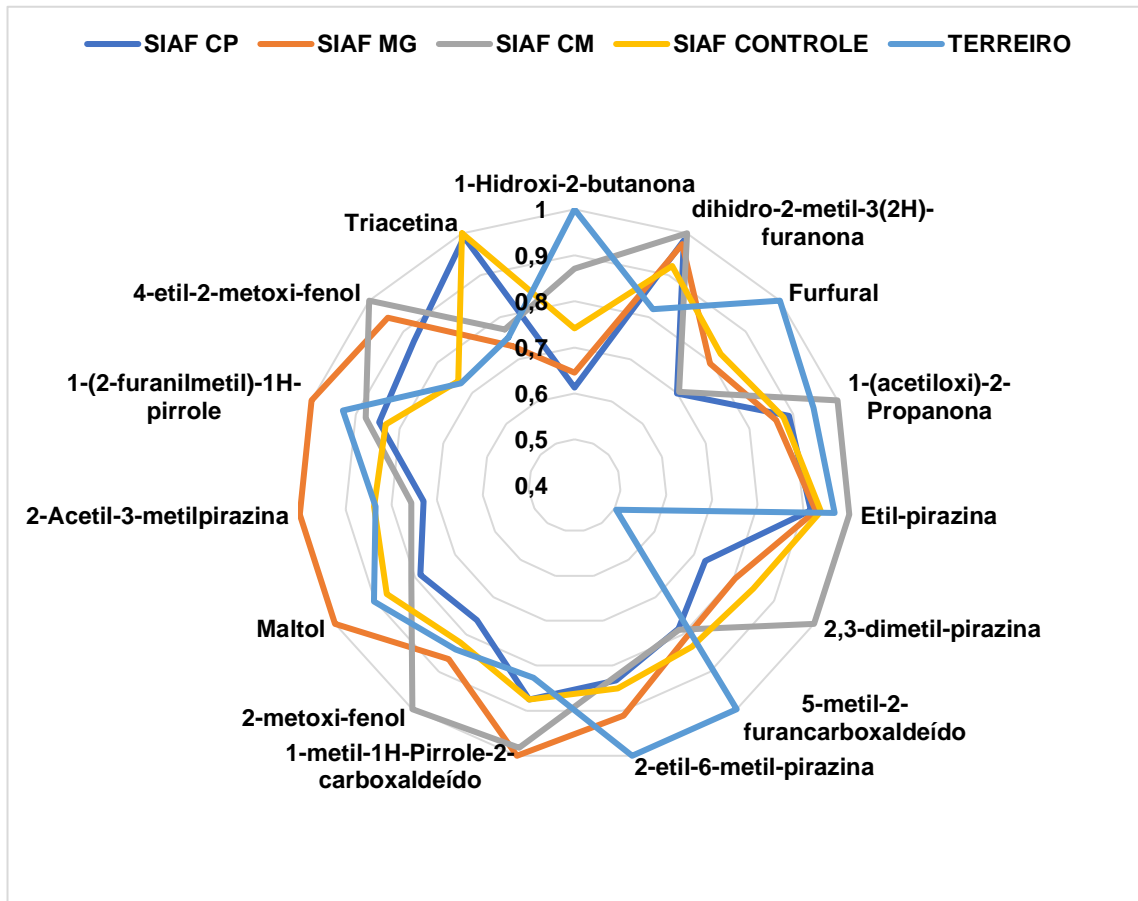
A Figura 9 ilustra as contribuições dos 35 compostos voláteis identificados para os três primeiros componentes principais.

**Figura 9:** Contribuições dos compostos voláteis identificados para os três primeiros componentes principais. 1: 1,3-diazina; 2: piridina; 3: Pirrol; 4: 1-Hidroxi-2-butanona; 5: 3(2H)-Furanona, dihidro-2-metil-; 6: Metilpirazina; 7: Furfural; 8: 2-Furanometanol; 10: 2-Propanona, 1-(acetiloxi)-; 11: 2-Heptanona; 12: 2-Heptanol; 13: Pirazina, 2,5-dimetil-; 14: Pirazina, 2,6-dimetil-; 15: Etil-pirazina; 16: Pirazina, 2,3-dimetil-; 17: 2-Furancarboxaldeído, 5-metil-; 18: Pirazina, 2-etil-5-metil-; 19: 2-Furanometanol, acetato; 20: Pirazina, 2-etil-6-metil-; 21: Pirazina, trimetil-; 22: Pirazina, 2-etil-3-metil-; 23: 1H-Pirrole-2-carboxaldeído, 1-metil-; 24: 4(H)-Piridina, N-acetil-; 25: 1H-Pirrole-2-carboxaldeído; 26: Pirazina, 3-etil-2,5-dimetil-; 27: 2,3-Dimetil-5-etilpirazina; 28: Fenol, 2-metoxi-; 29: Maltol; 30: 2-Acetil-3-metilpirazina; 31: Pirazina, 3,5-dietil-2-metil-; 32: 1H-Pirrole, 1-(2-furanilmetil)-; 33: Fenol, 4-etil-2-metoxi-; 34: 2-metoxi-4-vinilfenol; 35: Triacetina.



Os compostos com maiores contribuições com o primeiro componente principal foram o 2-Furancarboxaldeído, 5-metil (5,84% de contribuição), 2-etil-6-metil pirazina (5,71%), furfural (5,63%), dihidro-2-metil-3(2H) Furanona (5,55%) e 2,3-dimetil pirazina (5,11%). Os compostos com maiores contribuições com o segundo componente principal foram a triacetina (11,25%), 2-metoxifenol (8,72%), 1-metil-1H-Pirrole-2-carboxaldeído (7,01%); 1-(2-furanilmetil)-1H-Pirrole (7,00%) e 4-etil-2-metoxi-fenol (5,15%). Os compostos com maiores contribuições com o terceiro componente principal foram a 1-(acetiloxi)-2-Propanona (11,68%), etil-pirazina (9,18%), 3,5-dietil-2-metil-pirazina (8,74%), maltol (7,26%), 1-Hidroxi-2-butanona (6,98%). O perfil desses quinze compostos (em termos proporcionais ao valor máximo encontrado) mais correlacionados com os três primeiros componentes principais para os cinco tratamentos avaliados é ilustrado na Figura 10.

**Figura 10:** Perfil dos compostos mais correlacionados com os três primeiros componentes principais. Os escores para cada composto é relativo em relação ao valor máximo encontrado.

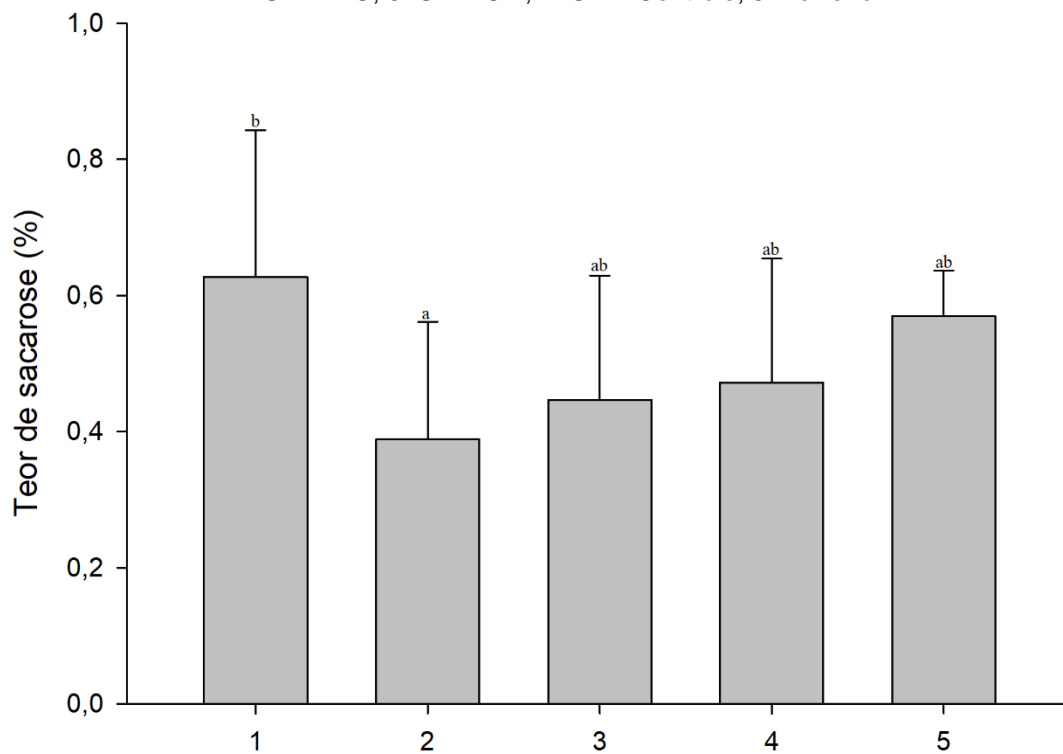


### 3.5 Açúcares e ácidos orgânicos

Os açúcares orgânicos sacarose, glicose e frutose foram detectados nas amostras, porém, manitol não foi detectado. Os ácidos orgânicos acético e láctico foram detectados nas amostras analisadas. Ácido cítrico, ácido málico, ácido oxálico, ácido propiônico, ácido succínico, ácido tartárico, ácido butírico não foram detectados nas amostras deste estudo.

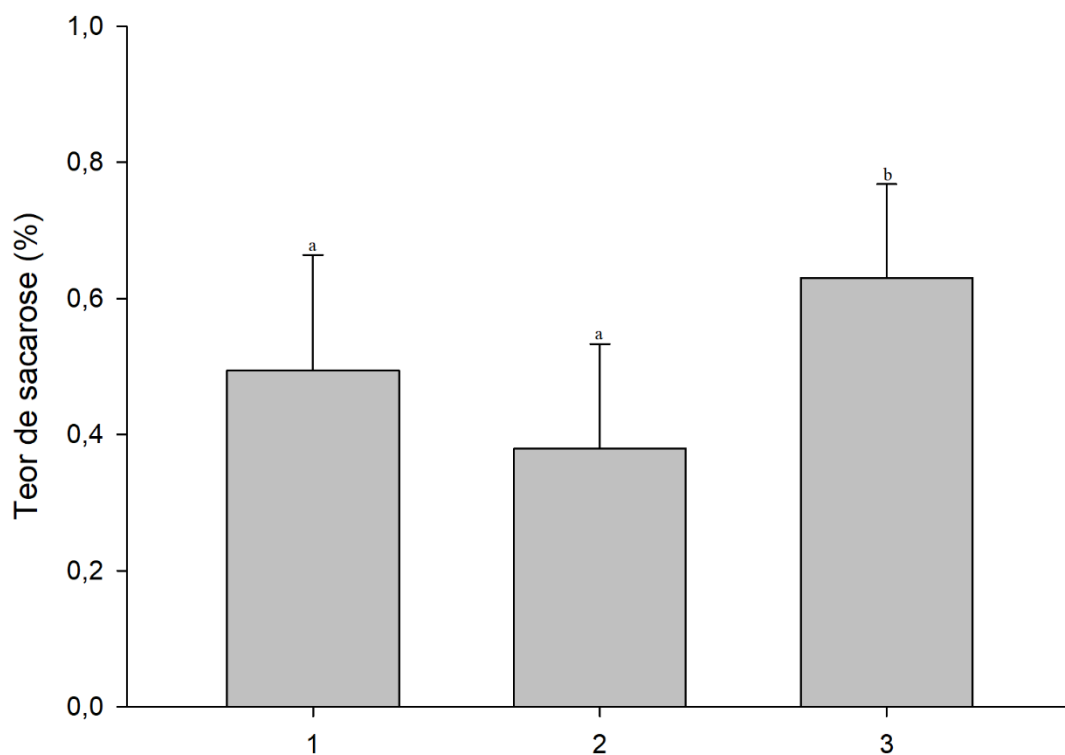
No tratamento SIAF CP foi encontrado o maior percentual de sacarose, quando comparado ao tratamento SIAF MG (Figura 11). Não há diferenças entre os tratamentos SIAF CM, SIAF Controle e Terreiro.

**Figura 11:** Médias para o teor de sacarose para os diferentes tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Tratamentos: 1: SIAF CP; 2: SIAF MG; 3: SIAF CM; 4: SIAF Controle; 5: Terreiro.



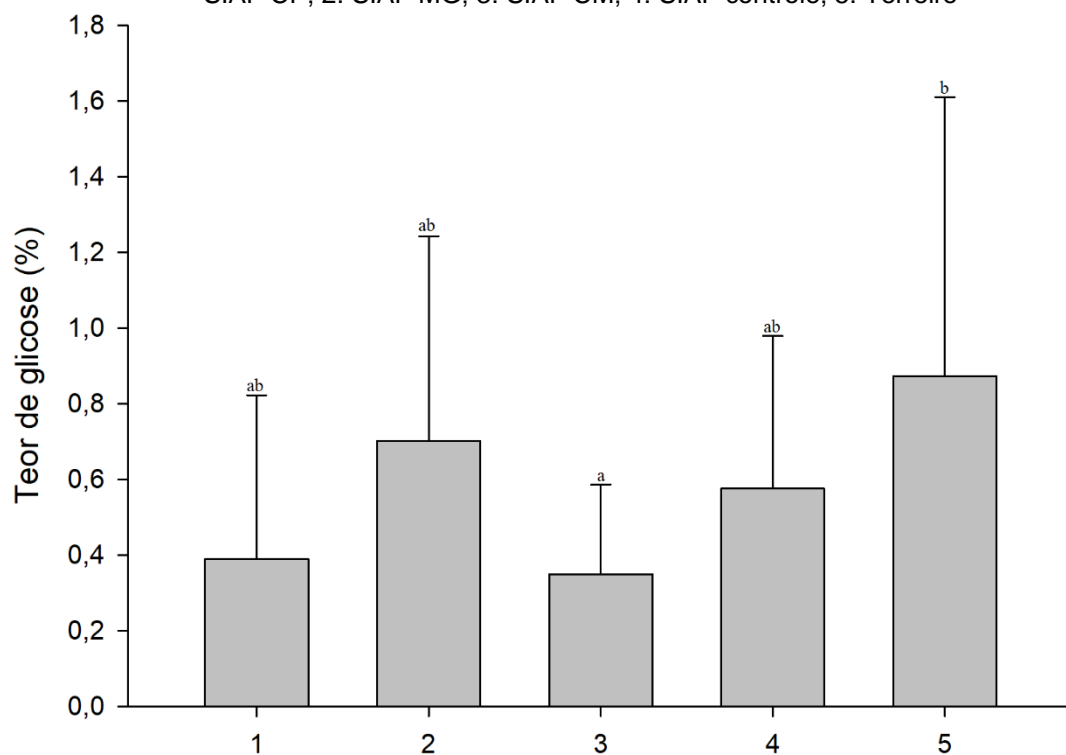
A interação entre o tempo de fermentação, tratamentos 1 e 2 (Figura 12), não demonstrou diferenças significativas, diferente do que ocorre para o tratamento 3, expondo que os cafés secos contêm maior percentual de sacarose.

**Figura 12:** Médias para o teor de sacarose para os diferentes tempos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Tratamentos: 1: tempo 0, 2: 264h; 3: seco.



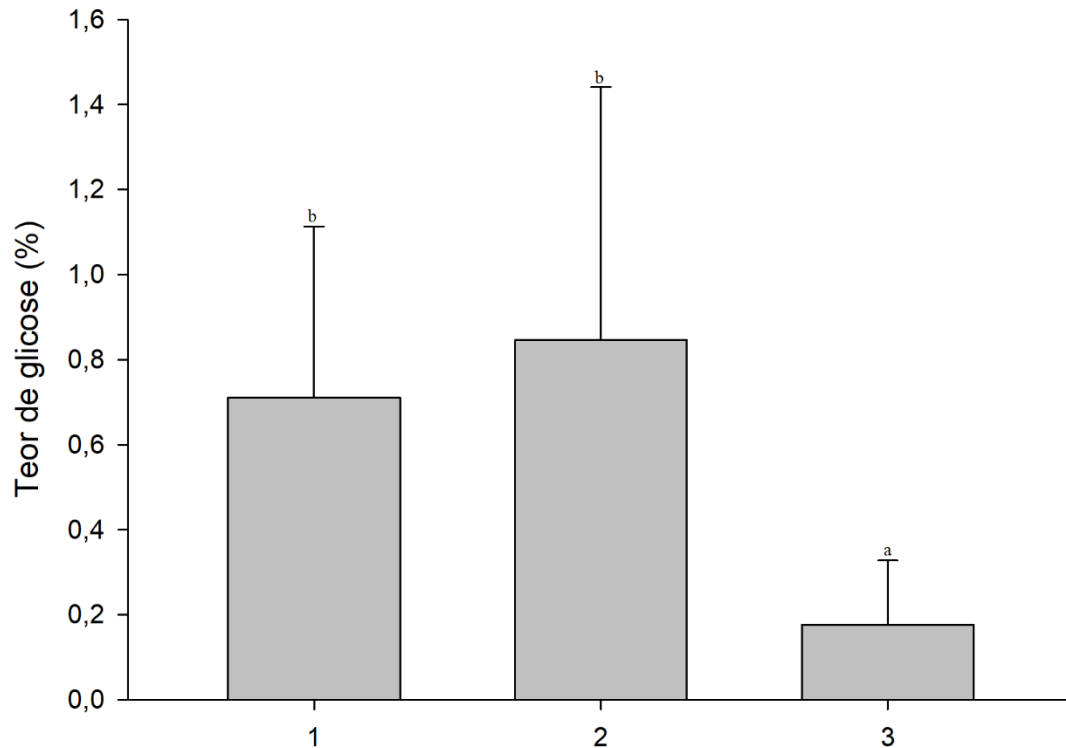
Os tratamentos SIAF CP, SIAF MG e SIAF Controle não diferem estatisticamente entre si (Figura 13) quanto ao teor de glicose. Já SIAF CM e terreiro diferem entre si.

**Figura 13:** Médias para o teor de glicose para os diferentes tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Tratamentos: 1: SIAF CP; 2: SIAF MG; 3: SIAF CM; 4: SIAF controle; 5: Terreiro



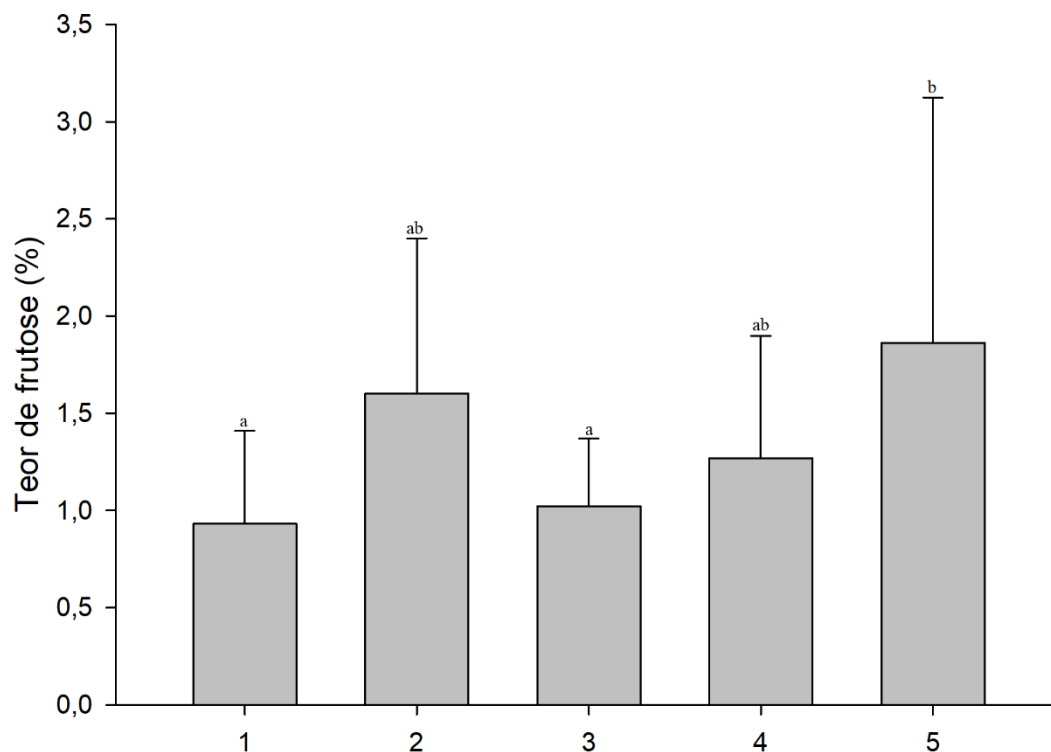
O percentual de glicose no café seco foi estaticamente diferente daqueles encontrados nos cafés com 0 e 264 h de fermentação. Não houve consumo de glicose durante o processo de fermentação (Figura 14). O tempo 0 e tempo 264 não diferem entre si.

**Figura 14:** Médias para o teor de glicose para os diferentes tempos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Tratamentos: 1: tempo 0, 2: 264h; 3: seco.



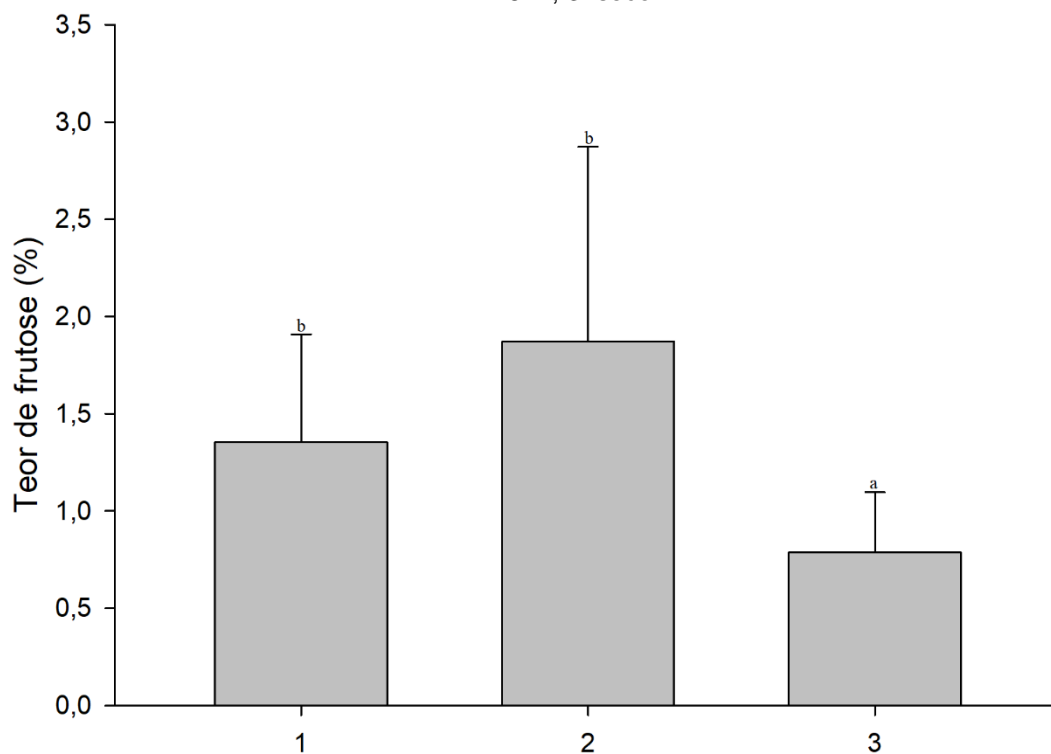
Em relação à frutose, os tratamentos SIAF CP e SIAF CM não se diferenciam (Figura 15). Já SIAF MG e SIAF controle não se diferenciam entre si. O tratamento 5, terreiro, se diferencia dos tratamentos SIAF CP e SIAF CM.

**Figura 15:** Médias para o teor de frutose para os diferentes tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Tratamentos: 1: SIAF CP; 2: SIAF MG; 3: SIAF CM; 4: SIAF controle; 5: Terreiro.



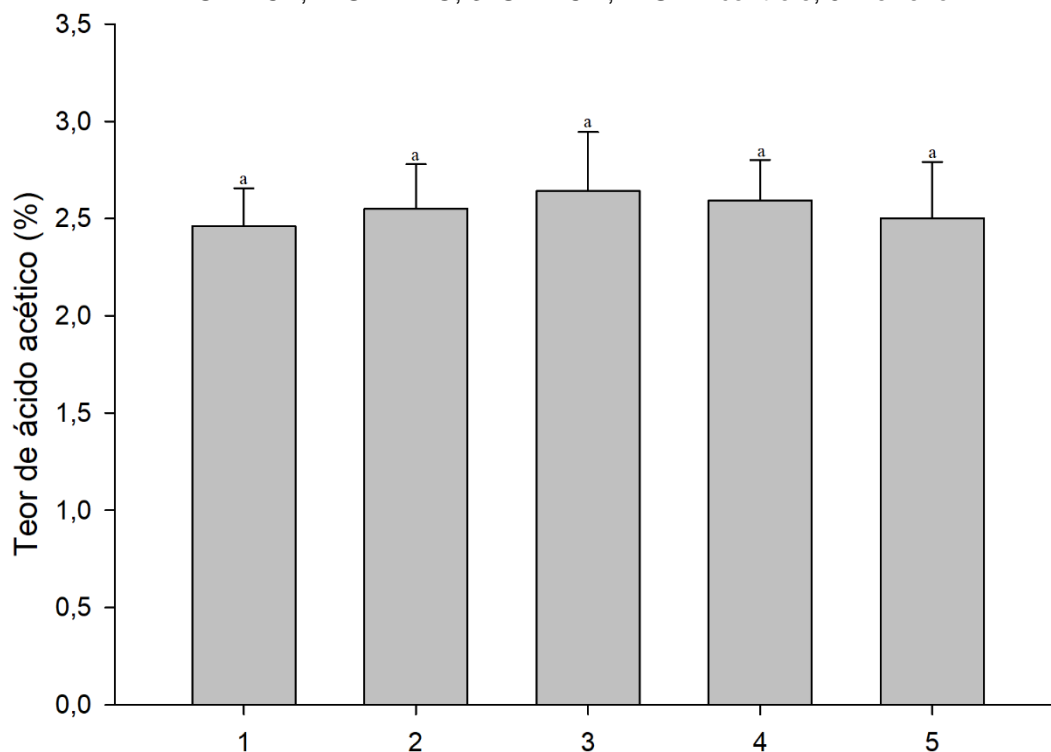
Os tratamentos 1 e 2 (tempo 0 e 264h) não se diferenciam entre si (Figura 16). O tratamento 3, terreiro, se diferencia dos demais tratamentos, evidenciando que não houve consumo de frutose durante a fermentação.

**Figura 16:** Médias para o teor de frutose para os diferentes tempos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Tratamentos: 1: tempo 0, 2: 264h; 3: seco.



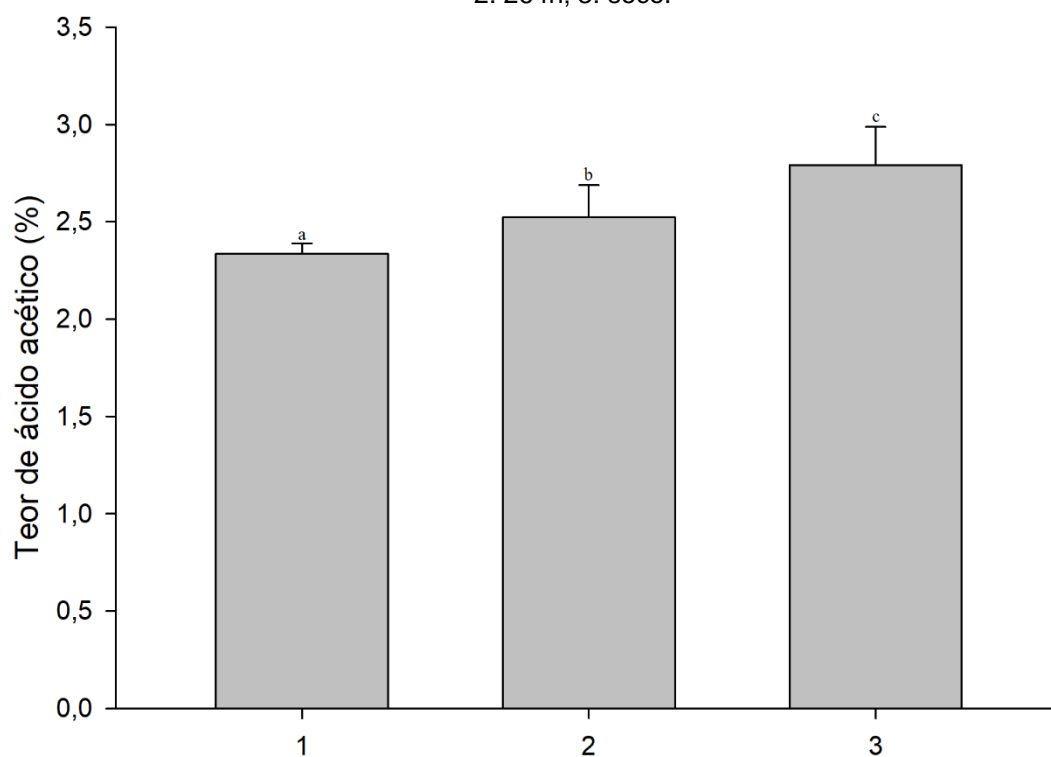
Todos os tratamentos (SIAF CP, SIAF MG, SIAF CM, SIAF Controle e Terreiro) não se diferenciam entre si quanto ao teor de ácido acético (Figura 17). Não há influência do biorreator e inóculo utilizado sob o percentual de ácido acético nas amostras de café.

**Figura 17:** Médias para o teor de ácido acético para os diferentes tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Tratamentos: 1: SIAF CP; 2: SIAF MG; 3: SIAF CM; 4: SIAF controle; 5: Terreiro



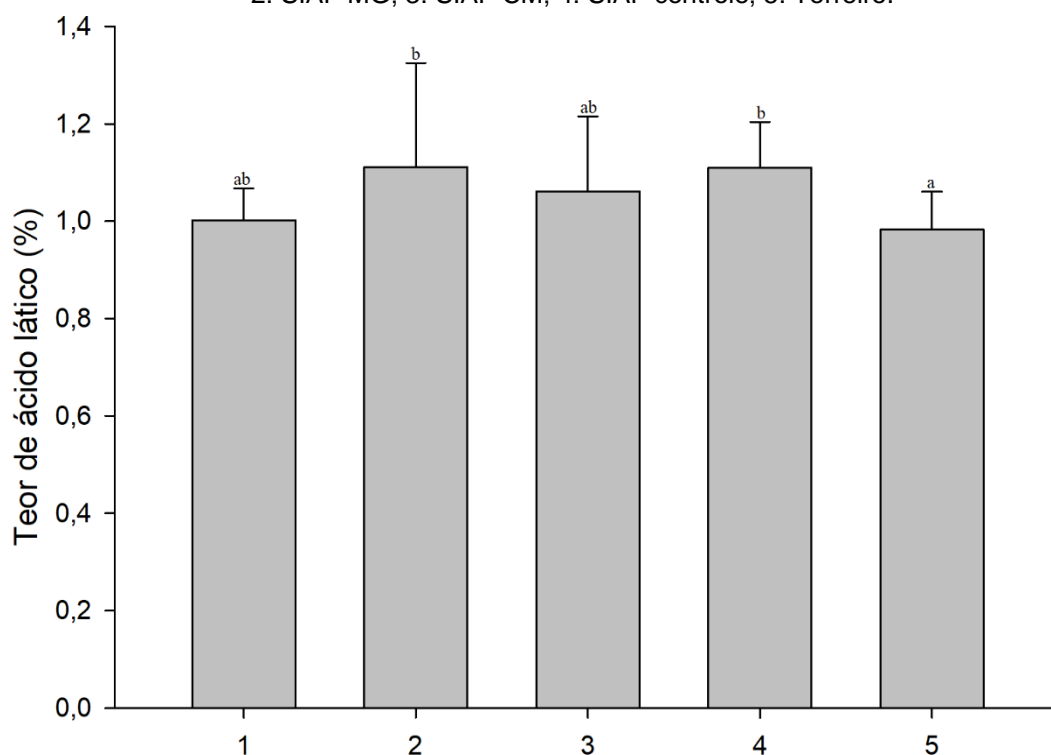
O tempo de fermentação influencia no percentual de ácido acético das amostras de café (Figura 18), uma vez que amostras coletadas no tempo 0, tempo 264 e amostra de café seco diferem entre si, quanto ao teor desse composto.

**Figura 18:** Médias para o teor de ácido acético para os diferentes tempos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Tratamentos: 1: tempo 0, 2: 264h; 3: seco.



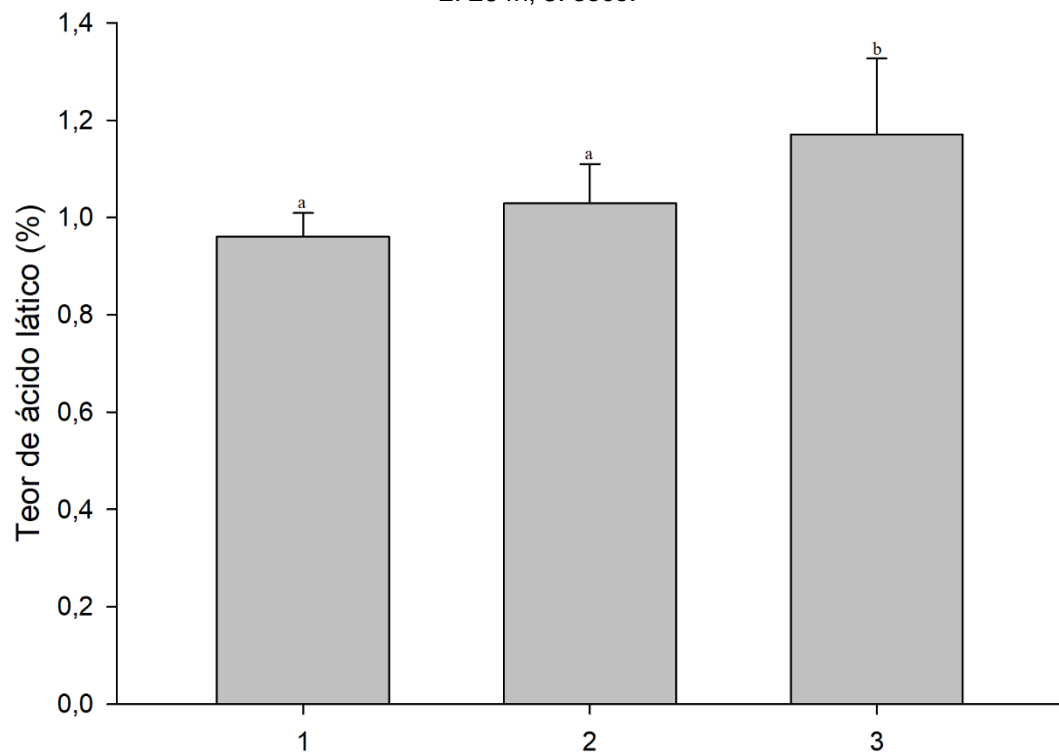
Em relação ao teor do ácido láctico, os tratamentos SIAF MG e SIAF controle não diferem entre si (Figura 19). Os tratamentos SIAF CP e SIAF CM são estatisticamente iguais. O tratamento 5, terreiro, não se difere dos tratamentos 1 e 3.

**Figura 19:** Médias para o teor de ácido láctico para os diferentes tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Tratamentos: 1: SIAF CP; 2: SIAF MG; 3: SIAF CM; 4: SIAF controle; 5: Terreiro.



Os tratamentos 1 e 2 (tempo 0 e tempo 264h) não diferem entre si, evidenciando que neste trabalho, o tempo de fermentação não influenciou o teor de ácido láctico nas amostras (Figura 20). O tratamento 3, café seco, se difere dos demais tratamentos, evidenciando que os cafés secos, do presente estudo, contêm maiores percentuais deste ácido.

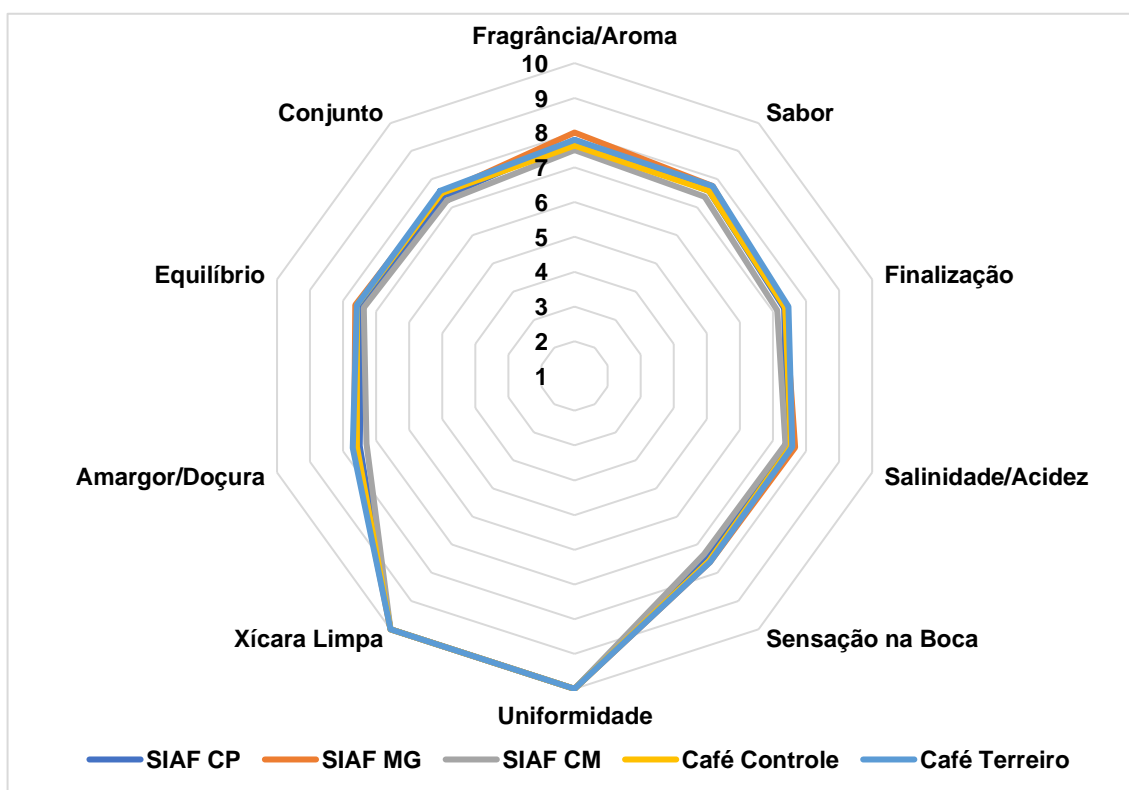
**Figura 20:** Médias para o teor de ácido láctico para os diferentes tempos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Tratamentos: 1: tempo 0, 2: 264h; 3: seco.



### 3.6 Análise Sensorial

Para o atributo fragrância, o tratamento SIAF MG teve escore superior aos demais tratamentos. No que diz respeito aos demais atributos, os 5 tratamentos tiveram escores semelhantes (Figura 21). Todos os tratamentos apresentaram escores máximo para os atributos Xícara Limpa e Uniformidade.

**Figura 21:** Notas sensoriais atribuídas por provadores treinados para os tratamentos de café conilon.



Os atributos sensoriais são avaliados em uma escala de 0 a 10, onde 0 representa a ausência do atributo e 10 representa a intensidade máxima. SIAF CM esteve mais próximo do tratamento SIAF CP do que do tratamento SIAF MG. SIAF MG foi o tratamento com maior pontuação final entre todos os 5 tratamentos.

A Tabela 3 apresenta a pontuação, bem como a classificação e descritores sensoriais das amostras SIAF-CP, SIAF-MG, SIAF CM, Controle SIAF e Terreiro.

Tratamento*	Pontuação	Classificação	Descrito Sensorial
SIAF-CP	79,84 ± 1,13	Prêmio	Frutado, licoroso, ervas finas, especiarias, herbal, finalização, vegetal, áspero e imaturo.

SIAF-MG	81,23 ± 2,90	Fino	Frutas vermelhas, caramelo, baunilha, melaço, frutado, herbal, amendoado, finalização amarga e seca e ervas finas
SIAF-CM	78,64 ± 0,58	Prêmio	Condimentos, especiarias, imaturo, finalização amarga, frutado, amendoado, imaturo, finalização áspera, caramelo, herbal e castanhas
Controle SIAF	80,38 ± 0,88	Fino	Frutado, mel, caramelo, castanhas, chocolate, condimentado, herbal e finalização amarga
Terreiro	81,10 ± 1,65	Fino	Caramelo, especiarias, doce, amendoado, castanhas, frutado, chocolate

**Tabela 3:** Pontuação total, descritores sensoriais e classificação do café conilon dos tratamentos Controle SIAF, SIAF-CP, SIAF-MG, SIAF-CM e Terreiro

\*Média de 3 provadores treinados

Provadores treinados descreveram as amostras do tratamento Controle SIAF com notas frutadas, mel, caramelo, castanhas, dentre outras. O café inoculado com *C. parapsilosis* apresentou notas frutadas, licorosas e especiarias. O tratamento inoculado com *M. guilliermondii* foi descrito com notas de frutas vermelhas, caramelo, baunilha e frutado. O tratamento que recebeu a inoculação das duas leveduras foi descrito como amendoado, imaturo, caramelo, especiarias. O tratamento Terreiro apresentou descritores sensoriais como, especiarias, doce, castanhas e amendoado.

#### 4. DISCUSSÃO

A levedura *C. parapsilosis* esteve presente nas amostras de café mesmo nos tratamentos não inoculados. Ela atingiu sua maior contagem (5,97 log UFC/g) após 264 horas de fermentação no tratamento Terreiro. No tratamento SIAF CP, com a adição da levedura, a maior contagem de *C. parapsilosis* (5,25 log UFC/g) foi após 24hs de processo fermentativo. A levedura desempenha um papel essencial na quebra da pectina presente na mucilagem e polpa do café através da produção de enzimas como pectinases e celulases (TITILAYO ADESULU-DAHUNSI et al., 2020).

A levedura *M. guilliermondii*, também esteve presente em todos os tratamentos, inoculados ou não, atingindo sua maior contagem (7,12 log UFC/g) após 96hs de processo fermentativo no tratamento SIAF MG.

A levedura *C. parapsilosis* não foi favorecida pela fermentação em biorreatores. O tratamento em que essa levedura atingiu maior população foi o Terreiro, mesmo sem ter sido inoculado. Resultados semelhantes foram também observados por Jimenez et al., (2023) em cafés arábica fermentados por SIAF. Por outro lado, *M. guilliermondii* foi favorecida no tratamento em que foi inoculada aumentando 2 ciclos log após 96h de fermentação.

Durante o processo fermentativo, ocorrem interações simbióticas ou sinérgicas entre os microrganismos, que garantem a sua sobrevivência. Essas interações sinérgicas entre as bactérias ácido-lácticas e as leveduras são observadas em diversos produtos fermentados (DA SILVA et al., 2021; TITILAYO ADESULU-DAHUNSI et al., 2020). No presente estudo, a co-inoculação favoreceu o crescimento de *M. guilliermondii* para o tratamento SIAF CM.

Diversos fatores, como componentes biológicos e ambientais, método de processamento e localização geográfica, afetam o desempenho da fermentação e o tempo necessário para que a comunidade microbiana se desenvolva, o que impacta o metabolismo dos compostos primários e sua transformação em compostos secundários que serão percebidos durante a análise sensorial (BATISTA DA MOTA et al., 2022; DE BRUYN et al., 2017). A concentração de sacarose nos tratamentos foi distinta de acordo com o inóculo utilizado, com redução de percentual para o tratamento SIAF MG em relação ao SIAF CP. Nas amostras inoculadas com SIAF CP observou-se um aumento no teor de sacarose, no presente trabalho, indicando que a fermentação não ocorreu de forma satisfatória.

A polpa do café é um substrato rico em nutrientes que proporciona os elementos essenciais para o crescimento microbiano, tais como sacarose, glicose, frutose, ácido cítrico, ácido málico e ácido succínico (BATISTA DA MOTA et al., 2022; SILVA, 2014). A inoculação das leveduras proporcionou uma redução no teor de frutose nos tratamentos SIAF CP e SIAF CM quando comparado ao tratamento Terreiro.

Além disso, as enzimas pectolíticas têm a capacidade de quebrar as cadeias de pectina complexa, liberando açúcares que são utilizados pelos microrganismos (BATISTA DA MOTA et al., 2022; ESQUIVEL e JIMÉNEZ, 2012). O tratamento SIAF CM proporcionou uma redução significativa do teor de glicose quando comparado ao tratamento Terreiro.

Para nenhum açúcar quantificado (glicose, frutose e sacarose) houve redução significativa entre o início (tempo zero) e final da fermentação evidenciando que a fermentação não ocorreu de forma satisfatória. Por outro lado, quando comparamos a concentração dos açúcares no final da fermentação e no final da secagem, houve aumento significativo da sacarose e redução de glicose e frutose, podendo ter ocorrido um processo fermentativo durante a secagem e aumento da sacarose pela redução de umidade dos frutos.

A baixa contagem do inóculo (6 log UFC/mL) resultou numa baixa concentração inicial das leveduras no café (entre 4 e 5 log UFC/g) o que associado às baixas temperaturas nos 11 dias de fermentação do café pode ter contribuído para que a fermentação não se desenvolvesse de forma tão satisfatória.

A síntese do ácido láctico pode ser conduzida por bactérias homofermentativas, que produzem o ácido láctico como produto principal através da ação de enzimas aldolases, ou por bactérias heterofermentativas, que podem converter pentoses em ácido láctico e subprodutos adicionais, como ácido acético, por meio da fosfocetolase (BATISTA DA MOTA et al., 2022; ABDEL-RAHMAN et al., 2013; EITEMAN & RAMALINGAM, 2015). A presença deste ácido foi detectada em todos os tratamentos, com maior concentração no tratamento SIAF MG quando comparado ao Terreiro. Bravim et al., (2023) observaram aumento significativo na concentração de ácido láctico em café conilon processado por via úmida e inoculado com *M. guilliermondii* após 48h de fermentação. Neste estudo, não foi observada diferença na concentração de ácido láctico, entre o início e final da fermentação. Esse resultado pode ser explicado pelo baixo consumo de açúcares durante a fermentação, não levando a um aumento significativo na concentração de ácido láctico nos tratamentos. Já a diferença no teor de ácido láctico entre o final da fermentação e final da secagem é devido a redução do teor de água durante a secagem.

As bactérias do ácido láctico têm como principal produto, o ácido láctico. São membros de um conjunto variado denominado Grupo de Bactérias do Ácido Láctico (LAB), que exhibe espécies distintas. Além da produção predominante de ácido láctico, determinadas espécies também sintetizam etanol, CO<sub>2</sub> e ácido acético (DA SILVA et al., 2021; MORENO, 2012). No presente estudo, identificou-se a presença de ácido acético em altas concentrações em todos os tratamentos (SIAF CP, SIAF MG, SIAF

CM, CONTROLE SIAF e Terreiro). O ácido acético proporciona aroma de frutas, acidez e sabor suave nas bebidas de café (BRESSANI et al., 2018, FARAH, 2019).

O composto 2-heptanol, que apresenta notas herbáceas que lembram limão, frutas verdes e um sabor ligeiramente amargo, esteve presente em quantidades significativas ao longo de todo o período de fermentação, em todas as amostras. Porém, houve aumento na proporção do composto, entre o tempo zero e final da fermentação, apenas para os tratamentos SIAF-CP, SIAF-MG e terreiro. Este composto pode ter sido detectado na análise dos provadores treinados, que descreveram algumas amostras com notas semelhantes ao do 2-heptanol (Tabela 3). Nas amostras do controle SIAF e SIAF CM, a concentração do composto praticamente não se alterou entre o início e final da fermentação. Esses resultados indicam que a utilização das leveduras, isoladamente, contribuiu para um aumento na proporção desse composto. Resultados semelhantes também foram identificados por Lee et al., 2016 que utilizaram *Rhizopus oligosporus* em café verde da variedade Toraja (Utara).

Durante a análise das amostras, foi constatada a presença do composto salicilato de metila em todas as amostras. Esse composto é amplamente reconhecido por sua importância na qualidade dos chás, uma vez que é responsável pelo aroma e sabor de menta (GUO et al., 2021). Sua formação ocorre por meio da hidrólise de glicosídeos encontrados em chás verdes e oolong. É interessante observar que a presença do composto nas amostras ocorreu de maneira natural, e as leveduras quando utilizadas isoladamente promoveram a redução do composto, durante o processo de fermentação (WANG et al., 2011; WANG e RUAN, 2009).

A utilização do método SIAF resulta em uma rápida transformação dos frutos de café, conferindo-lhes um sabor distinto. Durante esse processo, os frutos de café abrigam uma diversidade de microrganismos, incluindo bactérias ácido lácticas, bactérias ácido acéticas, enterobactérias e leveduras, que interagem entre si durante a fermentação. O metabolismo endógeno dos grãos contribui para o desenvolvimento de um perfil específico de precursores de sabor nos grãos de café verde (VÁRÁDY et al., 2022; ZHANG, DE BRUYN, et al., 2019). A presença do acetado de octila, durante a fermentação, resultou na presença de um odor de frutas mais maduras nas amostras. Conforme indicado na Tabela 1, os níveis de acetado de octila foram encontrados em maiores percentuais nos 2 tratamentos inoculados em relação ao

controle e terreiro. Essa presença pode ser atribuída à presença de interações sinérgicas dos microrganismos durante o processo fermentativo.

De acordo com algumas perspectivas, é sugerido que as plantas desenvolvem mecanismos de defesa em resposta a agressores presentes na natureza. No caso do café e seus frutos, eles são expostos a uma variedade de microrganismos, como mencionado anteriormente neste estudo. De acordo com Pinto-Zevallos (2013), o salicilato de etila atua em conjunto com uma série de compostos na defesa das plantas. Em todas as amostras analisadas, foi constatada a presença desse composto, fato curioso é o aumento deste componente no tratamento SIAF CP T264h. No entanto, não foi possível determinar se a presença do inóculo utilizado como cultura iniciadora influenciou o aumento desse composto nas amostras ao longo da fermentação. É importante destacar que a presença do éster etílico do ácido salicílico, em todas as amostras, reforça o papel desse composto na resposta de defesa das plantas de café. Estudos futuros são necessários para investigar mais a fundo os mecanismos envolvidos na produção desse composto durante o processo de fermentação e sua relação com o desenvolvimento sensorial do café.

O processamento desempenha um papel crucial na geração de compostos voláteis. No caso dos cafés testados e pelos resultados apresentados na Tabela 2, constatou-se que o 2-Furanometanol, também conhecido como Álcool furfurílico foi um dos compostos mais prevalentes, independente da levedura que foi inoculada, o que está em conformidade com outros trabalhos da literatura (VÁRADY et al., 2022; BRAIM et al., 2023). Também foram identificados outros compostos voláteis relevantes, incluindo o Furfural, que confere notas de doçura, madeira e amêndoa às amostras. A contribuição desses compostos chave para o aroma do café tem sido amplamente documentada em estudos anteriores (AMANPOUR e SELLI, 2016; CAPORASO et al., 2018; GUO et al., 2021; PICCINO et al., 2014).

Dentre as subclasses fenólicas, foi observada a presença significativa de 2-metoxi-4-vinilfenol nas amostras de café. Esses compostos desempenham um papel importante como voláteis no aroma do café, sendo formados a partir da quebra dos ácidos clorogênicos durante o processo de torra. Eles conferem ao café um aroma característico de especiarias e semelhante ao cravo. Dentre as subclasses de cetonas, foi observada a presença de maltol em todas as amostras, com percentuais ligeiramente maiores para o tratamento SIAF MG. Este composto dá notas de doce e

caramelo aos cafés (BRAVIM, et al., 2023; AMANPOUR e SELLI, 2016; PICCINO et al., 2014).

Além dos compostos citados, foram identificados, nas amostras analisadas, compostos heterocíclicos contendo nitrogênio, como piridinas, pirazinas e pirróis. Diversos estudos também relataram a presença de altas concentrações desses compostos no café (LOPES et al., 2021; MOON & SHIBAMOTO, 2009; PICCINO et al., 2014). Esses compostos são responsáveis por conferir notas de torrefação característica em alimentos e bebidas submetidos a tratamento térmico (MOON & SHIBAMOTO, 2009). Por exemplo, as pirazinas desempenham um papel significativo no aroma de diversos alimentos naturais e assados, além de possuírem importância biológica e farmacológica notáveis. As piridinas contribuem para um agradável aroma de café queimado ou defumado, enquanto os pirróis adicionam notas de sabor amanteigado com nuances de caramelo (CÓRDOBA et al., 2021). No presente estudo, o processo de torrefação aplicado resultou no desenvolvimento e aumento da concentração dos compostos da família das pirazinas em todos os tratamentos (AMANPOUR & SELLI, 2016).

Estudos anteriores, como os realizados por García et al. (2008) e Rabelo (2019), têm destacado as diversas aplicações e propriedades da Triacetina em diferentes setores industriais, como o uso do composto como agente biocida em diversas áreas de cultivo agrícola, no entanto, a associação desse composto com o processo de fermentação do café ainda carece de uma investigação aprofundada. Sua propriedade biocida pode impactar fortemente no processo de fermentação, visto que um agente biocida pode comprometer a multiplicação de microrganismos desejáveis durante o processamento. A fermentação é um processo intrincado que envolve a ação de diferentes microrganismos e é vital para a formação de características sensoriais e químicas únicas no café (SILVA et al., 2013; ELHALIS et al., 2021; HADJ SALEM et al., 2020; WANG et al., 2019, 2020).

Neste sentido, os compostos 5-metil-2-Furancarboxaldeído, 2-etil-6-metil pirazina (nozes, cacau, chocolate), furfural (doce e queimado), dihidro-2-metil-3(2H) - furanona (doce, nozes, café torrado), 2,3-dimetil pirazina (nozes, chocolate) tiveram mais influência para o tratamento terreiro, sendo este classificado como um café fino com 81,10 pontos na análise sensorial. (Figura 10). Os tratamentos SIAF MG e SIAF CM, foram classificados respectivamente com notas de 81,23 (fino) e 78,64 (prêmio),

e os compostos voláteis que mais tiveram influência foram triacetina (doce, cremoso), 2-metoxifenol (doce), 1-metil-1H-Pirrole-2-carboxaldeído (clorofórmio), 4-etil-2-metoxifenol (doce e caramelo) (Figura 10). A composição volátil que mais influenciou o tratamento SIAF MG em relação ao SIAF CM foram 1-(acetiloxi)-2-Propanona (frutado, nozes), etil-pirazina (chocolate, nozes), 3,5-dietil-2-metil-pirazina (nozes, cacau, torrado e chocolate), maltol (doce e caramelo) e 1-Hidroxi-2-butanona (doce e floral) (Figura 10).

A avaliação sensorial é um dos principais parâmetros utilizados para a análise da qualidade do café, seguindo a metodologia estabelecida pela Sociedade de Cafés Especiais (SCA). Diversos fatores, como o processo de torrefação, a presença de compostos voláteis, o uso de microrganismos e fatores ambientais, estão relacionados ao sabor final da bebida (DE BRUYN et al., 2017; ESQUIVEL E JIMÉNEZ, 2012; SILVA, 2014). Os tratamentos CONTROLE-SIAF, SIAF-MG e Terreiro, foram classificados como cafés especiais, porém os descritores sensoriais levantados pelos provadores na prova da xícara mostram que o tratamento SIAF-MG proporcionou uma bebida com maior complexidade sensorial. Os descritores sensoriais frutas vermelhas, baunilha e melão foram encontrados apenas no tratamento SIAF-MG e podem ser relacionados aos compostos voláteis maltol, 2-heptanona, 2 furanometanol e 1H-Pirrol, 1-(2-furanilmetil)-, encontrados nesse tratamento. Em todos os tratamentos foi encontrado o descritor sensorial herbal, que pode estar relacionado à presença do composto 2-Nonanal.

## 5. CONCLUSÃO

Os tratamentos SIAF MG, SIAF Controle e Terreiro obtiveram as melhores pontuações finais sendo classificados como especiais. No entanto, apenas o tratamento SIAF MG apresentou notas de frutas vermelhas, melão e baunilha, valorizando-o frente aos demais. Apesar do consumo de açúcares e a produção de ácidos orgânicos não terem ocorrido de forma satisfatória durante a fermentação ainda assim a inoculação da levedura *M. guilliermondii* resultou num café diferenciado, portanto adição de *M. guilliermondii* durante a fermentação foi benéfica na obtenção de uma bebida com perfil sensorial mais complexo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FONSECA, A. et al. Café conilon: do plantio a colheita. Viçosa, Universidade **Federal de Viçosa**, p. 70-88, 2015.

ABDEL-RAHMAN, M. A. et al. Recent advances in lactic acid production by microbial fermentation processes. **Biotechnology advances**, v. 31, n. 6, p. 877–902, 2013.

ABRAHÃO, S.A. et al, Compostos bioativos e atividade antioxidante do café (CoffeearábicaL.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 414-420, mar./abr., 2010.

ABRAHÃO, S.A. et al. Atividade antioxidante in vitro e in vivo de café bebida mole. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 1, p.127-133, jan. 2012.

ABRAHÃO, S.A. et al. Compostos bioativos em café integral e descafeinado e qualidade sensorial da bebida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.12, 2008.

ADESULU-DAHUNSI, A. T. et al. Synergistic microbial interactions between lactic acid bacteria and yeasts during production of Nigerian indigenous fermented foods and beverages. **Food control**, v. 110, n. 106963, p. 106963, 2020.

AMANPOUR, A.; SELLI, S. Differentiation of volatile profiles and odor activity values of Turkish coffee and french press coffee: Turkish coffee and french press coffee volatiles. **Journal of food processing and preservation**, v. 40, n. 5, p. 1116–1124, 2016.

ANGUMEENAL, A. R.; VENKAPPAYYA, D. An overview of citric acid production. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, v. 50, n. 2, p. 367–370, 2013.

BATISTA DA MOTA, M. C. et al. Impact of microbial self-induced anaerobiosis fermentation (SIAF) on coffee quality. **Food bioscience**, v. 47, n. 101640, p. 101640, 2022.

BATISTA, N. N. et al. *Pichia kluyveri* e *Hanseniaspora uvarum* durante fermentações espontâneas e inoculadas de cacau e seu efeito sobre características sensoriais de chocolate. **LWT - Food Sci. Technol (Lebensmittel-Wissenschaft -Technol)**, v. 63, p. 221–227, 2015.

BORTOLI, V., & WIRTH, R. (2022). Câmara de fermentação e método para fermentar fruto de café (**Patente nº BR 11 2022 003423 7 A2**). 24/05/2022.

BRAND-WILLIAMS, W. et al. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995.

BRESSANI, A. P. P. et al. Characteristics of fermented coffee inoculated with yeast starter cultures using different inoculation methods. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, v. 92, p. 212–219, 2018.

BRESSANI, A. P. P. et al. Characterization of bioactive, chemical, and sensory compounds from fermented coffees with different yeasts species. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 150, n. Pt A, p. 110755, 2021.

BRESSANI, A. P. P. et al. Co-inoculation of yeasts starters: A strategy to improve quality of low altitude Arabica coffee. **Food chemistry**, v. 361, n. 130133, p. 130133, 2021b.

BRESSANI, A. P. P. et al. Organic acids produced during fermentation and sensory perception in specialty coffee using yeast starter culture. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 128, n. 108773, p. 108773, 2020.

BRIOSCHI JUNIOR, D. et al. Microbial fermentation affects sensorial, chemical, and microbial profile of coffee under carbonic maceration. **Food chemistry**, v. 342, n. 128296, p. 128296, 2021.

CAPORASO, N. et al. Variability of single bean coffee volatile compounds of Arabica and robusta roasted coffees analysed by SPME-GC-MS. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 108, p. 628–640, 2018.

CARDOSO, Wilton Soares et al. Biochemical aspects of coffee fermentation. **Quality Determinants In Coffee Production**, p. 149-208, 2021.

CHAKRABORTY, S. et al. Comprehensive profiling of aroma imparting biomolecules in foliar extract of Hibiscus fragrans Roxburgh: a metabologenesis perspective. **Journal of biomolecular structure & dynamics**, v. 40, n. 20, p. 10345–10358, 2022.

CHEN, M. et al. Absolute quantitative volatile measurement from fresh tea leaves and the derived teas revealed contributions of postharvest synthesis of endogenous volatiles for the aroma quality of made teas. **Applied sciences (Basel, Switzerland)**, v. 11, n. 2, p. 613, 2021.

CLAY.D. et al. "Determinants of Farmer Investment in Coffee Production: Finding a Path to Sustainable Growth in Rwanda's Coffee Sector." AGLC Research Paper #1. **Food Security Policy Innovation Lab**. 2016.

CÓRDOBA, N. et al. Chemical and sensory evaluation of cold brew coffees using different roasting profiles and brewing methods. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 141, n. 110141, p. 110141, 2021.

DA MOTA, M. C. B. et al. Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 136, n. 109482, p. 109482, 2020.

DA SILVA, B. L. et al. Fermentation of *Coffea canephora* inoculated with yeasts: Microbiological, chemical, and sensory characteristics. **Food Microbiology**, v. 98, 1 set. 2021. Acesso em: 14 jul. 2021.

DAGLIA, M.; PAPETTI, A.; GREGOTTI, C.; BERTÈ, F.; GAZZANI, G. In vitro antioxidant and ex vivo protective activities of green and roasted coffee. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v. 48, p. 1449-1454, 2000.

DE BRUYN, F. et al. Exploring the impacts of postharvest processing on the Microbiota and metabolite profiles during green coffee bean production. **Applied and environmental microbiology**, v. 83, n. 1, p. AEM.02398-16, 2017.

DE CARVALHO NETO, D. P. et al. Efficient coffee beans mucilage layer removal using lactic acid fermentation in a stirred-tank bioreactor: Kinetic, metabolic and sensorial studies. **Food bioscience**, v. 26, p. 80–87, 2018.

DE MELO PEREIRA, G. V. et al. Conducting starter culture-controlled fermentations of coffee beans during on-farm wet processing: Growth, metabolic analyses and sensorial effects. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 75, p. 348–356, 2015.

DE MELO PEREIRA, G. V. et al. Isolation, selection and evaluation of yeasts for use in fermentation of coffee beans by the wet process. **International journal of food microbiology**, v. 188, p. 60–66, 2014.

DE MELO PEREIRA, G. V. et al. Lactic acid bacteria: what coffee industry should know? **Current opinion in food science**, v. 31, p. 1–8, 2020.

DUARTE-ALMEIDA, J. M. et al. Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema b-caroteno/ácido linoléico e método de sequestro de radicais DPPH. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 446-452, 2006.

EITEMAN, M. A.; RAMALINGAM, S. Microbial production of lactic acid. **Biotechnology letters**, v. 37, n. 5, p. 955–972, 2015.

ELHALIS, H. et al. Microbiological and biochemical performances of six yeast species as potential starter cultures for wet fermentation of coffee beans. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, v. 137, n. 110430, p. 110430, 2021.

ELHALIS, H. et al. The crucial role of yeasts in the wet fermentation of coffee beans and quality. **International journal of food microbiology**, v. 333, n. 108796, p. 108796, 2020.

ERÖZ POYRAZ, İ. et al. Volatile compounds of *Coffea arabica* L. green and roasted beans. **ANADOLU UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY –C Life Sciences and Biotechnology**, v. 5, n. 1, 2016.

ESQUIVEL, P.; JIMÉNEZ, V. M. Functional properties of coffee and coffee by-products. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 46, n. 2, p. 488–495, 2012.

EVANGELISTA, S. R. et al. Improvement of coffee beverage quality by using selected yeasts strains during the fermentation in dry process. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 61, p. 183–195, 2014.

EVANGELISTA, S. R. et al. Inoculation of *starter* cultures in a semi-dry coffee (*Coffea arabica*) fermentation process. **Food Microbiology**, [s. l.], v. 44, p. 87–95, 2014a.

EVANGELISTA, S. R. et al. Microbiological diversity associated with the spontaneous wet method of coffee fermentation. **International journal of food microbiology**, v. 210, p. 102–112, 2015.

FARAH, A. (ED.). **Coffee: Production, quality and chemistry**. Cambridge, England: Royal Society of Chemistry, 2019.

GARCÍA, E. et al. New class of acetal derived from glycerin as a biodiesel fuel component. **Energy Fuels**, v. 22, p. 4274-4280, 2008.

GONZALEZ-RIOS, O. et al. Impact of “ecological” post-harvest processing on the volatile fraction of coffee beans: I. Green coffee. **Journal of food composition and analysis: an official publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems**, v. 20, n. 3–4, p. 289–296, 2007.

GUO, X. et al. Changes of volatile compounds and odor profiles in Wuyi rock tea during processing. **Food chemistry**, v. 341, n. Pt 1, p. 128230, 2021.

HADJ SALEM, F. et al. Transfer kinetics of labeled aroma compounds from liquid media into coffee beans during simulated wet processing conditions. **Food chemistry**, v. 322, n. 126779, p. 126779, 2020.

HAYS, C. et al. Rapid and accurate identification of species belonging to the *Candida parapsilosis* complex by real-time PCR and melting curve analysis. **Journal of medical microbiology**, v. 60, n. 4, p. 477–480, 2011.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 53, n. 6, p. 1841-1856, 2005.

HUCH, M. et al. Coffee: fermentation and microbiota. In: **Advances in fermented foods and beverages**. Woodhead Publishing, 2015. p. 501-513.

Instituto Adolfo Lutz; Normas analíticas, métodos físicos e químicos para análise de alimentos, **3a ed.**, São Paulo, 1985, vol. 1.

ISMAIL, B. B. et al. Potential valorisation of baobab (*Adansonia digitata*) seeds as a coffee substitute: Insights and comparisons on the effect of roasting on quality, sensory profiles, and characterisation of volatile aroma compounds by HS-SPME/GC-MS. **Food chemistry**, v. 394, n. 133475, p. 133475, 2022.

JANNE CARVALHO FERREIRA, L. et al. Coffee fermentation process: A review. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 169, n. 112793, p. 112793, 2023.

JIMENEZ, E. J. M. et al. Influence of anaerobic fermentation and yeast inoculation on the viability, chemical composition, and quality of coffee. **Food bioscience**, v. 51, n. 102218, p. 102218, 2023.

KANG, S. et al. Identification and quantification of key odorants in the world's four most famous black teas. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 121, p. 73–83, 2019.

LEE, L. W. et al. Coffee fermentation and flavor--An intricate and delicate relationship. **Food chemistry**, v. 185, p. 182–191, 2015.

LEE, L. W. et al. Modulation of coffee aroma via the fermentation of green coffee beans with *Rhizopus oligosporus*: I. Green coffee. **Food chemistry**, v. 211, p. 916–924, 2016.

LI, Q. et al. Characterization of the key aroma compounds and microorganisms during the manufacturing process of Fu brick tea. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, v. 127, n. 109355, p. 109355, 2020.

LONDOÑO, J., NARANJO, M., QUINTERO, M. M. Estudio de los cambios de la actividad antioxidante en bebidas de café durante su periodo de vida útil usando métodos in-vitro y ex-vivo. **Vitae**, v. 20, n. 2, 2013

LOPES, G. R. et al. Carbohydrates as targeting compounds to produce infusions resembling espresso coffee brews using quality by design approach. **Food chemistry**, v. 344, n. 128613, p. 128613, 2021.

MALTA, M. R. et al. Avaliação de compostos não-voláteis em diferentes cultivares de cafeeiro produzidas na região Sul de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 57-61, 2009.

MARTINEZ, S. J. et al. Novel stainless steel tanks enhances coffee fermentation quality. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 139, n. 109921, p. 109921, 2021.

MARTINS, P. M. M. et al. Coffee growing altitude influences the microbiota, chemical compounds and the quality of fermented coffees. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 129, n. 108872, p. 108872, 2020.

MARTINS, P. M. M. et al. Production of coffee (*Coffea arabica*) inoculated with yeasts: impact on quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 99: 5638-5645. 2019.

MASOUD, W. et al. Influence of volatile compounds produced by yeasts predominant during processing of *Coffea arabica* in East Africa on growth and ochratoxin A (OTA) production by *Aspergillus ochraceus*. **Yeast (Chichester, England)**, v. 22, n. 14, p. 1133–1142, 2005.

MEI, S. et al. Identification of differential volatile and non-volatile compounds in coffee leaves prepared from different tea processing steps using HS-SPME/GC-MS and HPLC-Orbitrap-MS/MS and investigation of the binding mechanism of key phytochemicals with olfactory and taste receptors using molecular docking. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 168, n. 112760, p. 112760, 2023.

MOON, J.-K.; SHIBAMOTO, T. Role of roasting conditions in the profile of volatile flavor chemicals formed from coffee beans. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 57, n. 13, p. 5823–5831, 2009.

MORAIS, J. A. DE et al. Beverage quality of *Coffea canephora* genotypes in the western Amazon, Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 43, p. e52095, 2021.

MORAIS, M. L. et al. Determinação do potencial antioxidante in vitro de frutos do cerrado Brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 355–360, 2013.

MOREIRA, R. F. A. et al. Componentes voláteis do café torrado. Parte II. Compostos alifáticos, alicíclicos e aromáticos. **Química nova**, v. 23, n. 2, p. 195–203, 2000.

MOREIRA, R. F. A. et al. Componentes voláteis do café torrado. Parte II. Compostos alifáticos, alicíclicos e aromáticos. **Química nova**, v. 23, p. 195-203, 2000.

NICOLI, M. C. et al. Antioxidant properties of coffee brews in relation to the roasting degree. *Lebensmittel – Wissenschaft und Technologie*, London, v. 30, n. 2, p. 292-297, 1997

OU, B. et al. Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 50, n. 11, p. 3122-3128, 2002.

OUDE ELFERINK et al. Anaerobic conversion of lactic acid to acetic acid and 1, 2-propanediol by *Lactobacillus buchneri*. *Applied and Environmental microbiology*, v. 67, n. 1, p. 125-132, 2001.

PALINI, C. R. et al. Disposição construtiva em cilindro rotativo para fermentação controlada de cafés cereja ou correlatos (**Patente nº. BR 202021015732-7 Y1**).

PEREIRA, T. S. et al. Self-induced anaerobiosis coffee fermentation: Impact on microbial communities, chemical composition and sensory quality of coffee. *Food microbiology*, v. 103, n. 103962, p. 103962, 2022.

PICCINO, S. et al. Aromatic composition and potent odorants of the “specialty coffee” brew “Bourbon Pointu” correlated to its three trade classifications. *Food research international (Ottawa, Ont.)*, v. 61, p. 264–271, 2014.

PINTO-ZEVALLOS, D. M. et al. Compostos orgânicos voláteis na defesa induzida das plantas contra insetos herbívoros. *Química nova*, v. 36, n. 9, p. 1395–1405, 2013.

PROCIDA, G. et al. Characterization of Arabica and Robusta volatile coffees composition by reverse carrier gas headspace gas chromatography-mass spectrometry based on a statistical approach. *Food science and biotechnology*, v. 29, n. 10, p. 1319–1330, 2020.

PUBCHEM. **1-Pentanol**. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6276>>. Acesso em: 13 jun. 2023b.

PUBCHEM. **2-Heptanone**. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8051>>. Acesso em: 13 jun. 2023.

PUBCHEM. **2-Octanol**. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/20083>>. Acesso em: 13 jun. 2023d.

PUBCHEM. **4-Ethyl-2-methoxyphenol**. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/62465>>. Acesso em: 27 sep. 2023b.

PUBCHEM. **Ethyl benzoate.** Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7165>>. Acesso em: 13 jun. 2023e.

PUBCHEM. **Ethyl palmitate.** Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ethyl-palmitate>>. Acesso em: 14 jun. 2023f.

PUBCHEM. **Guaiacol.** Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/460>>. Acesso em: 27 sep. 2023.

PUBCHEM. **Hexanal.** Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6184>>. Acesso em: 13 jun. 2023c.

PUBCHEM. **Salicylic Acid.** Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/338>>. Acesso em: 14 jun. 2023g.

REBELO, R.; SILVA, C. Obtenção de triacetina a partir do glicerol. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 17446–17459, 2019.

RIBEIRO, L. S. et al. Behavior of yeast inoculated during semi-dry coffee fermentation and the effect on chemical and sensorial properties of the final beverage. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 92, p. 26–32, 2017b.

RIBEIRO, L. S. et al. Controlled fermentation of semi-dry coffee (*Coffea arabica*) using starter cultures: A sensory perspective. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, v. 82, p. 32–38, 2017.

RODRIGUES, A. et al. Avaliação De Fenólicos Totais E Capacidade Antioxidante Da Bebida De Cafés De Uma Microrregião Da Zona Da Mata De Minas Gerais. Em: **Open Science Research IV**. [s.l.] Editora Científica Digital, 2022. v. 4p. 398–415.

ROGINSKY, V. et al. Review of methods to determine chain breaking antioxidant activity in food. **FoodChemistry**, v. 92, p. 235-254, 2005.

RONG, Y. et al. Characterization of aroma, sensory and taste properties of Angelica keiskei tea. **European Food Research and Technology**, v. 247, n. 7, p. 1665–1677, 2021.

SCHEIDIG, C. et al. Changes in key odorants of raw coffee beans during storage under defined conditions. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 55, n. 14, p. 5768–5775, 2007.

SILVA, C. F. et al. Evaluation of a potential starter culture for enhance quality of coffee fermentation. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 29, n. 2, p. 235–247, 2013.

SILVA, C. F. et al. Microbial activity during coffee fermentation. **Cocoa and coffee fermentations**, p. 368-423, 2014.

SILVA, C. F. et al. Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of *Coffea arabica* in Brazil. **International journal of food microbiology**, v. 60, n. 2–3, p. 251–260, 2000.

SINGLETON, V. L. et al. Colorimetry of total phenolics with acid reagents. **PHENOLICS DETERMINATION**, p. 144–158, 1965.

SOCCOL, C. R. et al. Processo e equipamento para fermentação controlada de grãos de café e obtenção de bebidas especiais (**Patente nº. BR 10 2016 029488 6 A2**).

SOCCOL, C. R. et al. Processo para produção de cafés especiais através da utilização de culturas láticas durante o processamento pós-colheita (**Patente nº. BR 10 2016 011756 9 B1**).

SOCCOL, C. R. et al. *Cultura iniciadora de leveduras para o processamento de café* (**Patente nº BR 10 2013 029540 0 A2**).

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION et al. Cupping protocols. **Specialty Coffee Association of America, Santa Ana, CA, USA. Available online: <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices> (accessed on 28 February 2020)**, 2003.

STATSOFT, Inc. (2022). STATISTICA (data analysis software system), version 12. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)

SUCUPIRA, N. R. et al. Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. **Journal of Health Sciences**, v. 14, n. 4, p. 263-269, 2012.

TAYLOR, M. A. et al. The effect of carbohydrate sources: Sucrose, invert sugar and components of mānuka honey, on core bacteria in the digestive tract of adult honey bees (*Apis mellifera*). **PloS one**, v. 14, n. 12, p. e0225845, 2019.

TIVERON, A. P. Atividade antioxidante e composição fenólica de legumes e verduras consumidos no Brasil. 2010. 102f. Dissertação (Mestrado) em Ciências. Universidade de São Paulo – **Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, 2010.

VANDENBERGHE, L. P. S. et al. Microbial production of citric acid. **Brazilian archives of biology and technology**, v. 42, n. 3, p. 263–276, 1999.

VANDENBERGHE, L. P. S. et al. Solid-state fermentation for the production of organic acids. Em: **Current Developments in Biotechnology and Bioengineering**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 415–434.

VÁRADY, M. et al. Effect of method of processing specialty coffee beans (natural, washed, honey, fermentation, maceration) on bioactive and volatile compounds. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, v. 172, n. 114245, p. 114245, 2022.

VELÁSQUEZ, S.; BANCHÓN, C. Influence of pre-and post-harvest factors on the organoleptic and physicochemical quality of coffee: a short review. **Journal of food science and technology**, v. 60, n. 10, p. 2526–2538, 2023.

VILELA, D. M. et al. Molecular ecology and polyphasic characterization of the microbiota associated with semi-dry processed coffee (*Coffea arabica* L.). **Food microbiology**, v. 27, n. 8, p. 1128–1135, 2010.

WANG, C. et al. Potential of lactic acid bacteria to modulate coffee volatiles and effect of glucose supplementation: fermentation of green coffee beans and impact of coffee roasting: Potential of lactic acid bacteria to modulate coffee volatiles and effect of glucose supplementation. **Journal of the science of food and agriculture**, v. 99, n. 1, p. 409–420, 2019.

WANG, K. et al. Comparison of catechins and volatile compounds among different types of tea using high performance liquid chromatograph and gas chromatograph mass spectrometer: Catechins and volatile compounds of tea. **International journal of food science & technology**, v. 46, n. 7, p. 1406–1412, 2011.

WANG, K.; RUAN, J. Analysis of chemical components in green tea in relation with perceived quality, a case study with Longjing teas. **International journal of food science & technology**, v. 44, n. 12, p. 2476–2484, 2009.

WANG, X. et al. Review on factors affecting coffee volatiles: from seed to cup. **Journal of the science of food and agriculture**, v. 102, n. 4, p. 1341–1352, 2022.

WANG, X. et al. Real-time PCR assays for the quantification of native yeast DNA in grape berry and fermentation extracts. **Journal of microbiological methods**, v. 168, n. 105794, p. 105794, 2020.

YAN, W. et al. Biotechnological applications of the non-conventional yeast *Meyerozyma guilliermondii*. **Biotechnology advances**, v. 46, n. 107674, p. 107674, 2021.

ZHANG, S. J. et al. Following coffee production from cherries to cup: Microbiological and metabolomic analysis of wet processing of *Coffea arabica*. **Applied and environmental microbiology**, v. 85, n. 6, 2019.

## 4. ARTIGO ORIGINAL

### IMPACTO DO TIPO DE SECAGEM NA COMPOSIÇÃO VOLÁTIL DOS GRÃOS DE CAFÉ CONILON

#### RESUMO

O estado do Espírito Santo é responsável por 68% da produção nacional de café conilon, devido às condições climáticas favoráveis e práticas agrícolas modernas. A qualidade do café está relacionada a diversos fatores, incluindo o processo de secagem, que afeta a qualidade final do produto. O estágio de torra também é crucial, influenciando as características da bebida. Em resumo, a produção de café é um processo complexo que requer atenção a vários aspectos para atender às demandas do mercado. O presente estudo investigou os efeitos dos métodos de secagem na composição volátil e sensorial dos grãos de café. O estudo envolveu a análise de café Conilon cultivado em Muqui, Espírito Santo, processado por diferentes métodos de secagem. Os frutos foram secos ao sol, em secador de bandejas a 35 °C, e em secador movido a lenha de fogo direto a 60 °C, representando o método de processamento tradicional do produtor que cedeu as amostras de café. Os compostos voláteis foram extraídos por microextração em fase sólida acoplada ao headspace (HS-SPME) e analisados por cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de massas (CG-MS). A análise sensorial das diferentes amostras foi realizada conforme o Protocolo de Prova de Robusta Finos. A análise de componentes principais (PCA) foi realizada para os compostos voláteis. O estudo identificou 32 compostos voláteis em amostras de café conilon secas de diferentes maneiras, incluindo álcoois, aldeídos, cetonas, ésteres, fenóis, pirazinas, pirimidinas, pirróis e xantina. O tratamento do secador a 60°C teve escores finais significativamente mais baixos do que os outros tratamentos, enquanto o tratamento do terreiro e do secador a 35 °C tiveram escores finais próximos entre si, com uma variação de apenas 1,14 pontos. A secagem rápida a altas temperaturas afetou negativamente a qualidade sensorial, resultando em notas mais baixas. A secagem lenta em temperaturas controladas abaixo de 40 °C produziu cafés de melhor qualidade. Os compostos voláteis, incluindo pirazinas, influenciaram nas características sensoriais, e a secagem em baixas temperaturas é recomendada para preservar a qualidade do café. Portanto, a escolha do método de secagem é crucial para a qualidade final do produto.

**Palavras-chave:** Café conilon, secagem, compostos voláteis e análise sensorial.

#### 1. INTRODUÇÃO

No Espírito Santo, a introdução da espécie *Coffea canephora* ocorreu aproximadamente em 1912, com o plantio das primeiras sementes no município de Cachoeiro de Itapemirim, seguido pelo estabelecimento da cultura na região norte do Estado. A exploração comercial dessa espécie teve um aumento significativo a partir da década de 1960, inicialmente com o objetivo de utilização em áreas consideradas

inadequadas para o cultivo do café arábica (FONSECA, 1996; CHARRIER; BERTHAUD, 1988).

O estado do Espírito Santo é responsável por 68% da produção nacional de café conilon. Observou-se um aumento significativo na produtividade, atingindo 259,2 mil hectares no ano de 2022. Esse avanço foi possível devido às condições climáticas favoráveis e à adoção de práticas agrícolas mais modernas, como a substituição de lavouras antigas, cultivadas a partir de sementes, por lavouras compostas por clones selecionados e o uso de tecnologia aprimorada. Como resultado dessas melhorias, registrou-se um incremento de 21,1% na produtividade, alcançando uma média de 43,1 sacas por hectare no ano de 2022 (CONAB, 2023).

O sabor e o aroma da bebida de café são fenômenos de natureza complexa, resultantes da presença simultânea de múltiplos constituintes químicos voláteis e não voláteis. Esses constituintes incluem ácidos, aldeídos, cetonas, açúcares, proteínas, aminoácidos, ácidos graxos e compostos fenólicos, além da atividade enzimática que influencia alguns desses constituintes, resultando em produtos de reações químicas que afetam o sabor final da bebida (SARRAZIN et al., 2000).

Na etapa de processamento do café, o tipo de secagem assume uma relevância significativa tanto em termos de consumo energético quanto na sua influência sobre a qualidade final do produto. Durante esse processo, os teores de umidade dos grãos são reduzidos de 60% base úmida para 11,5% base úmida, resultando na eliminação de riscos relacionados à respiração, oxidação, fermentação e ao desenvolvimento de fungos e bactérias (WINTGENS, 2004). No entanto, caso as técnicas de secagem inadequadas sejam utilizadas, alterações físicas, químicas e sensoriais indesejáveis podem comprometer a qualidade do café. Diante dessas questões, busca-se um controle mais rigoroso dos parâmetros de secagem, tais como temperatura do ar de secagem, temperatura da massa de grãos, umidade relativa e fluxo de ar, visando minimizar situações adversas ao produto. A temperatura do ar de secagem, em particular, representa o parâmetro de maior flexibilidade em um sistema de secagem em altas temperaturas, influenciando de forma significativa a taxa e a eficiência da secagem, bem como a qualidade final do produto. Se não for devidamente controlada, essa temperatura pode ocasionar danos físicos, como descoloração dos grãos, quebras e trincas (AFONSO JÚNIOR, 2001; OCTAVIANI, 2000; RIBEIRO, 2003).

O estágio de torra é crucial devido à sua influência sobre as características da bebida, sendo comumente categorizado em torra clara, torra média e torra escura (MELO, 2004). De maneira geral, as várias faixas de temperatura impactam as características dos grãos de café. Entre 50°C e 100°C, ocorre a evaporação da água presente nos grãos e a desnaturação de proteínas. Já entre 100°C e 180°C, ocorre o fenômeno conhecido como acastanhamento dos grãos, resultante da degradação térmica (CLARKE e MACRAE, 1987; CIÊNCIA VIVA, 2020).

Em resumo, a produção de café é um processo complexo que envolve diversas etapas, desde o cultivo até a torrefação dos grãos. A qualidade final da bebida é influenciada por fatores como a variedade de café, as técnicas de processamento pós-colheita, a seleção de grãos, a torrefação e o cuidado com a sustentabilidade. Portanto, é fundamental que os produtores e profissionais da indústria cafeeira compreendam esses aspectos para produzir cafés de alta qualidade e atender às demandas do mercado cada vez mais exigente, neste sentido, o presente estudo investigou os efeitos dos métodos de secagem na composição volátil e sensorial dos grãos de café.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Local de realização do estudo e materiais utilizados**

Os frutos maduros de café Conilon (98%) e (2%) boias ou verdes, variedade Vitória, utilizados nesse estudo, foram cultivados em uma propriedade localizada no município de Muqui, estado do Espírito Santo, Brasil, nas coordenadas geográficas 20° 57 07" S e 41° 20 45" O, a uma altitude de 246 metros. Os terreiros suspensos utilizados foram construídos com madeira de pinus e tela do tipo sombrite, com dimensões de 1 metro de largura e 1 metro de comprimento, proporcionando ventilação adequada dos frutos. Além disso, foram empregados um secador de bandejas com circulação de ar da marca Polidryer, localizado no campus da Universidade Federal do Espírito Santo, em Alegre, e um secador movido a lenha de fogo direto da marca Paline & Alves, modelo PA-SR/24,4, com temperatura máxima de 60°C, localizado na propriedade do produtor.

### **2.2 Secagem**

Após a colheita, os frutos de café foram submetidos a três diferentes métodos de secagem por via seca: (1) em terreiros suspensos expostos ao sol na propriedade do produtor, com temperatura média ambiente de 25 °C e umidade relativa do ar em

70%; (2) em um secador de bandejas localizado no campus da Universidade Federal do Espírito Santo, em Alegre, a uma temperatura de 35°C; e (3) na propriedade do produtor, utilizando-se um secador movido a lenha de fogo direto, com temperaturas entre 50-60°C, representando as condições que o produtor processa o café para a venda. As amostras foram posteriormente coletadas e a secagem durou 312h no terreiro suspenso e 96h no secador a 35 °C. Para o secador a 60 °C, a secagem durou 15h. As amostras foram secas até atingirem um teor de umidade aproximado de 10-11% em base úmida.

### 2.3 Compostos Voláteis

Os compostos voláteis dos grãos de café torrados foram extraídos de acordo com Evangelista et al. (2014), utilizando-se headspace e microextração em fase sólida (HS-SPME, Fiber Assembly 55/30um DVB/CAR/PDMS, Stableflex, 24Ga, Manual Holder, 3pk, Gray). Após extração dos compostos voláteis a análise foi conduzida por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG-MS) equipada com um detector de ionização de chama (FID) e uma coluna de sílica Rtx®-5MS (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm). Para a determinação dos constituintes químicos, os espectros de massas obtidos foram comparados com os da biblioteca do aparelho, com dados de outros trabalhos e com os índices de retenção. Para realizar o cálculo dos índices de retenção (IR), foi injetada no cromatógrafo uma mistura de alcanos lineares (C<sub>8</sub> a C<sub>23</sub>) nas mesmas condições usadas na análise dos referidos voláteis de café (FRANCA et al., 2009; PINHEIRO, 2018).

Os índices de retenção (IR) foram calculados usando a equação 1 (van den Dool; Kratz, 1963).

**Equação 1:** Cálculo do índice de retenção

$$IR = 100 \left[ \frac{n + (t_c - t_n)}{t_{n+1} - t_n} \right] \quad (\text{equação 1})$$

onde:  $t_c$  - tempo de retenção do composto de interesse;  $t_{n+1}$  - tempo de retenção do hidrocarboneto posterior;  $n$  -  $n^o$  de carbonos do hidrocarboneto;  $t_n$  - tempo de retenção do hidrocarboneto anterior.

### 2.4 Análise Sensorial

A análise sensorial do café foi realizada seguindo o Protocolo de Prova de Robusta Finos, com a participação de três provadores certificados, aderindo as diretrizes da Organização Internacional do Café (ICO, 2010). Antes da avaliação, as amostras de café foram submetidas à torrefação, 24 horas antes do procedimento,

com o tempo de torra variando entre 9 a 14 minutos, até que os grãos adquirissem uma coloração média. O processo de torrefação utilizou temperaturas iniciais de 175 °C e finais de 205 °C. Após a torrefação, todas as amostras foram resfriadas adequadamente até atingirem a temperatura ambiente (20 °C) e armazenadas em embalagens herméticas para garantir a sua conservação até a hora da degustação. Para a preparação do café foi feita uma infusão utilizando-se 150 mL de água a 93 °C e 8,75 g de café moído em partículas ligeiramente mais espessas do que o usualmente empregado para o preparo de filtros de papel. Cerca de 70% a 75% das partículas passaram por uma peneira granulométrica de 20 mesh.

Cada amostra de café foi preparada em cinco xícaras distintas. Durante a degustação, os provadores avaliaram diversos atributos sensoriais, tais como: fragrância/aroma, sabor, sabor residual, salinidade/acidez, amargor/doçura, sensação na boca, equilíbrio, uniformidade, copo limpo, impressão geral e ausência de defeitos. A pontuação final dos resultados, dada pelos 3 provadores, variou de 0 a 100, permitindo classificar o café em diferentes categorias de qualidade, conforme os seguintes intervalos: Muito Bom (90-100), Fino (80-90), Premium (70-80), Boa Qualidade Usual (50-70), Comercial (40-50), Classificação Comercializável (<40), Classificação Abaixo da Mínima (<30), Não Classificável (<20) e Escolha (<10).

## **2.5 Delineamento experimental e análise estatística**

Para a análise dos compostos voláteis, empregamos a Análise de Componentes Principais (PCA) em uma matriz de correlação, utilizando-se o software Statistica 12® (STATSOFT, Inc. 2022).

## **3 RESULTADOS**

### **3.1 Compostos Voláteis**

Foram detectados 32 compostos voláteis nas amostras de café conilon processadas por diferentes métodos de secagem (Tabela 1). Desses 32 compostos, 3 são Álcoois, 2 são Aldeídos, 4 são Cetonas, 1 são Ésteres, 3 são Fenóis, 12 são Pirazinas, 3 são Pirimidinas, 3 são Pirróis e 1 é Xantina. O composto 2 Furanometanol esteve presente em todas as amostras, sendo que na amostra do Terreiro a proporção foi maior, em relação aos demais. Furfural esteve em maior percentual relativo para as amostras do Secador a 60°C. 1H-Pirrol-2-carboxaldeído, esteve presente em todas as amostras, com maior proporção para as amostras do Secador a 60 °C. Triacetina

foi encontrada em todas os tratamentos, com maiores percentuais para o tratamento do Terreiro. O composto 2-Metoxi-4-vinilfenol foi encontrado em todos os tratamentos.

<b>Composto</b>	<b>IR</b>	<b>Descritor Sensorial</b>	<b>% Café Secador 60°C</b>	<b>%Café Terreiro</b>	<b>%Café Secador 35°C</b>
<b>Álcoois</b>					
2-Furanometanol	860	Velho, doce, caramelo marrom, pão, café	15,18	16,48	13,25
2-Heptanol	903	Odor herbáceo que lembra limão e frutado, verde, sabor um pouco amargo	0,56	2,1	2,9
Acetato do 2-furanometanol	997	-	1,94	2,53	1,98
<b>Aldeídos</b>					
Furfural	829	Doce, amadeirado, amêndoa	5,63	5,45	4,36
5-metil-2-Furancarboxaldeído	962	-	4,5	4,35	3,6
<b>Cetonas</b>					
1-hidroxi-2-butanona	748	Doce, floral	0,34	0,31	0,24
Dihidro-2-metil-3(2H)-Furanona	805	Café torrado, pão, doce, nozes	1,2	0,95	1,05
1-acetiloxi-2-Propanona	869	-	3,41	3,78	3,01
Maltol	1115	Doce e caramelo	1,57	1,61	1,37
<b>Ésteres</b>					
Triacetina	1360	Doce e cremoso com uma sensação de boca oleosa	12,14	16,36	14,77
<b>Fenóis</b>					
2-metoxifenol	1090	Doce, torrado, fenol e amadeirado	0,52	0,56	0,45
4-etil-2-metoxifenol	1281	Doce, cravo, fenol e especiarias	0,61	0,67	0,57

2-Metoxi-4-vinilfenol	1318	Semelhante a cravo	10,01	11,78	11,09
<b>Pirazinas</b>					
Metilpirazina	818	Nozes, cacau, torrado e chocolate	7,03	5,44	6,15
2,5-dimetil-pirazina	908	Nozes, cacau, torrado e chocolate	3,28	2,25	2,59
2,6-dimetil-pirazina	909	Nozes, cacau, torrado e chocolate	4,88	2,65	3,87
Etilpirazina	912	Nozes, cacau, torrado e chocolate	2,86	2,65	2,59
2-etil-5-metilpirazina	996	Nozes, cacau, torrado e chocolate	1,87	0,87	1,14
2-etil-6-metilpirazina	998	Nozes, cacau, torrado e chocolate	1,71	1,15	1,25
Trimetilpirazina	1000	Nozes, cacau, torrado e chocolate	1,52	0,96	1,11
2-etil-3-metilpirazina	1002	Nozes, cacau, torrado e chocolate	0,96	0,68	0,75
3-etil-2,5-dimetilpirazina	1078	Nozes, cacau, torrado e chocolate	2,94	1,37	1,96
2,3-Dimetil-5-etilpirazina	1086	Nozes, cacau, torrado e chocolate	0,49	0,29	0,32
2-Acetil-3-metilpirazina	1118	Batatas assadas, nozes	1,16	1	0,94
3,5-dietil-2-metilpirazina	1158	Nozes, cacau, torrado e chocolate	0,49	0,31	0,36
<b>Pirimidinas</b>					
1,3-diazina	728	—	0,49	0,52	0,52
Piridina	734	adstringente, assado, queimado	1,48	1,54	1,6
N-acetil-4(H)-Piridina	1021	Amargo, adstringente, assado, queimado	0,7	0,62	0,48

### **Pirróis**

1-metil-1H-Pirrol-2-carboxaldeído	1004	Tem um odor doce e etéreo	0,48	0,46	0,4
2-Acetilpirrol	1069	Clorofórmio	0,59	0,34	0,37
1-(2-Furanilmetil)-1H-pirrol	1184	Vegetal, frutado	0,64	0,6	0,49
<b>Xantinas</b>					
Cafeína	1884		0,19	1,21	0,56

**Tabela 1:** Porcentagem relativa dos compostos voláteis identificados em café conilon torrado submetidos a diferentes formas de secagem.

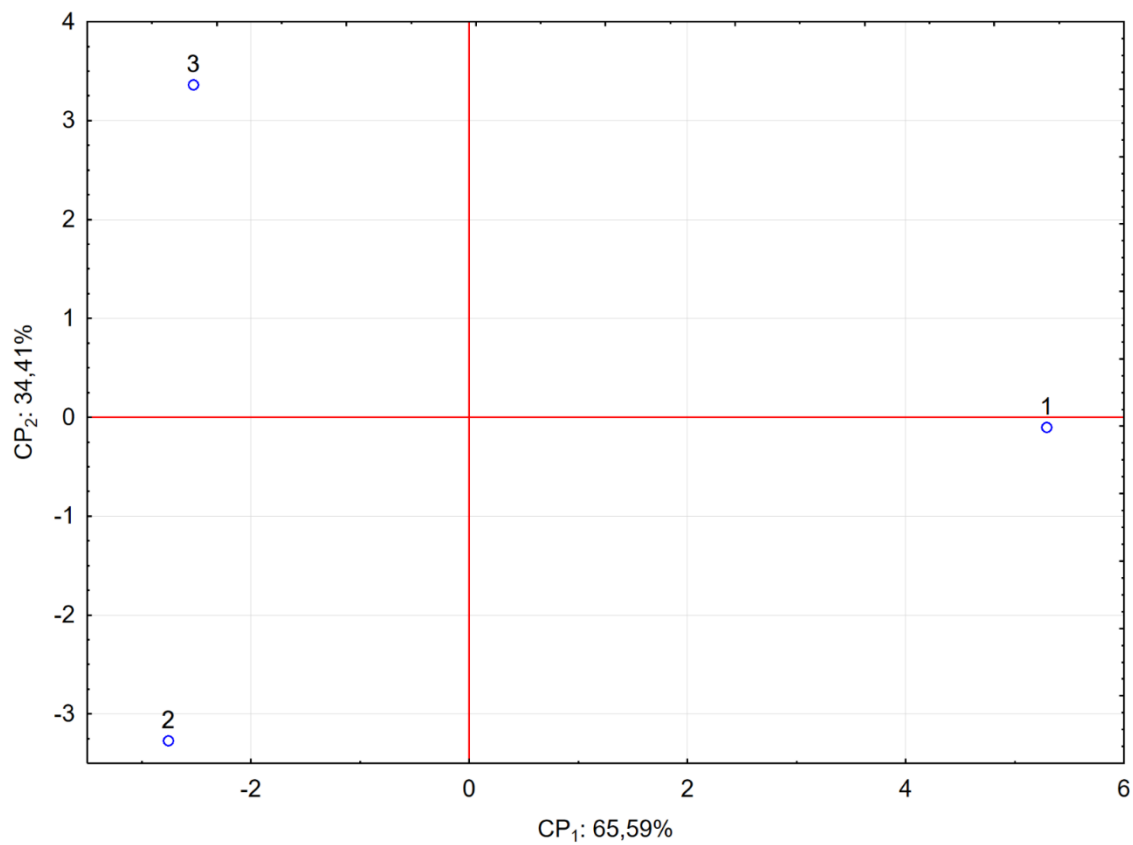
IR: Índice de retenção

Descritores sensoriais são retirados da literatura: (BURDOCK, G. A, 2004; BATISTA DA MOTA et al., 2022; BRESSANI et al., 2020; BRESSANI et al., 2021a; BRESSANI et al., 2021b; BRIOSCHI JUNIOR et al., 2021; CAPORASO et al., 2018; CHAKRABORTY et al., 2022; CHEN et al., 2021; DA MOTA et al., 2020; DE BRUYN et al., 2017; DE MELO PEREIRA et al., 2015; ELHALIS et al., 2020; ERÖZ POYRAZ et al., 2016; ESQUIVEL; JIMÉNEZ, 2012; GALARZA; FIGUEROA, 2022; GONZALEZ-RIOS et al., 2007; GUO et al., 2021; HADJ SALEM et al., 2020; KANG et al., 2019; LEE et al., 2016; MARTINS et al., 2020; MASOUD; POLL; JAKOBSEN, 2005; MEI; DING; CHEN, 2023; MOON; SHIBAMOTO, 2009; PEREIRA et al., 2022; PINTO-ZEVALLOS et al., 2013; PROCIDA et al., 2020; PUBCHEM, [s.d.]; RIBEIRO et al., 2017b; RONG et al., 2021; VÁRADY et al., 2022; WANG et al., 2019; WANG et al., 2011; WANG; RUAN, 2009; WANG et al., 2022).

### 3.2 Análise de Compostos Principais (PCA)

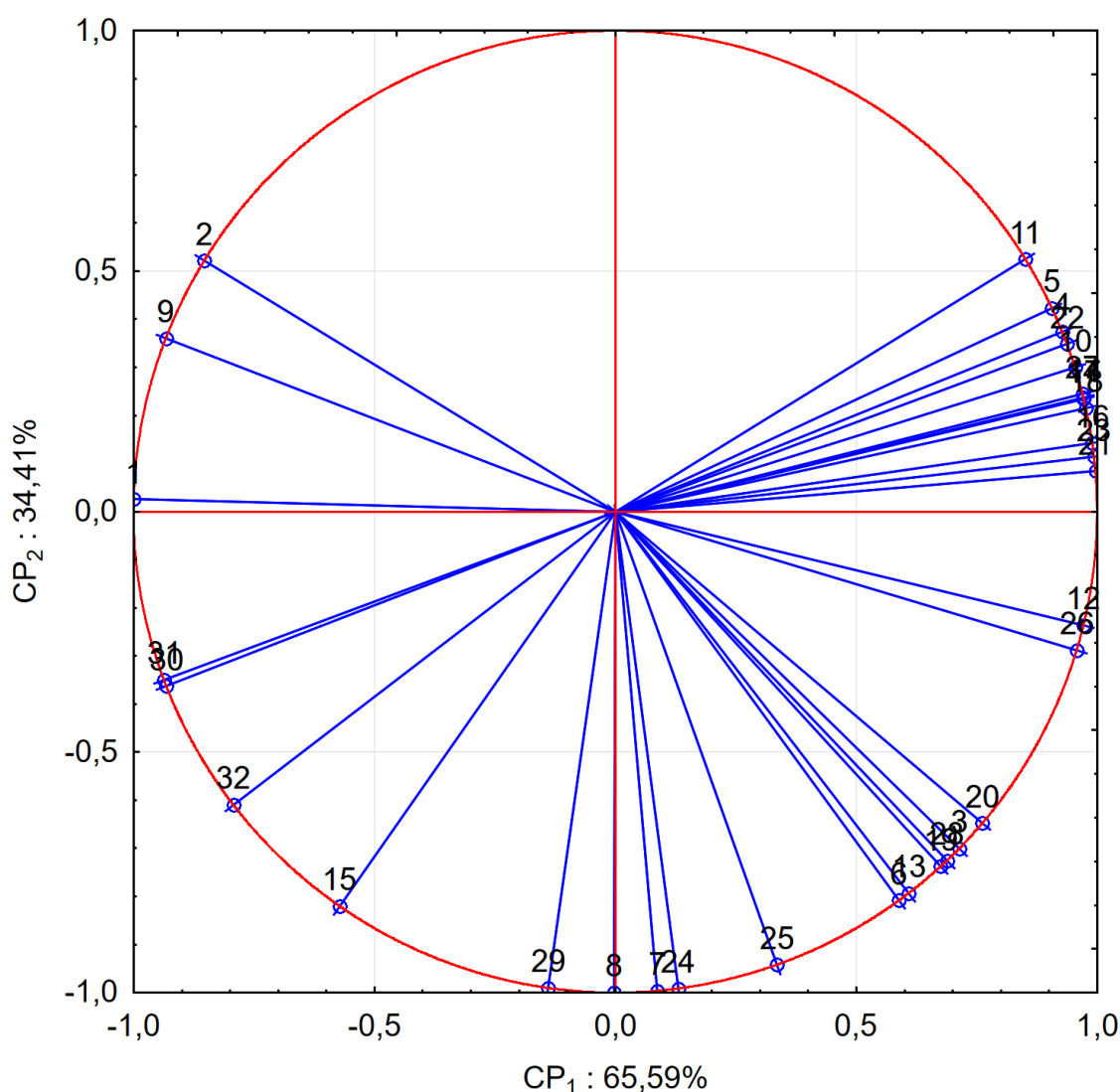
A Figura 1 ilustra os resultados de scores dos dois primeiros componentes principais, CP1 e CP2, que explicaram respectivamente 65,59% e 34,41% indicando a variância armazenada em cada componente principal expressa pelos autovalores da matriz padronizada. Os dois primeiros componentes principais explicam 100% da variância total observada entre os tratamentos, o que já era esperado, uma vez que se tem três tratamentos e, portanto, o grau de liberdade para tratamento é dois. Observa-se que o primeiro componente principal diferencia o tratamento 1 dos demais tratamentos 2 e 3; o segundo componente principal diferencia o tratamento 2 do tratamento 3.

**Figura 1:** Score da análise de componentes principais para os três tratamentos. 1: secador 60 °C; 2: terreiro suspenso; 3: secador 35 °C.



A Figura 2 ilustra as contribuições dos 32 compostos voláteis identificados para os três primeiros componentes principais.

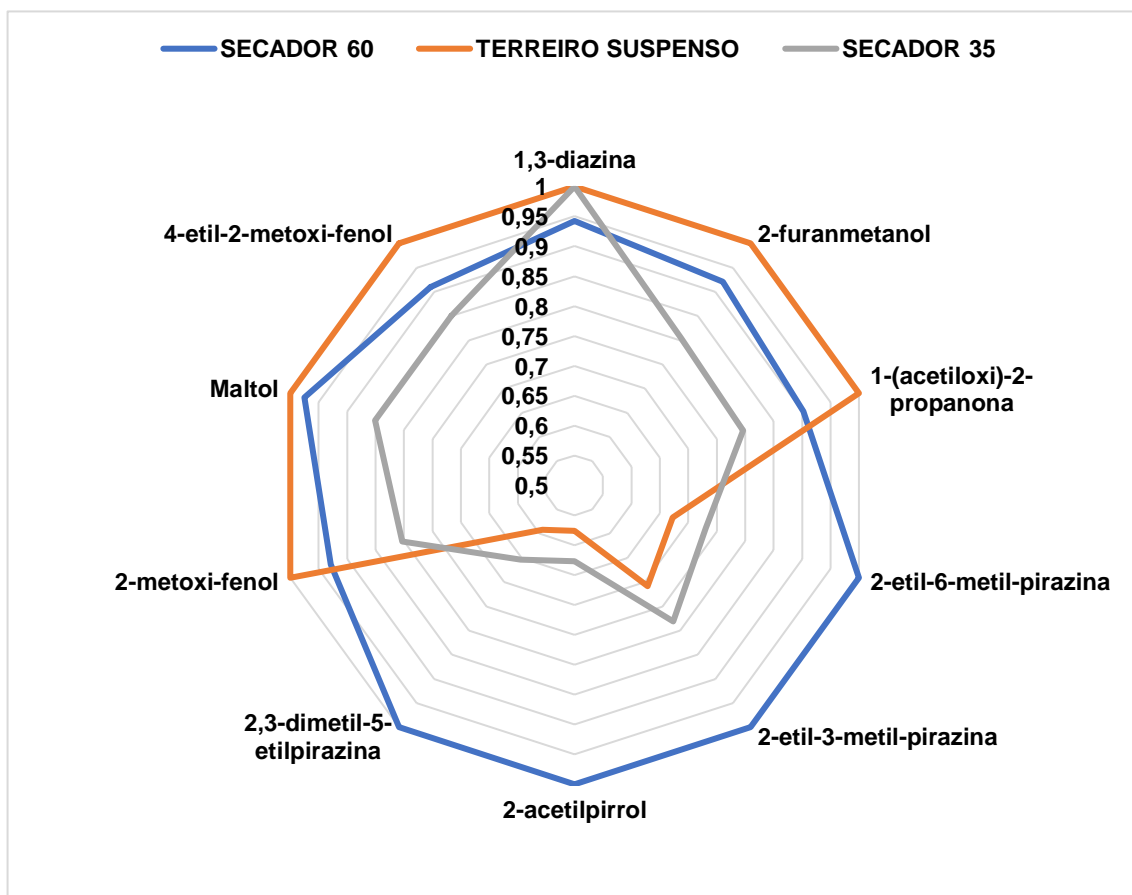
**Figura 2:** Contribuições dos compostos voláteis identificados para os dois componentes principais. 1: 1,3-diazina; 2: piridina; 3: 1-hidroxi-2-butanona; 4: 3(2H)-furanona, di-hidro-2-metil-; 5: Pirazina, metil-; 6: Furfural; 7: 2-furanmetanol; 8: 2-Propanona, 1-(acetiloxi)-; 9: 2-Heptanol; 10: Pirazina, 2,5-dimetil-; 11: Pirazina, 2,6-dimetil-; 12: Pirazina, etil-; 13: 2-furancarboxaldeído, 5-metil-; 14: Pirazina, 2-etil-5-metil-; 15: 2-furanmetanol, acetato; 16: Pirazina, 2-etil-6-metil-; 17: Pirazina, trimetil-; 18: Pirazina, 2-etil-3-metil-; 19: 1H-Pirrol-2-carboxaldeído, 1-metil-; 20: 4(H)-Piridina, N-acetil-; 21: 2-Acetilpirrol; 22: Pirazina, 3-etil-2,5-dimetil-; 23: 2,3-Dimetil-5-etilpirazina; 24: Fenol, 2-metoxi-; 25: Maltol; 26: 2-Acetil-3-metilpirazina; 27: Pirazina, 3,5-dietil-2-metil-; 28: 1H-Pirrol, 1-(2-furanilmetil)-; 29: Fenol, 4-etil-2-metoxi-; 30: 2-Metoxi-4-vinilfenol; 31: Triacetina; 32: cafeína.



Os compostos com maiores contribuições com o primeiro componente principal foram 1,3-diazina (4,76% de contribuição), 2-acetilpirrol (4,73%), 2,3-dimetil-5-etilpirazina (4,70%), 2-etil-6-metilpirazina (4,67%) e 2-etil-3-metil-pirazina (4,54%). Os

compostos com maiores contribuições com o segundo componente principal foram a 1-(acetiloxi)-2-propanona (9,08%), 2-furanmetanol (9,01%), 2-metoxifenol (8,93%); 4-etil-2-metoxi-fenol (8,91%) e maltol (8,06%). O perfil desses dez compostos (em termos proporcionais ao valor máximo encontrado) mais correlacionados com os dois primeiros componentes principais para os três tratamentos avaliados é ilustrado na Figura 3.

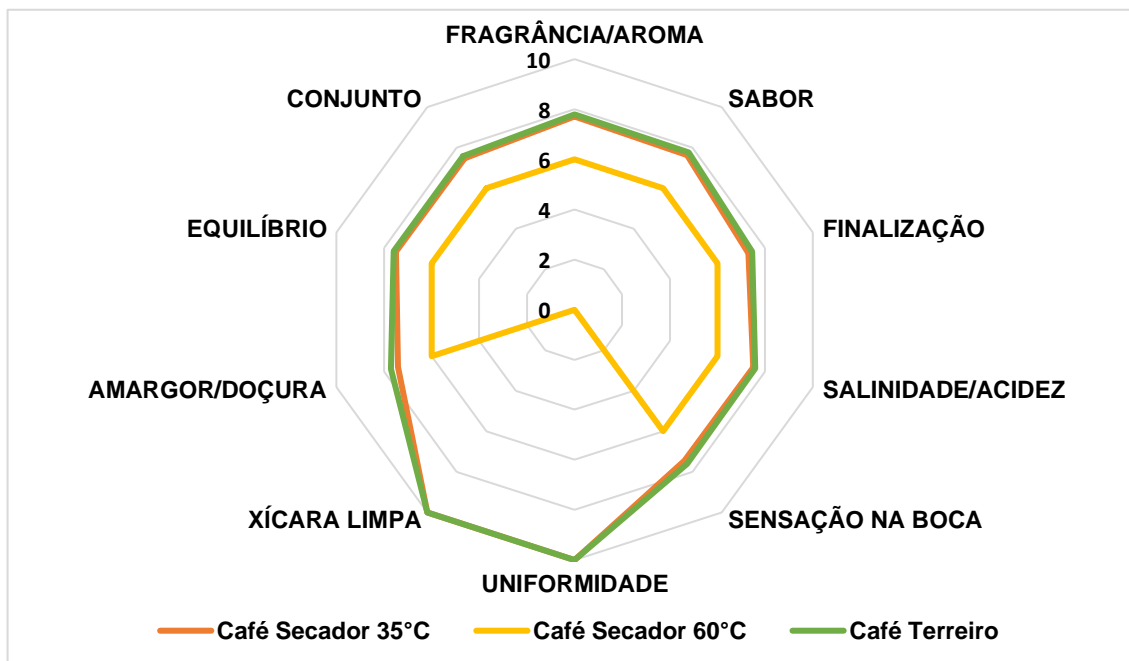
**Figura 3:** Perfil dos compostos mais correlacionados com os dois primeiros componentes principais. Os escores para cada composto é relativo em relação ao valor máximo encontrado



### 3.3 Análise Sensorial

As notas sensoriais atribuídas, pelos provadores treinados, às amostras secas a 60 °C, foram menores, quando comparadas aos demais tratamentos. Café Seco a 35 °C e seco no terreiro apresentaram notas semelhantes em todos os atributos analisados (Figura 4).

**Figura 4:** Notas sensoriais da prova de xícara das amostras de café conilon por distintos métodos de secagem.



Amostras secas a 60°C receberam escores finais bem abaixo dos demais tratamentos analisados. O tratamento do terreiro e do secador a 35 °C variaram entre si 1,14 pontos em seus escores finais, valores bem próximos um do outro (Tabela 2).

Tratamento	Pontuação	Classificação	Descritor Sensorial
Secador 35°C	79,96 ± 0,46	Prêmio	Frutado, amêndoas, caramelo, vegetal, imaturo
Terreiro	81,1 ± 1,65	Fino	Caramelo, especiarias, doce, amendoado, castanhas, frutado, chocolate
Secador 60 °C	38 ± 0	Comercial abaixo	Fenólico, medicinal, mofo

**Tabela 2:** Escores totais das amostras de café conilon por distintos métodos de secagem

\*Médias de 3 provadores treinados

Provadores treinados descreveram as amostras secas a 35 °C como frutado, amêndoas, caramelo, vegetal e imaturo. Para amostras secas no terreiro, os provadores treinados as descreveram com notas sensoriais de caramelo, especiarias,

doce, amendoado, castanhas, frutado e chocolate. Para àquelas secas a 60 °C os provadores treinados as descreveram como fenólico, medicinal e mofo.

#### **4. DISCUSSÃO**

A qualidade do grão pode ser afetada pela taxa de secagem, e altas taxas podem resultar em danos físicos, descoloração, manchas e outros problemas (AFONSO JÚNIOR, 2000; RIBEIRO et al., 2003). Diversos fatores influenciam a velocidade de secagem do café, como a temperatura e o fluxo de ar, a umidade e temperatura do ar ambiente, bem como o teor de água inicial e final do produto (AFONSO JÚNIOR et al., 2004a; CORRÊA et al., 2002; RIBEIRO et al., 2003).

De acordo com Marques et al. (2008), a temperatura de secagem de 40 °C é mais favorável para a obtenção de cafés de alta qualidade em comparação com as temperaturas de 50 °C e 60 °C. Neste sentido, no presente estudo a secagem a 35°C resultou na melhoria das características sensoriais quando comparado a secagem em secador a 60°C, uma vez que os provadores treinados classificaram de forma diferenciada as amostras do secador a 35°C em comparação às do secador a 60°C.

Observou-se que as amostras provenientes do Secador mecânico a 35 °C e do Terreiro Suspenso apresentaram notas finais acima de 79. A amostra do secador a 60 °C recebeu 38 pontos em sua pontuação média final, sendo classificada como um café comercial de qualidade inferior. As demais amostras foram classificadas como Fino/Prêmio. Esses resultados confirmam que as técnicas utilizadas para secagem dos grãos de café influenciam significativamente na qualidade sensorial final do produto.

Vários estudos científicos têm recomendado a secagem do café em baixas temperaturas. As amostras do café do Secador a 60 °C apresentaram características sensoriais significativamente distintas das demais amostras, como mofo, medicinal e fenólico, isto confirma que as altas temperaturas utilizadas na secagem do café a 60 °C, processamento aplicado pelo produtor, levaram a uma deterioração na qualidade da bebida. É amplamente reconhecido que a secagem do café em secadores de fogo direto, especialmente quando se utiliza combustíveis sólidos como lenha e palha do café, pode resultar na formação de fuligem e compostos indesejáveis na fumaça, prejudicando assim a qualidade do café (CARVALHO, 2020; CLARKE e MACRAE, 1987).

O composto 2-Furanmetanol foi identificado como um dos mais abundantes nas amostras analisadas, com características de caramelo, velho e doce, cozido e torrado, sugerindo que o método de secagem e torrefação foi responsável pelo desenvolvimento deste composto (CAPORASO et al.,2018; WU et al.,2022). Os descritores sensoriais caramelo e doce foram encontrados em amostras provenientes de todos os tratamentos e podem ser relacionados aos compostos voláteis maltol, 2-heptanona e Furfural.

O composto Triacetina, encontrado em quantidades significativas nas três amostras, é um produto derivado do glicerol. É amplamente utilizado como plastificante e agente de gelatinização em polímeros, bem como aditivo em tabaco, biocida em cosméticos, componente em produtos farmacêuticos e umectante e solvente em formulações cosméticas (GARCÍA et al., 2008; RABELO 2019. A capacidade biocida torna-se um problema para os processos fermentativas do fruto, visto que pode impactar negativamente a presença dos microrganismos no fruto.

A fase de torrefação é a etapa encarregada de promover transformações na composição química do café, gerando compostos químicos com propriedades favoráveis à bebida. Durante o processo de torra, ocorre a formação de perfis voláteis distintos e a evolução do aroma, coloração e sabor do café torrado. Os processos químicos fundamentais envolvem reações de Maillard, pirólise e degradação de Strecher. A reação de Maillard é uma reação química entre açúcares redutores e aminoácidos, responsável pela criação de uma variedade de compostos voláteis essenciais, tais como pirazinas (DE MELO PEREIRA et al., 2019).

Em café conilon, as pirazinas foram identificadas como o grupo mais abundante, o que também foi confirmado no estudo de Silva et al. (2021) e Pereira et al. (2021). As pirazinas são compostos voláteis que apresentam sabores de nozes, cacau, torrado e chocolate, de acordo com estudos de Caporaso et al. (2018). Os compostos pirazina, 2,3-dimetil-5-etilpirazina (nozes, doces), 3,5-dietil-2-metilpirazina (torrados, caramelos), 2-etil-6-metilpirazina foram encontrados em todos os tratamentos avaliados, o que, em alguns casos, coincide com as características sensoriais descritas pelos provadores treinados.

## **5. CONCLUSÃO**

O estudo mostra que a secagem lenta dos grãos de café em terreiros suspensos ou secadores mecânicos com temperaturas controladas abaixo de 40 °C,

produzem grãos de qualidade superior em comparação com a secagem rápida com fogo direto em altas temperaturas. Além disso, a secagem dos grãos de café em baixas temperaturas é recomendada para preservar sua qualidade, pois altas temperaturas podem levar à deterioração e formação de compostos indesejados para a bebida.

## 6. REFERÊNCIAS

AFONSO JÚNIOR, P. C. Aspectos físicos, fisiológicos e da qualidade do café em função da secagem e do armazenamento. 2001. 373 f. **Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

AFONSO JÚNIOR, P.C. **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. 2001. 384f.

AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; VILARINHO, M.C.; FRANÇA, A.S. Dinâmica da contração volumétrica do fruto de café durante o processo de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, n.8, p.29-35, 2004a.

BRESSANI, A. P. P. et al. Co-inoculation of yeasts starters: A strategy to improve quality of low altitude Arabica coffee. **Food chemistry**, v. 361, n. 130133, p. 130133, 2021.

CAPORASO, N. et al. Variability of single bean coffee volatile compounds of Arabica and robusta roasted coffees analysed by SPME-GC-MS. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 108, p. 628–640, 2018.

CASSIMIRO, D. M. DE J. et al. Coinoculation of lactic acid bacteria and yeasts increases the quality of wet fermented Arabica coffee. **International journal of food microbiology**, v. 369, n. 109627, p. 109627, 2022.

CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Principles and methods in Coffee plant breeding: *Coffea canephora* Pierre. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Eds.). **Coffee agronomy**. London: Elsevier Applied Science, v. 8, Cap. 5, p. 167-197. 1988.

CIÊNCIA VIVA. Espuma de café. [s.d.]. Disponível em: . Acesso em: 21 fev. 2021.

CLARKE, R. J. **Coffee: Volume 2: Technology**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2012.

**Conab - Safra Brasileira de Café**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>>. Acesso em: 4 jun. 2023.

CORRÊA, P.C. et al. Variação nas dimensões características e da forma dos frutos de café durante o processo de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6; n.3, p.466-470, 2002.

DA SILVA, B. L. et al. Fermentation of *Coffea canephora* inoculated with yeasts: Microbiological, chemical, and sensory characteristics. **Food microbiology**, v. 98, n. 103786, p. 103786, 2021.

DE MELO PEREIRA, G.V. et al. Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans—A review. **Food Chemistry**. 2019, 272, 441–452

EVANGELISTA, S. R. Avaliação da microbiota presente no processamento úmido do café, e do uso de culturas iniciadoras no processamento natural e semi-seco. **Tese (Doutorado em Ciência dos alimentos)**, Universidade Federal de Lavras, p. 184, 2014.

EVANGELISTA, S. R. et al. Improvement of coffee beverage quality by using selected yeasts strains during the fermentation in dry process. **Food Research International**, [s. l.], v. 61, p. 183–195, 2014b.

FONSECA, A. F. A. Propagação assexuada de *Coffea canephora* no Estado do Espírito Santo. In: PAIVA, R. (Ed.). **Workshop Sobre Avanços Na Propagação De Plantas Lenhosas**, 1996, Lavras. Proceedings... Lavras: UFLA, 1996. p. 31-34.

FRANCA, A. S. et al. A preliminary evaluation of the effect of processing temperature on coffee roasting degree assessment **Journal of food Engineering**, v.92, n.3, p.345-352, 2009.

GARCÍA, E. et al. New class of acetal derived from glycerin as a biodiesel fuel component. **Energy Fuels**, v. 22, p. 4274-4280, 2008

GONÇALVES BRAVIM, D. et al. Inoculation of yeast and bacterium in wet-processed *Coffea canephora*. **Food chemistry**, v. 400, n. 134107, p. 134107, 2023.

GONZALEZ-RIOS, O. et al. Impact of “ecological” post-harvest processing on the volatile fraction of coffee beans: I. Green coffee. **Journal of food composition and analysis: an official publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems**, v. 20, n. 3–4, p. 289–296, 2007.

LARROCHE, C. et al. High pyrazine production by *Bacillus subtilis* in solid substrate fermentation on ground soybeans. **Process biochemistry (Barking, London, England)**, v. 34, n. 6–7, p. 667–674, 1999.

MALTA, M. R. et al. Alterações na Qualidade do Café Submetido a Diferentes Formas de Processamento e Secagem. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 21, n. 5, p. 431–440, 2013.

MARQUES, E. R. et al. Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café Arábica (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes períodos e temperaturas de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1557–1562, 2008.

MELO, W.L.B. A importância da informação sobre o grau de torra do café e sua influência nas características organolépticas da bebida. **Comunicado Técnico Embrapa Instrumentação Agropecuária**, 58, 1–4. 2004.

OCTAVIANI, J. C. Secagem de café cereja descascado desmucilado com utilização de gás liquefeito de petróleo. 2000. 101 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)** - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

OIC. Organização Internacional do Café. **Protocolo de Degustação de Robustas Finos**, p. 22, 2010. Disponível em: < <http://www.ico.org/documents/pscb-123-p-robusta.pdf>>.

OLIVEIRA, P.D. Aspectos ultra estruturais e fisiológicos associados à qualidade da bebida de café arábica submetido a diferentes métodos de processamento e secagem. 2010. 108p. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)** - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

PEREIRA, P. V. et al. Microbial diversity and chemical characteristics of *Coffea canephora* grown in different environments and processed by dry method. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 37, n. 3, p. 51, 2021.

PINHEIRO, C.A. Análises físico-químicas e avaliação da qualidade de *Coffea canephora* PIERRE & FROEHNER CULTIVADOS NO ESPÍRITO SANTO. 2018. 108 f. **Dissertação (Mestrado)** - Curso de Agroquímica, Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2018.

REBELO, R.; SILVA, C. Obtenção de triacetina a partir do glicerol. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 17446–17459, 2019.

RIBEIRO, D. M. Qualidade do café cereja descascado submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem. 2003. 86 p. **Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos)** - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003

RIBEIRO, D.M. et al. Taxa de redução de água do café cereja descascado em função da temperatura da massa, fluxo de ar e período de pré secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.28, n.7, p.94-107, 2003.

RODRIGUES, A.P.L. Avaliação dos constituintes voláteis do café submetido a diferentes tratamentos pós-colheita pela análise de suas características físicas, químicas e sensoriais. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Viçosa, 2009.

SARRAZIN, C. et al. Representativeness of coffee aroma extracts: a comparison of different extraction methods, **Food Chemistry**, v.70, p.99-106, 2000.

SCHEIDIG, C. et al. Changes in key odorants of raw coffee beans during storage under defined conditions. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 55, n. 14, p. 5768–5775, 2007.

STATSOFT, Inc. (2022). **STATISTICA** (data analysis software system), version 12.

TOLEDO, P. R. A. B. et al. Relationship between the different aspects related to coffee quality and their volatile compounds. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 15, n. 4, p. 705–719, 2016.

TRENDS, 7SEVEN. **Visite Guy Carvalho!** Disponível em: <<https://guycarvalho.com.br/noticia/cafe/secagem-do-cafe>>. Acesso em: 16 maio. 2023.

VAN DEN DOOL, H.; KRATZ, P. D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas—liquid partition chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 11, p. 463-471, 1963.

VÁRADY, M. et al. Effect of method of processing specialty coffee beans (natural, washed, honey, fermentation, maceration) on bioactive and volatile compounds. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, v. 172, p. 114245, 2022.

WANG, K. et al. Comparison of catechins and volatile compounds among different types of tea using high performance liquid chromatograph and gas chromatograph mass spectrometer: Catechins and volatile compounds of tea. **International journal of food science & technology**, v. 46, n. 7, p. 1406–1412, 2011.

WANG, K.; RUAN, J. Analysis of chemical components in green tea in relation with perceived quality, a case study with Longjing teas. **International journal of food science & technology**, v. 44, n. 12, p. 2476–2484, 2009.

WANG, X. et al. Review on factors affecting coffee volatiles: from seed to cup. **Journal of the science of food and agriculture**, v. 102, n. 4, p. 1341–1352, 2022.

WANG, X. et al. Real-time PCR assays for the quantification of native yeast DNA in grape berry and fermentation extracts. **Journal of microbiological methods**, v. 168, n. 105794, p. 105794, 2020.

WINTGENS, J. N. Coffee: growing, processing, sustainable production. Weinheim: [s.n.], 2004. 711 p.

WU, H. et al. Effect of processing on bioaccessibility and bioavailability of bioactive compounds in coffee beans. **Food bioscience**, v. 46, p. 101373, 2022.

WU, Hanjing et al. Impact of roasting on the phenolic and volatile compounds in coffee beans. **Food Science & Nutrition**, v. 10, n. 7, p. 2408-2425, 2022.