

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

KAMILA LEITE RODRIGUES

Influência dos processamentos das folhas do café (*Coffea arabica*) para chás:
Compostos bioativos, propriedades funcionais e resíduos de praguicidas

Alfenas/MG

2022

KAMILA LEITE RODRIGUES

Influência dos processamentos das folhas do café (*Coffea arabica*) para chás:
Compostos bioativos, propriedades funcionais e resíduos de praguicidas

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Nutrição e Longevidade pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Alimentos e longevidade.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Martins Dala Paula

Coorientadora: Profa. Dra. Maria Beatriz Abreu Glória

Alfenas/MG

2022

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central

Rodrigues, Kamila Leite.

Influência dos processamentos das folhas do café (*Coffea arabica*) para chás: : Compostos bioativos, propriedades funcionais e resíduos de praguicidas / Kamila Leite Rodrigues. - Alfenas, MG, 2023.

183 f. : il. -

Orientador(a): Bruno Martins Dala Paula.

Dissertação (Mestrado em Nutrição e Longevidade) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2023.

Bibliografia.

1. Folhas de café. 2. Envelhecimento. 3. Praguicidas. 4. Chá. 5. Antioxidante. I. Dala Paula, Bruno Martins, orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

**INFLUÊNCIA DOS PROCESSAMENTOS DAS FOLHAS DE CAFÉ (*Coffea arabica*) PARA CHÁS:
COMPOSTOS BIOATIVOS, PROPRIEDADES FUNCIONAIS E RESÍDUOS DE PRAGUICIDAS**

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Nutrição e Longevidade pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Nutrição e Longevidade.

Aprovada em: 30 de novembro de 2022

Prof. Dr. Bruno Martins Dala Paula
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Profa. Dra. Flávia Beatriz Custódio
Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais

Profa. Dra. Olga Luisa Tavano
Instituição: Universidade Federal de Alfenas



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Martins Dala Paula, Professor do Magistério Superior**, em 30/11/2022, às 17:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flávia Beatriz Custódio, Usuário Externo**, em 30/11/2022, às 17:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Olga Luisa Tavano, Professor do Magistério Superior**, em 30/11/2022, às 17:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0869182** e o código CRC **90F65F5C**.

À minha família e ao meu orientador
dedico com alegria e gratidão este
trabalho.

AGRADECIMENTOS

À minha família, filhos, marido, pais e irmã, pelo apoio incondicional, paciência e dedicação constante;

Ao professor Bruno Martins Dala Paula pelos valiosos ensinamentos que se estenderam ao laboratório, pela confiança e parceria nesse trabalho;

Ao Programa de pós-graduação em Nutrição e Longevidade pela oportunidade de trabalho e conhecimento na área;

À professora Olga por sua dedicação e atenção aos alunos do programa;

Aos colegas de curso que, mesmo à distância colaboraram para minha formação;

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio por meio da bolsa de estudos e apoio em pesquisa, por meio do Edital 001/2018 – Demanda Universal, processo número APQ-00424-18.

Agradeço à Fundação Cargill pelo apoio na quinta edição do edital Alimentação em Foco.

À UNIFAL pelo espaço e estruturas oferecidas.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

O corpo é construído de alimentos, então as pessoas devem consumir alimentos saudáveis e evitar alimentos nocivos à saúde, que são consumidos por gula e ignorância

(Charaka Samhita
Sutrasthana 28: 41, aproximadamente 3000 A.C)

RESUMO

As folhas de café produzido na região do Sul de Minas Gerais podem ser exploradas de modo sustentável, visando o desenvolvimento de uma bebida que integre regionalidade e saúde. Assim, o objetivo deste estudo foi desenvolver diferentes tipos de chá a partir de folhas da desbrota de cafeeiros de cultivo orgânico e convencional e os caracterizar quanto aos teores de flavonoides totais, fenólicos totais e potencial antioxidante (ABTS e DPPH). Avaliou-se também a presença e teores de resíduos de pesticidas nas infusões obtidas. Para tal, os processamentos utilizados na *Camellia sinensis* (chá verde, amarelo e oolong) foram adaptados para as folhas de café, além da fermentação em estado-sólido (FES) com adição de diferentes culturas iniciadoras [(i) *Lactobacilos acidophilus* LA-5®, *Bifidobacterium* BB-12® e *Streptococcus termophilus*; (ii) *Saccharomyces cerevisiae*; e (iii) a mistura das anteriores]. A cinética da fermentação foi acompanhada por 240 h, nos intervalos 0, 48, 96, 144 e 240 h, para determinar o ponto ótimo considerando os teores de bioativos e potencial antioxidante, que foram determinados por espectrofotometria. O método multirresíduo por meio de HPLC-MS/MS foi utilizado para detectar os praguicidas triazóis e organofosforados. Os teores de flavonoides variaram entre $3,78 \pm 0,03$ e $12,55 \pm 0,20$ EC mg.g⁻¹, fenólicos entre $16,83 \pm 0,06$ e $18,52 \pm 0,04$ EAG mg.g⁻¹ e potencial antioxidante (ABTS) entre $49,76 \pm 0,76$ e $84,35$ µmol.g⁻¹ e (DPPH) entre $47,66 \pm 0,24$ e $62,84 \pm 0,18$ µmol.g⁻¹ de folha processada em base seca. As folhas de café de cultivo convencional e processadas de forma similar ao chá amarelo apresentaram os maiores teores de bioativos e potencial antioxidante ($p \leq 0,05$). De modo geral, os chás fermentados apresentaram os maiores valores ao final de 48 h, sendo o grupo controle com os maiores teores de fenólicos e flavonoides totais, reduzindo bruscamente após esse período, enquanto o adicionado de *S. cerevisiae*, maior potencial antioxidante. As infusões obtidas pelas folhas de café provenientes de plantações convencionais, com o manejo de pesticidas apresentaram triazóis e organofosforados em níveis que poderiam comprometer a saúde humana. Pesquisas futuras envolvendo o período de aplicação de pesticidas são necessárias, a fim de garantir o consumo seguro de chás de folhas de café proveniente de cultivos convencionais.

Palavras-chave: folhas de café; envelhecimento; praguicidas; compostos fenólicos; chá; antioxidante.

ABSTRACT

Coffee leaves produced in the southern region of Minas Gerais can be exploited in a sustainable way, aiming at the development of a beverage that integrates regionality and health. Thus, the objective of this study was to develop different types of tea from leaves from the sprouting of organic and conventional coffee plants and to characterize them in terms of total flavonoids, total phenolics and antioxidant potential (ABTS and DPPH). The presence and levels of pesticide residues in the obtained infusions were also evaluated. To this end, the processes used in *Camellia sinensis* (green, yellow and oolong tea) were adapted to coffee leaves, in addition to solid-state fermentation (FES) with the addition of different starter cultures [(i) *Lactobacilli acidophilus* LA-5®, *Bifidobacterium* BB-12® and *Streptococcus thermophilus*; (ii) *Saccharomyces cerevisiae*; and (iii) the mixture of the above]. Fermentation kinetics were monitored for 240 h, at 0, 48, 96, 144 and 240 h intervals, to determine the optimal point considering the levels of bioactives and antioxidant potential, which were determined by spectrophotometry. The multi-residue method by means of HPLC-MS/MS was used to detect triazole and organophosphate pesticides. The flavonoid contents varied between 3.78 ± 0.03 and 12.55 ± 0.20 EC mg.g⁻¹, phenolics between 16.83 ± 0.06 and 18.52 ± 0.04 EAG mg.g⁻¹ and antioxidant potential (ABTS) between 49.76 ± 0.76 and 84.35 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ and (DPPH) between 47.66 ± 0.24 and 62.84 ± 0.18 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ of sheet processed on dry basis. Coffee leaves from conventional cultivation and processed similarly to yellow tea showed the highest levels of bioactives and antioxidant potential ($p \leq 0.05$). In general, the fermented teas showed the highest values at the end of 48 h, with the control group having the highest levels of phenolics and total flavonoids, decreasing sharply after this period, while the added *S. cerevisiae* had the highest antioxidant potential. The infusions obtained from coffee leaves from conventional plantations, with pesticide management, showed triazoles and organophosphates at levels that could compromise human health. Future research involving the period of pesticide application is necessary in order to ensure the safe consumption of coffee leaf teas from conventional crops.

Keywords: coffee leaves; aging; pesticides; phenolic compounds; tea; antioxidant.

LISTA DE FIGURAS

3.1	CAPÍTULO I - ASPECTOS SOCIAIS E BIOLÓGICOS DO ENVELHECIMENTO INDIVIDUAL, O ESTILO DE VIDA E NUTRIÇÃO COMO ESTRATÉGIAS PARA A LONGEVIDADE HUMANA	
Figura 1	Vias de sinalização na regulação do metabolismo com relação à saúde e longevidade.....	49
3.2	CAPÍTULO II – SUSTENTABILIDADE E SAUDABILIDADE COMO DETERMINANTES DO MARKETING SENSORIAL: UMA REVISÃO NARRATIVA	
Figura 1	Considerações sobre a abordagem do marketing sensorial às diferenças de percepção dos atributos de sustentabilidade.....	75
3.3	CAPÍTULO III -EVALUATION OF MULTI-RESIDUES OF PESTICIDES IN NATURAL SOURCES OF WATER AND FUNCTIONAL COFFEE LEAF TEAS FROM ORGANIC AND CONVENTIONAL PLANTATIONS	
Figura 1	Principal component analyses (PCA) and hierarchical cluster analyses (HCA) of total flavonoid content, total phenolic content and antioxidant activity (ABTS and DPPH) in coffee leaves from organic and conventional cultivation submitted to different processing. (A) Dendrogram; (B) Loading plot; (C) Biplot	101
3.6	CAPÍTULO IV - INFLUÊNCIA DO TIPO DE CULTIVO, CULTURAS INICIADORAS E TEMPO NOS TEORES DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM FOLHAS DE CAFÉ FERMENTADAS	
Figura 1	Etapas do processamento das folhas de cafeeiros provenientes de cultivos orgânico e convencional.....	117
Figura 2	(A e B) Teores de flavonoides totais e (C e D) fenólicos totais nas infusões de folhas de cafeeiro provenientes de cultivos orgânico e convencional, respectivamente ao longo de 240 h de fermentação ao natural ou com adição de diferentes culturas iniciadoras e após processo de secagem para estabilização das folhas.....	123
Figura 3	(A e B) Potencial antioxidante pelos métodos de neutralização de ABTS) e (C e D) de DPPH nas infusões de folhas de cafeeiro provenientes de cultivos orgânico e convencional, respectivamente, ao longo de 240 h de fermentação ao natural ou com adição de diferentes culturas iniciadoras e após processo de secagem para estabilização das folhas.....	127

Figura 4	(A) Análise de componente principal (PCA) e (B) análise de cluster hierarquizado (ACH) de flavonoides totais, fenólicos totais e potencial antioxidante (ABTS e DPPH) das infusões de folha de café provenientes de cultivo orgânico ao longo de 240 h de fermentação.....	130
Figura 5	(A) Análise de componente principal (PCA) e (B) análise de cluster hierarquizado (ACH) de flavonoides totais, fenólicos totais e potencial antioxidante (ABTS e DPPH) das infusões de folha de café provenientes de cultivo convencional ao longo de 240 h de fermentação.....	131
Figura S1	Contribuição dos teores de flavonoides totais, fenólicos totais e potencial antioxidante (ABTS e DPPH) para a distribuição espacial e agrupamentos das folhas de café provenientes de cultivo orgânico.....	138
Figura S2	Contribuição dos teores de flavonoides totais, fenólicos totais e potencial antioxidante (ABTS e DPPH) para a distribuição espacial e agrupamentos das folhas de café provenientes de cultivo convencional.....	139

LISTA DE TABELAS

3.2.2	Aplicações tecnológicas das folhas de café	
Tabela 1	Resultado das buscas de patentes no banco de dados SPACENET e Google Patents.....	34
3.5	CAPÍTULO II – EVALUATION OF MULTI-RESIDUES OF PESTICIDES IN NATURAL SOURCES OF WATER AND FUNCTIONAL COFFEE LEAF TEAS FROM ORGANIC AND CONVENTIONAL PLANTATIONS	
Tabela 1	Spectrometric parameters of organophosphate and triazoles pesticides analysis by UHPLC-MS/MS.....	92
Tabela 2	TFC, TPC and TEAP (ABTS and DPPH) of ethanolic extract and infusions of different processes of coffee leaves sprouting from organic and conventional crops.....	94
Tabela 3	Validation parameters obtained in the determination of organophosphate and triazoles pesticides in coffee leaves tea from <i>Coffea arabica</i>	103
Tabela 4	Detection of pesticide residues in different coffee leaves tea preparations (mg.kg ⁻¹).....	104
3.6	CAPÍTULO IV - INFLUÊNCIA DO TIPO DE CULTIVO, CULTURAS INICIADORAS E TEMPO NOS TEORES DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM FOLHAS DE CAFÉ FERMENTADAS	
Tabela S1	Cinética do potencial antioxidante (ABTS e DPPH), fenólicos e flavonoides totais (em base seca) de chás de folhas de cafeeiros provenientes de cultivos orgânico, coletadas no município de Paraguaçu, MG, em julho de 2022, ao longo de 240 h de fermentação em fase sólida natural ou com diferentes culturas iniciadoras.....	138
Tabela S2	Cinética do potencial antioxidante (ABTS e DPPH), fenólicos e flavonoides totais (em base seca) de chás de folhas de cafeeiros provenientes de cultivos convencional, coletadas no município de Paraguaçu, MG, em julho de 2022, ao longo de	

240 h de fermentação em fase sólida natural ou com diferentes culturas iniciadoras.....	139
---	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTS	2,2'-azinobis(3-etilbenzoatiazolina-6-ácidosulfônico)
ACH	Análise de cluster hierárquicos
ANOVA	Analysis of Variance
AOAC	Association of Official Analytical Chemist
AlCl ₃	Aluminum chloride
Bel	BelPhotonics Ultraviolet/Visible-M51
BF	Fermented with BioRich®
B+YF	Fermented with BioRich® + Yeast (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> – US-05 Fermentis).
CAPES	Higher Education Personnel Improvement Coordination
CE	Catechin equivalent
CF	Control fermentation
DeCS	Descritores em ciência da saúde
DCNT	Doenças crônicas não transmissíveis
DPPH	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
ET	Equivalente de Trolox
EC	Equivalente de catequina
EC	Collision energy
EE	Ethanollic extract
EC	European Community
F	Fermentação controle
FB	Fermentação com adição de Bio Rich®; FL: fermentação com adição de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
FB+L	Fermentação com adição de Bio Rich® e <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
FCO	Folhas de cafeeiro provenientes de cultivo orgânico
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais
FES	Fermentação em estado sólido
G	Similar process to green tea
GAE	Gallic acid equivalent
HCA	Hierarchical Cluster Analysis
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Intelectual

LLE	Liquid-Liquid Extraction
LCC	Coffee leaves from conventional crop;
LOC	Coffee leaves from organic crop
LOD	Limit of detection
LOQ	Limit of quantification
MeSH	Medical Subject Headings
MRL	Maximum residue levels
NaOH	Sodium hydroxide
NaNO ₂	Sodium nitrite
O	Similar process to oolong tea
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PPGNL	Pós-Graduação em Nutrição e Longevidade
PCA	Principal Component Analysis
PRPPG	Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Q1	Quadrupole 1
Q3	Quadrupole 3
RSD%	Relative standard deviation
SUS	Sistema Único de Saúde
TEB-D9	Deuterated internal standard
TPC	Total phenolic content
TEAP	Trolox equivalent of antioxidant potential
UHPLC-MS/MS	Ultra-high performance liquid chromatography-MS/MS
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UNIFAL	Universidade Federal de Alfenas
YF	Fermented with yeast (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> US-05 Fermentis)
Y	Similar process to yellow tea

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	17
2	OBJETIVO GERAL.....	19
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
	CAPÍTULO I - ASPECTOS SOCIAIS E BIOLÓGICOS DO ENVELHECIMENTO INDIVIDUAL, O ESTILO DE VIDA E NUTRIÇÃO COMO ESTRATÉGIAS PARA A LONGEVIDADE HUMANA.....	35
	CAPÍTULO II - SUSTENTABILIDADE E SAUDABILIDADE COMO DETERMINANTES DO MARKETING SENSORIAL: UMA REVISÃO NARRATIVA.....	62
	CAPÍTULO III - EVALUATION OF MULTI-RESIDUES OF PESTICIDES IN NATURAL SOURCES OF WATER AND FUNCTIONAL COFFEE LEAF TEAS FROM ORGANIC AND CONVENTIONAL PLANTATIONS.....	82
	CAPÍTULO IV- INFLUÊNCIA DO TIPO DE CULTIVO, CULTURAS INICIADORAS E TEMPO NOS TEORES DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM FOLHAS DE CAFÉ FERMENTADAS.....	113
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS.....	141
	REFENRÊCIAS GERAIS	143
	ANEXO A	152

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os caminhos em direção à modernidade estão modificando os pilares demográficos e levando a uma sociedade mais longeva. Embora fatores relacionados à qualidade de vida e elevados índices de desenvolvimento social, intelectual e de saúde ainda sejam grandes desafios político-sociais, os conhecimentos sobre os benefícios de uma nutrição de qualidade e orientada no sentido de escolher alimentos favoráveis à longevidade são possíveis. A qualidade do envelhecimento começa a ser garantida desde a concepção pois a velhice está inserida em uma perspectiva de ciclo vital (CRUZ, 2020).

O organismo humano apresenta diferentes mecanismos que partem de uma idade tenra e caminham em dinâmica modificação ao longo da vida, influenciado por interferências genéticas e ambientais e, associando o aumento da prevalência de inúmeras doenças crônicas não transmissíveis ao envelhecimento. A concretude de manobras clínicas que restringem o bem viver em prol da longevidade, a exemplo da restrição calórica e de metionina ao longo da vida é difícil de ser mantida (DONG *et al.*, 2018). Do contrário, o consumo de alimentos funcionais se apresenta como alternativa mais simples e prática, visando a minimização dos danos metabólicos e promoção da longevidade (EKMEKCIOGLU, 2020). Neste sentido, diversos estudos têm apresentado alimentos e seus compostos bioativos como uma alternativa para a promoção de saúde, entre eles as poliaminas e os polifenóis (DURAZZO *et al.*, 2019; LIU, 2016). Dentre os diferentes alimentos fontes de recursos que mimetizam os efeitos benéficos alcançados pela restrição calórica, até então o método mais estudado para promover a longevidade, as folhas do café (*Coffea arábica*) apresentam-se como um potencial alimento rico em compostos bioativos (MADEO *et al.*, 2014; PATIL *et al.*, 2022).

Largamente utilizadas no Oriente, mas ainda pouco consumidas no Brasil, as folhas de café podem ser empregadas para constituição da segunda bebida mais consumida no mundo, o chá (CHEN *et al.*, 2018). Ainda, como desafio para os cafeicultores que tem sua fonte de renda em um ou dois momentos de colheita anual dos grãos de café, elas poderiam se tornar fonte alternativa de recursos ao longo do ano. Considerando o Brasil o maior produtor de café do mundo (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION, 2022) e Minas Gerais como maior produtor brasileiro

(BRASIL, 2021), a orientação para o consumo do chá das folhas de café com potencial bioativo para a longevidade, promove hábitos culturais e estimula o desenvolvimento de sistemas de cultivos alternativos à cultura do café, incluindo a produção orgânica certificada e a agricultura familiar, a exemplo da produção de *Camellia sinensis* em países orientais (TRAN; GOTO, 2019).

Dessa forma, explorar a relação da saudabilidade e sustentabilidade ambiental e social (ARTÊNCIO *et al.*, 2022; ŻAKOWSKA-BIEMANS *et al.*, 2019) com o marketing sensorial pode indicar um caminho promissor para a introdução dos chás de folha de café no mercado nacional. O marketing sensorial consiste em estratégias que podem modificar o comportamento, escolha e compra de um produto por meio de estratégias que exploram os sentidos através de experiências sociais, psicológicas, culturais, políticas, ambientais entre outras (MARQUES; BERNARDO, 2021).

O potencial para desenvolvimento da cultura do chá com as folhas de café, para além das interações científico-sociais, engloba diferentes benefícios à saúde tais como exploração sensorial olfativa e visual, prazer, hidratação, digestibilidade, interação com a microbiota intestinal, capacidade antioxidante, anti-inflamatória e diversas outras funcionalidades que complementam a melhora da saúde de forma integrativa (CHEN *et al.*, 2018). Assim como as folhas da *Camellia sinensis* são processadas de diferentes formas para obtenção de variados tipos de chás (verde, amarelo, branco, oolong, preto e escuro), com diferenças sensoriais e nos teores de compostos bioativos (ZHAO *et al.*, 2019), as folhas de café se apresentam como matrizes em potencial.

Entretanto, no Brasil a cultura de café é obtida predominantemente pelo cultivo convencional, com a utilização de diferentes insumos químicos (BRASIL, 2021). Nesse sentido é necessário pesquisar o impacto das pulverizações de praguicidas nas plantações de café, na qualidade dos chás de suas folhas, bem como a presença de resíduos de agrotóxicos no produto a ser consumido. Essa contaminação pode impactar nas respostas fisiológicas e interferir na longevidade do indivíduo (GOMES *et al.*, 2020; MARQUES *et al.*, 2021). Assim, a busca por uma bebida, cuja produção gere renda às famílias agricultoras, que mantenha a qualidade do solo, da água e da saúde humana, contribuindo para a sua longevidade são premissas importantes no desenvolvimento de produtos alimentícios.

2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver diferentes tipos de chá com apelo à sustentabilidade e à promoção da longevidade humana, a partir de folhas da desbrota de cafeeiros de cultivos orgânico e convencional.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar uma revisão de literatura narrativa sobre o envelhecimento do ponto de vista social e biológico, com destaque para os aspectos fisiológicos e nutricionais;
- b) Realizar uma revisão de literatura narrativa a fim de compreender o efeito da sustentabilidade no marketing sensorial;
- c) Desenvolver diferentes tipos de chás a partir das folhas da desbrota de cafeeiros provenientes de cultivos orgânico e convencional, simulando processamentos empregados na *Camellia sinensis* e a fermentação em estado-sólida com diferentes culturas iniciadoras;
- d) Caracterizar as infusões obtidas quanto aos teores de flavonoides totais, fenólicos totais e potencial antioxidante;
- e) Caracterizar a cinética da fermentação para determinar o ponto ótimo a partir dos teores de flavonoides totais, fenólicos totais e potencial antioxidante;
- f) Avaliar a presença de resíduos de praguicidas nas infusões obtidas.

3 REVISÃO LITERATURA

3.1 LONGEVIDADE E NUTRIÇÃO

Uma população não envelhece porque seus membros estão doentes, mas por conseguir vencer muitas doenças, como algumas epidemias ou doenças infecciosas (CRUZ, 2020). O envelhecimento populacional é uma grande conquista e um dos maiores desafios da sociedade mundial, é uma revolução particular da composição etária da população (ROSA, 2020; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2015).

As análises demográficas utilizam partições etárias de 0-19 anos como idade jovem, 20-59 anos como idade ativa e 60 ou mais anos, como idade idosa ou, em alternativa, 0-14 anos como idade jovem, 15-64 anos como idade ativa e 65 ou mais anos, como idade idosa (ROSA, 2020). Essas partições etárias, se aproximam de marcadores que balizam as três principais fases da vida: até os 15 anos, ou seja, perto da idade em que se torna possível entrar no mercado de trabalho; dos 15 aos 64 anos, período em que se é considerado ativo em termos do mercado de trabalho; a partir dos 65 anos, fase também designada por terceira idade, período de vida frequentemente marcado pela aposentadoria referência (ROSA, 2020). Conforme a Organização das Nações Unidas – ONU (1982) e o Estatuto do Idoso (BRASIL, 2003), considera-se idosa nos países em desenvolvimento, a pessoa com 60 ou mais anos, de forma diferente, nos países desenvolvidos considera-se idosa a pessoa com 65 ou mais anos de idade.

Segundo Perissé (2019), o registro dos índices de 2019, de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua), gerida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), as pessoas idosas correspondem a um pouco mais de 32 milhões da população, representando 15,7% da população. Atualmente, o número de idosos acima de 60 anos já é maior que o de crianças até 9 anos de idade (IBGE, 2020). Assim, a sociedade brasileira está entrando em uma profunda mudança de estrutura populacional.

Uma projeção realizada pelo IBGE mostra que a população deverá crescer até 2047, quando chegará a 233,2 milhões de habitantes, sendo previsto que o número de idosos ultrapasse o de jovens no Brasil em 2031. Em 2060, um quarto da população deverá ter mais de 65 anos de idade. O envelhecimento da população brasileira

afetará a taxa de fecundidade, que tenderá a reduzir de 1,77 para 1,66 em 2060, em decorrência do aumento na quantidade de mulheres que engravidam entre 30 e 39 anos e pela redução da participação de mulheres entre 15 e 24 anos na fecundidade em todas as grandes regiões do país. De acordo com o IBGE, o ano de 2048 será o marco para o início da redução numérica da população brasileira. Neste contexto, Minas Gerais apresenta um quadro de envelhecimento mais acelerado que a média nacional sendo previsto para 2040, o ano em que sua população começará a diminuir (IBGE, 2018).

O Relatório mundial sobre envelhecimento e saúde 2015 da OMS concluiu que há poucas evidências de que os anos de vida adicionais estão sendo vivenciados com melhor saúde do que gerações anteriores da mesma idade. No entanto, de forma geral, as pessoas mais velhas de segmentos com maior rendimento mensal, experimentam vidas mais longas e saudáveis, embora as famílias em situação de vulnerabilidade social, em especial nos países pobres com menos oportunidades e recursos tem a probabilidade de ter a saúde mais precária e as maiores necessidades de assistência (WHO; 2015).

O processo de envelhecimento é uma experiência heterogênea, ocorrendo de maneiras diferentes para indivíduos que vivem em contextos sociais, financeiros e culturais distintos. Essa diferenciação é influenciada por circunstâncias relacionadas a fatores intelectuais, dos hábitos e atividades físicas, da personalidade e da incidência de patologias ao longo da vida (CONKOVA *et al.*, 2020). A idade cronológica, que mensura a passagem do tempo desde o nascimento, é um dos meios mais utilizados para obter informações sobre uma pessoa. Entretanto, o processo de envelhecimento é multidimensional (LUCENA *et al.*, 2020) e a idade cronológica passa a apresentar restrições com relação às medidas da função, do desenvolvimento biológico, psicológico e social, pois ela, por si só, não é a única responsável pelo desenvolvimento. Essas interações estão relacionadas com as condições culturais na qual o indivíduo está inserido. Assim, as condições históricas, políticas, econômicas, geográficas e culturais produzem diferentes representações sociais da velhice e do idoso. Ainda, a uma mesma idade cronológica entre duas pessoas, pode-se observar diferentes níveis de vulnerabilidade frente a riscos provocados por agentes exógenos, como a COVID-19 e agentes endógenos que ameaçam a saúde podendo levar à morte.

A pretensão de uma sociedade para todas as idades e para todas as gerações consegue-se com cidadãos que sejam protagonistas de sua história (MARTINS, 2015).

O termo envelhecimento, compreende muitas teorias que tentam explicar do ponto de vista evolutivo, a senescência como uma deterioração progressiva inevitável da função fisiológica ao longo dos anos (KYRIAZIS, 2020). Entretanto, a expectativa de vida depende mais do ambiente em que o indivíduo está, do que dos fatores genéticos. Portanto, fatores como estilo de vida, obesidade, falta de exercícios físicos, doenças crônicas como diabetes e Alzheimer podem ter um importante papel na limitação da expectativa de vida (FINCH, 2004). Assim, podemos observar o envelhecimento como um processo, a velhice como uma fase da vida e o idoso como resultado de um conjunto, cujos componentes estão intimamente relacionados (DOURADO, 2011).

Olshansky *et al.* (2021), relataram que esses e outros fatores relacionados a um estilo de vida moderno podem reverter a curva de ascensão da expectativa de vida nas próximas décadas. A esse ponto, torna-se importante conhecer os aspectos do desenvolvimento biológico do envelhecimento afim de buscar intervenções nutricionais que reduzam a taxa de deterioração dos indivíduos e entre os indivíduos.

A despeito da diversidade de definições acerca do envelhecimento bem-sucedido, a expectativa de vida se refere ao período que abrange um processo multifatorial relacionado a doenças, funções cognitivas, engajamento social e fatores genéticos, enquanto a longevidade indica a sobrevivência até a velhice extrema com saúde. Assim, chegar à velhice com boa saúde significa estender a longevidade sendo esse mecanismo um entrelaçamento complexo entre fatores genéticos e o meio ambiente. Os fatores genéticos para a expectativa de vida humana foram estimados de 20 a 30% sendo particularmente forte, 35%, nos idosos mais velhos (EKMEKCIOGLU, 2019). Os filhos de centenários apresentam menor prevalência de doenças relacionadas à idade, bem como perfis mais benéficos para muitos parâmetros metabólicos e imunológicos do que os controles pareados por idade e sexo. No entanto, a hereditariedade da longevidade humana permanece em estudo (PIGNOLO, 2019). A nutrição e o estilo de vida são os maiores contribuidores para a longevidade com saúde (CHRISTENSEN, 2009; EKMEKCIOGLU, 2019).

Fatores associados às pessoas longevas são abstenção ao fumo, atividade

física, engajamento social e propósito de vida, espiritualidade, manutenção da massa corporal normal e uma dieta saudável com altos consumos de vegetais, frutas e grãos integrais (PIGNOLO, 2019). Além da dieta saudável, comer com moderação, ou seja, refeições menores com ingestão calórica mais baixa, a exemplo dos Okinawans antigos que comem até estarem 80% satisfeitos (PIGNOLO, 2019).

A medida em que a expectativa de vida aumenta, devido aos hábitos da vida moderna, aumenta-se o potencial para doenças relacionadas à idade com o agravante associado a obesidade e diabetes tipo 2 (SPANN; OTTINGER, 2018). Uma recente reconceitualização apresenta o envelhecimento como o maior fator de risco para a maioria das doenças crônicas levando a morbidade e mortalidade (GREEN; HILLERSDAL, 2021). Neste sentido, compreender as vias metabólicas essenciais envolvidas na longevidade torna-se importante para encontrar possibilidades de melhorar os constituintes favoráveis à longevidade e inibir os desfavoráveis.

Os benefícios à longevidade e prevenção de doenças em todos os modelos de organismos estão fortemente ligados aos efeitos horméticos induzidos por intervenções como restrição calórica, jejum intermitente e exercícios físicos (MARTEL *et al.*, 2019; ROS; CARRASCOSA, 2020).

Entretanto, poucas pessoas parecem ser capazes de manter essas abordagens por longos períodos e, nesse sentido, candidatos a miméticos da restrição calórica tem ganhado atenção como uma estratégia potencialmente viável de intervenção (MADEO *et al.*, 2018).

Entre as diversas substâncias potenciais presentes nos alimentos vegetais, cogumelos e plantas, há uma grande diversidade de fitoquímicos que são compostos orgânicos alcaloides, polifenóis e terpenoides derivados do metabolismo secundário vegetal que possuem atributos benéficos sobre a melhora de doenças crônicas e na longevidade (ROS; CARRASCOSA, 2020).

A ingestão de polifenóis está associada à redução da mortalidade por todas as causas em humanos, bem como inversamente correlacionado com risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares e neurodegenerativas (DURAZZO *et al.*, 2019). O consumo de café, possivelmente a maior fonte de polifenóis da dieta humana também está associado a redução da mortalidade (MALERBA *et al.*, 2013).

O consumo dos fitoquímicos oriundos da dieta ativam vias metabólicas similares às atingidas pela restrição calórica, jejum intermitente e exercícios,

reduzindo as ERO's por ativação do Nrf2 que estimula a expressão de enzimas antioxidantes (MARTEL *et al.*, 2019).

A epigallocatequina galato, um polifenol encontrado no chá verde e nas folhas do café apresenta um efeito neuroprotetor e promove a angiogênese em modelos animais de isquemia cerebral por ativação da via Nrf2 (HUEBRA *et al.*, 2022).

A toxicidade tecidual induzida por metais pesados em células neuronais e tecidos como testículos, fígado e rins foi reduzida pela administração de epigallocatequina galato. Dentre os mecanismos de proteção que desempenham um papel central nos efeitos induzidos por polifenóis incluem a eliminação de ERO's, quelatação de metais, efeitos anti-inflamatórios, proteção mitocondrial e ativação do Nrf2 (HUEBRA *et al.*, 2022; MALERBA *et al.*, 2013).

Muitos fitoquímicos apresentam um efeito bifásico, uma resposta hormética nas funções fisiológicas onde os efeitos benéficos são encontrados em baixas doses e efeitos prejudiciais em altas dosagens (MARTEL *et al.*, 2019).

Como exemplo, uma dosagem baixa de resveratrol (2mg/kg) reduz a inflamação e úlceras estomacais induzidas por indometacina em camundongos em contraste à altas dosagens (5 e 10 mg/Kg) que aumentaram a formação de úlceras e marcadores inflamatórios. A dose de fitoquímicos determina, portanto, se esses compostos produzem efeitos benéficos ou tóxicos (MARTEL *et al.*, 2019).

Os polifenóis do café promoveram efeitos antienvhecimento através da indução da autofagia, aumento de AMPK e redução de mTOR no fígado, músculos e coração de camundongos (CAO *et al.*, 2022; MARTEL *et al.*, 2019).

Os polifenóis do chá verde, *Camellia Sinensis*, apresentaram efeitos antienvhecimento por ativação da SIRT-1, FOXO 1, Nrf2 e autofagia além de melhorar a memória de trabalho e memória episódica de ratos idosos reduzindo a neuroinflamação pela modulação da SIRT-1 no hipocampo (MARTEL *et al.*, 2019; QUEZADA-FERNÁNDEZ, 2019).

Os fitoquímicos são absorvidos em baixas doses e metabolizados por enzimas detoxificantes antes de serem excretados. Após a ingestão de uma xícara de café, aproximadamente 25% dos polifenóis inicialmente encontrados na bebida são absorvidos e podem ser detectados no sangue ou na urina sob a forma de metabólitos sulfatados (WILLIAMSON *et al.*, 2011).

Em uma única dose de 20 mg/kg de chá verde, epigallocatequina galato,

epigallocatequina e epicatequina atingiram concentrações máximas de 78, 223 e 124 ng/ml respectivamente no sangue humano uma hora e meia após a ingestão com 90% dos polifenóis removidos da circulação em oito horas (LEE *et al.*, 2006).

A baixa absorção e biodisponibilidade de muitos fitoquímicos *in vivo*, tem sido reportada como uma razão contra seus possíveis efeitos benéficos à saúde. Entretanto, a baixa biodisponibilidade de fitoquímicos é consistente com o conceito de que essas moléculas produzem efeitos horméticos benéficos em doses baixas (MARTEL *et al.*, 2019).

Formas específicas de preparo do alimento promovem maior biodisponibilidade dos fitoquímicos como a pimenta preta que aumenta a biodisponibilidade da curcumina e o preparo em óleo de alimentos que contém betacarotenos (MORITZ; TRAMONTE, 2006; SILVA; BIEGELMEYER, 2020).

Entretanto, os fitoquímicos não necessitam estritamente serem absorvidos para produzirem efeitos benéficos no corpo humano pois a microbiota intestinal é capaz de metabolizar os polifenóis em diferentes metabólitos que são absorvidos pela circulação ou utilizados para produção de vitaminas e outros compostos (MARTEL *et al.*, 2019).

Considerando os polifenóis possíveis candidatos à miméticos da restrição calórica, bem como seus efeitos horméticos na saúde e longevidade, compreender o envelhecimento por meio de suas características populacionais, políticas e biológicas torna-se importante para estudarmos a viabilidade de um produto sustentável. Ainda, estratégias terapêuticas fáceis de serem utilizadas pela sociedade como um todo, em formulações já bem difundidas, como os chás, torna-se promissor o conhecimento sobre as folhas do cafeeiro.

Há uma constante busca por qualidade de vida, sendo um incentivo ao desenvolvimento de alimentos funcionais, que entreguem maior quantidade e diversidade de nutrientes e não-nutrientes capazes de prevenir doenças e promover um envelhecimento saudável e longo.

A busca pelo equilíbrio da balança entre produção de EROs e atividade antioxidante tem apresentado diferentes resultados entre os diversos modelos experimentais (MARTEL *et al.*, 2019). No geral, uma melhora do estresse oxidativo contribui para o aumento da expectativa de vida e muitos esforços foram feitos considerando que o bloqueio das respostas oxidativas poderiam reduzir o processo

de envelhecimento (RISTOW; ZARSE, 2010; WILHELM; RICHLY, 2018).

Neste sentido, os antioxidantes, compostos que interagem com as EROs, sintéticos ou naturais são extensivamente investigados. Para além dos efeitos funcionais dos produtos, considera-se, atualmente, a importante questão da sustentabilidade. Aplicando-se os preceitos de qualidade social, ambiental e econômica, a população tem avaliado os produtos apresentados pelo mercado nacional e internacional sob a ótica sustentável. A esse respeito, o marketing sensorial torna-se um impulsionador de produtos com características sustentáveis ou não (MARQUES; BERNARDO, 2021). A sobrecarga de estímulos visuais proporcionados pela indústria do *marketing* tem gerado confusão de informações acerca do processo de escolha e compra de alimentos pelo consumidor (BERČÍk *et al.*, 2021). Esse contexto desperta o interesse na compreensão dos sentidos que determinam as emoções evocadas no consumidor, tornando maior a possibilidade de atração e compra do produto (FALK *et al.*, 2012).

Swinburn *et al.*, (2019) propõem que a obesidade é uma resposta ao ambiente obesogênico em que vivemos e somos estimulados. Compreendendo o contexto atual, pós-pandemia de COVID-19 e os debates realizados no meio científico que trouxeram à luz, a sindemia global da obesidade, desnutrição e alterações climáticas, serão necessárias profundas transformações visando a produção sustentável de alimentos e conscientização para a escolha dos mesmos (WILLET *et al.*, 2019).

Assim, o estudo da viabilidade de diferentes processamentos para formulações de chá das folhas de café poderá abarcar os pilares da sustentabilidade, auxiliando na construção social para melhor alimentação pelo SUS bem como fornecer compostos bioativos que auxiliem as alterações progressivas que ocorrem nas células, tecidos e órgãos, promovendo assim a longevidade (KYRIAZIS, 2020).

3.2 PRODUÇÃO DE CAFÉ (*COFFEA ARABICA L.*) E DESBROTA

O café é uma das bebidas mais populares do mundo, sendo a terceira mais consumida, depois da água e do chá. É o principal produto de exportações do agronegócio de Minas Gerais e, portanto, um importante gerador de empregos, renda e, principalmente, um meio de vida para milhares de agricultores mineiros (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION, 2022).

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo e apresentou um aumento de 23,3% ao atingir 24,66 milhões de sacas entre o período de outubro de 2020 a março de 2021. Minas Gerais destaca-se no cenário nacional com 70% da produção de café arábica, contribuindo com 1,23 milhão de hectares cultivados com essa espécie, correspondendo a 68,8% da área ocupada com *C. arabia L.* (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION, 2022).

O café é produzido a partir dos grãos torrados do fruto do cafeeiro que pertence à família botânica Rubiaceae, com cerca de 500 gêneros e mais de 6000 espécies. Constitui em sua maioria de árvores e arbustos tropicais que crescem nas áreas mais baixas das matas (SILVA; NAVICKIENE, 2019). Outros membros da família são as gardêneas e as plantas produtoras de quinino e outras substâncias úteis. Duas das espécies vegetais mais importantes do comércio internacional de café são a *Coffea arabica L.* e a *Coffea canehora* Pierre comumente conhecidas como Arábica e Robusta (SILVA; NAVICKIENE, 2019)

Um desafio aos cafeicultores é a prática da desbrota que consiste na retirada de ramos ortotrópicos, improdutivo de crescimento vertical, denominados de ramos “ladrões”, que surgem no caule principal do cafeeiro e utilizam parte das reservas energéticas da planta para seu crescimento prejudicando a produção do cafeeiro (FERNANDES *et al.*, 2012).

Em cafeeiros na fase de formação seu surgimento ocorre naturalmente, cujo crescimento ocasiona a deformação da planta e provoca enfraquecimento por concorrência de nutrientes (SANTOS, 2005). Em cafeeiros adultos esses ramos prejudicam a estrutura da planta e provocam diminuição da produção, sendo suas emissões estimuladas por deficiências nutricionais, ataques de pragas e doenças, competição das plantas daninhas, déficit hídrico e podas drásticas (SANTOS, 2005).

O manejo da desbrota deve ser realizado duas a três vezes durante o ano quando os brotos atingem de 0,2 a 0,3 m de altura, procedendo à retirada total em plantas novas e, em plantas podadas, deixando de um a dois brotos mais vigorosos (SANTOS, 2005). A desbrota, em diversos casos, é uma prática esquecida pelo produtor que fica desatento ao desenvolvimento dos brotos ou que opta pela não realização da mesma devido ao alto custo advindo de mão-de-obra. Estima-se a necessidade de 25 a 30 homens por dia por hectare como mão de obra para desbrota

dos cafeeiros a cada ano a um custo médio de R\$ 700,00 por hectare (ASSIS *et al.*, 2022).

Neste sentido, a desbrota é uma prática essencial para a longevidade da planta e, mais importante, para a longevidade com produtividade de uma lavoura de café (SANAR, 2016).

3.2.1 COMPOSTOS BIOATIVOS E EFEITOS FUNCIONAIS DAS FOLHAS DO CAFEIEIRO

As folhas do cafeeiro possuem quantidades elevadas de compostos fenólicos, importantes para a proteção da planta contra pragas e outros agentes nocivos, exercendo efeitos antioxidantes e antibacterianos (PATIL *et al.*, 2022). Os compostos bioativos nas folhas do cafeeiro têm sido evidenciados sobre as determinações de alcaloides (cafeína, trigonelina, teobromina e metilxantina), flavonoides (antocianinas, quercetina, isoquercetina, epicatequinas, catequinas, epigallocatequina, epigallocatequina galato, rutina e campferol), terpenoides (cafestol e 16-O-metil cafestol), xantonoides (mangiferina e isomangiferina), ácidos fenólicos (cafeico, clorogênico, p-cumárico e ferúlico), fitosterol, taninos, aminoácidos e açúcares (CAMPA *et al.*, 2012; CHEN, 2018; HUNT *et al.*, 2021; NGAMSUK *et al.*, 2019; RATANAMARNO; SURBKAR, 2017).

As folhas de café são ricas em ácidos clorogênicos e mangiferina que apresentam muitos benefícios à saúde. Os ácidos cafeoilquínicos e os ácidos dicafeoilquínicos são dois metabólitos secundários solúveis da via fenilpropanoide com grande importância econômica para a produção de café, sendo os mais abundantes nas folhas e nos grãos (CONÉJÉRO *et al.*, 2014). Entretanto, durante a torrefação dos grãos, a maior parte dos ácidos clorogênicos é perdida, ao contrário dos processamentos para chás que mantêm os ácidos nas folhas (CHEN, 2019). Assim como a mangiferina, a concentração de ácidos clorogênicos diminuem com a idade da folha (CAMPA *et al.*, 2012).

A exposição controlada de radiação solar na região do município de Viçosa, MG, promoveu aumento de metabólitos primários em folhas de café arábica. As altas concentrações de compostos metabólicos secundários ricos em carbono como fenóis e ricos em nitrogênio como alcaloides de purina, bem como o *pool* desses compostos,

aumentaram acentuadamente com o fornecimento de luz (MARTINS *et al.*, 2014). Os compostos fenólicos constituem a classe mais abundante de metabólitos secundários de plantas e podem atuar como agentes de triagem como sequestradores de espécies reativas de oxigênio (ERO's) (HUNT *et al.*, 2021).

Historicamente, as folhas de café têm um abrangente uso na etnomedicina, para tratar diversas doenças sendo utilizadas por habitantes locais de países da África e Ásia e consumidas como chá desde 1800 (CHEN, 2018). A etnomedicina desempenha uma função importante na saúde, especialmente nos países em desenvolvimento como da África, Ásia e América Latina por apresentarem recursos terapêuticos a um preço acessível e boa eficácia. Cerca de 80% dos humanos usam fonte vegetal como remédio tradicional para atenção primária à saúde na Etiópia (BELAYNEH; BUSSA, 2014).

O *C. arabica* foi um dos medicamentos de plantas comercialmente importantes na África (VAN WYK, 2015), e o uso etnofarmacológico das folhas de café foi pesquisado por Ross (2005) e Patay *et al.*, (2016). Eles são usados para tratar anemia, edema, astenia e raiva no Haiti; diarreia, dor intestinal, sangramento causado por aborto na África (PATAY *et al.*, 2016) e tuberculose em Uganda (TABUTI *et al.*, 2010); tratar e aliviar a dor de enxaqueca em Cuba; aliviar a tosse associada a gripe e doenças pulmonares no Peru; aliviar a febre e estimular a produção de prolactina no México (ROOS, 2005); diminuir a dor de cabeça, diarreia e náusea bebendo uma bebida de folha de café chamada “*hoja*” na Etiópia (PATAY *et al.*, 2016). Recentemente, as atenções voltaram-se às folhas do cafeeiro pelos seus benefícios para a saúde por conterem muitos compostos bioativos. Campa *et al.* (2012), publicaram uma pesquisa comparando 23 espécies nativas da África, considerando as concentrações de ésteres de ácido hidroxicinâmico e mangiferina e observaram acúmulo nas folhas em sete espécies com redução de acordo com o envelhecimento. Os benefícios das folhas de café para a saúde humana foram reconhecidos mundialmente, a partir desse estudo (CAMPA *et al.*, 2012).

As pesquisas relacionadas aos fitoquímicos, bioatividades, aplicações e impactos dos métodos de processamento na composição das folhas de café ainda são escassos. Devido a presença de muitos bioativos nessas folhas, há um crescente interesse nas aplicações como chá, suplementos alimentares e etnomedicina (CHEN, 2019).

As aplicações farmacológicas das folhas de café contribuem para as atividades antioxidante, anti-inflamatória, anti-hipertensiva, antimicrobiana e antifúngica (CAMPA *et al.*, 2012; MONTEIRO *et al.*, 2019; PATAY *et al.*, 2016).

3.2.2 Aplicações tecnológicas das folhas de café

As folhas de café têm sido patenteadas como chás ou bebidas, agente terapêutico, substituto ao tabaco, limpeza facial, material de embalagem, alimentação animal, fungicida orgânico etc. (CHEN, 2019). Na base de dados de patentes nacionais, INPI (Instituto Nacional de Propriedade Intelectual), não foi encontrado nenhuma patente ou solicitação com os termos “folha de café” ou “suplemento de folha de café” ou “chá de folha de café”. Entretanto, no SPACENET Patente Search e no Google Patents foram encontradas diversas patentes considerando (Tabela 1):

Tabela 1 - Resultado das buscas de patentes no banco de dados SPACENET e Google Patents.

Termos utilizados para busca	Registros
"coffee leaves" AND nftxt = "gamma-aminobutyric acid"	11
"coffee leaves"	384
"coffee leaf"	1302
"coffee leaves" AND "biogenic amines"	0
"coffee leaves" AND "poliamines"	0
"coffee leaves" AND "fermented"	42
"coffee leaves" AND "tea"	193
"coffee leaves" AND "beverage"	166
"coffee leaf" AND "method"	7
"coffee leaves" AND "therapeutic agents"	4
"coffee leaf" AND "beverage"	1
"coffee leaves" AND "tea extract"	10

Fonte: SPACENET Patente Search (<https://worldwide.espacenet.com/>). Acesso em: 15 jul. 2021. e no Google Patents (<https://patents.google.com/>).

Foi observado grande interesse no desenvolvimento de métodos de extração e produtos melhorados a partir das folhas de café. Neste contexto, a busca pelo desenvolvimento de um produto a partir das folhas de café torna-se importante para

a região do Sudeste Brasileiro, em especial ao Sul de Minas Gerais, a maior produtora de café do Brasil, ao considerarmos que o perfil fitoquímico das folhas é variável de acordo com a espécie, cultivar, clima da região de crescimento e estágio de maturação. Ainda, os métodos de processamento que poderão alterar a composição fitoquímica bem como a bioatividade das folhas de café.

As colheitas de café acontecem uma a duas vezes ao ano e, por comparação, a desbrota pode acontecer mais de quatro vezes dependendo da necessidade de se manter o arbusto cafeeiro com boa produtividade. Neste sentido, a utilização das folhas do café como um novo produto poderia não só aumentar a renda dos proprietários, como também criar mais empregos para os trabalhadores das fazendas de café reduzindo a migração pela escassez de empregos e fornecendo um novo modelo econômico para a região.

3.2.3 Chás de folha do café

A utilização das folhas de café através de diferentes técnicas de preparo de chá tem sido relacionada aos métodos tradicionais de processamento da *Camellia sinensis*, planta tradicional para o preparo do chá verde e suas variações: chá branco, chá amarelo, chá vermelho, chá preto, chá oolong, chá escuro e matchá (CHEN *et al.*, 2018; RATANAMARNO; SURBKAR, 2017).

Os polifenóis aromáticos presentes nas folhas de café são dependentes do método de processamento. No método de processamento semelhante ao chá verde foram detectados isobutiraldeídos, isovaleraldeídos, valeraldeídos, hexanol e geranyl acetona. No método de processamento semelhante ao do chá oolong foram detectados acetato de etil, butanol, nonanol, decanal e L-metol (CHEN, 2019).

O processamento do chá, *Camellia Sinensis*, através da fermentação adiciona características sensoriais especiais por modificações químicas que foram identificadas como derivados de catequinas, ácidos fenólicos, alcaloides e terpenoides. Essas modificações, no chá fermentado, estão associadas a reações de degradação, oxidação, condensação, modificações estruturais, metilação e glicosilação (HUANG *et al.*, 2020). Os micro-organismos centrais que promovem as reações metabólicas que contribuem para o sabor e aroma diferenciado do chá são

do gênero *Aspergillus*, *Candida*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Saccharomyces* *tales* (ZHANG *et al.*, 2021).

A avaliação de formas otimizadas de atividades dos compostos bioativos tem ganhado importância devido às suas capacidades em promover benefícios à saúde na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, bem como tratamento em diferentes situações clínicas (CAMANDOLA *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2019). Neste sentido, subprodutos agroindustriais como fontes desses compostos, como as folhas de café a partir da desbrota, tornam-se interessantes na busca por processos que otimizem as perspectivas sustentáveis tais como redução de resíduos ambientais, favorecimento da mão de obra local, melhora da qualidade de vida para a agricultura familiar e maior oferta de bioativos na dieta, através de processamentos melhorados, favorecendo a longevidade do solo, da economia e da saúde.

Tradicionalmente, os compostos bioativos são extraídos dos vegetais por extração sólido-líquido por meio de solventes orgânicos (MARTINS *et al.*, 2011). O processo de fermentação das folhas de chá pode contribuir com alterações no perfil, teores, bioacessibilidade e extração dos compostos bioativos durante o processo de infusão. De acordo com Torres-León *et al.* (2019) as enzimas liberadas durante a fermentação atuam como biocatalisadores e melhoram a liberação e extração de bioativos. Apesar das evidências dos fitoquímicos das folhas de café para a saúde humana, ainda não há conhecimento sobre alterações no conteúdo de compostos fenólicos e flavonoides ocasionadas pela fermentação em estado sólido das folhas de café, tornando esse estudo de grande valor à comunidade científica e à agroindústria.

3.3 MÉTODO MULTIRRESÍDUO PARA ANÁLISE DE PRAGUICIDAS EM CHÁ DE FOLHAS DE CAFÉ

O manejo preventivo em cultivares orgânicos bem como nos que utilizam agrotóxicos é foco de estudos para a agroindústria cafeeira, uma vez que os fungos são uma das principais doenças do cafeeiro e leva a grandes quedas de produtividade, chegando a mais de 30% se não for controlada (ALFONSI *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019). Há uma crescente busca por produtos advindos de culturas orgânicas e agroecológicas considerando os pilares ambientais, econômicos e sociais relacionados à sustentabilidade planetária (WILLETT *et al.*, 2019).

Agrotóxicos são produtos químicos sintéticos usados para matar insetos, larvas, fungos, carrapatos sob a justificativa de controlar as doenças provocadas por esses vetores e de regular o crescimento da vegetação, tanto no ambiente rural quanto urbano. Seu uso agrícola está relacionado ao setor de produção, seja na limpeza do terreno e preparação do solo, na etapa de acompanhamento da lavoura, no depósito e no beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens e nas florestas plantadas (BRASIL, 2021).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), são registradas 20 mil mortes por ano devido o consumo de agrotóxicos (INCA, 2021). O Brasil é um dos países com maior consumo de produtos agrotóxicos desde 2008, decorrente do desenvolvimento do agronegócio no setor econômico, com sérios problemas quanto ao uso no país: permissão de agrotóxicos já banidos em outros países e venda ilegal de agrotóxicos já proibidos (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Diferentes tipos de pesticidas causam efeitos deletérios em humanos que podem variar de dores de cabeça, náuseas e irritação da pele e olhos a problemas crônicos, como câncer e distúrbios neurológicos. Tais efeitos se estendem a outros organismos vivos, como pássaros, peixes e abelhas, contaminando água, solo e plantas. Os benefícios de aumento na produção, precisam ser avaliadas para garantir a saúde humana, a segurança alimentar e a proteção ambiental (GOMES *et al.*, 2020).

A ferrugem do cafeeiro, comum em nossa região e na espécie arábica, é um dos principais problemas para a cafeicultura e, a pulverização foliar de epoxiconazol, reduz os sintomas da doença. Os triazóis são conhecidos por aumentar os efeitos antioxidantes causados por lesões de ozônio em trigo (WU *et al.*, 2019), retarda o crescimento por alterações na biossíntese de fitoesteróis no cafeeiro e, por outro lado, mantendo com eficiência a atividade fotossintética e antioxidante (CETIN *et al.*, 2015). Embora seja comum o uso de fungicidas sistêmicos de amplo espectro para o controle da doença, seus princípios ativos apresentam alta toxicidade e persistência no meio ambiente (GOMES *et al.*, 2020).

Os organoclorados são compostos lipossolúveis com alta persistência no meio ambiente, considerados os mais agressivos podendo causar disfunções endócrinas e mitocondriais, além de serem compostos possivelmente cancerígenos e mutagênicos, afetando o sistema reprodutor de humanos e animais (GOMES 2021; RÓDIO *et al.*, 2021).

Técnicas cromatográficas e espectrometria de massas auxiliam na determinação de resíduos de agrotóxicos e avaliam a qualidade do alimento que chega ao consumidor e, juntamente com os Limites Máximos de Resíduos (LMRs), estabelecidos pela legislação de cada país, esses instrumentos podem auxiliar no controle à exposição aos agrotóxicos (CHARON *et al.*, 2019; PICO *et al.*, 2020). Embora os LMRs sejam utilizados como parâmetros de qualidade dos alimentos, as diferenças globais na legislação de agrotóxicos não garantem a segurança do consumidor.

Portanto, é necessário destacar a importância da determinação de resíduos de agrotóxicos em alimentos, especialmente em chás para consumo constante com foco à melhorar a ingestão de compostos bioativos, visando garantir a segurança alimentar, uma vez que esses compostos podem representar riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

Ainda, para que agricultores que tenham suas culturas cafeeiras pulverizadas com agrotóxicos possam se beneficiar dos produtos advindos da desbrota na forma de chá, entender e detectar os agroquímicos utilizados na região do Sul de Minas é de grande interesse nesse estudo.

Diante do exposto, como parte dos estudos para compreensão dos aspectos relacionados ao envelhecimento, o consumo de alimentos sustentáveis, a utilização das folhas de café para o preparo de diferentes tipos de chás sustentáveis bem como sua influência no conteúdo de polifenóis, potencial antioxidante e resíduos de praguicidas, exploramos os temas em quatro artigos, inseridos nos capítulos I, II, III e IV abaixo.

CAPÍTULO I – ASPECTOS SOCIAIS E BIOLÓGICOS DO ENVELHECIMENTO INDIVIDUAL, O ESTILO DE VIDA E NUTRIÇÃO COMO ESTRATÉGIAS PARA A LONGEVIDADE HUMANA

Artigo de Revisão Narrativa aceito para publicação na Revista Estudos Interdisciplinares sobre o Envelhecimento – ISSN: 1517-2473 (impresso) e 2316-2171 (eletrônico)

O presente capítulo está formatado de acordo com as normas de publicação da Revista Estudos Interdisciplinares sobre o Envelhecimento.

Kamila Leite Rodrigues & Bruno Martins Dala-Paula

Resumo

O processo de envelhecimento é uma experiência heterogênea, ocorrendo de maneiras distintas para os indivíduos a partir do contexto em que estão inseridos. Dessa forma, pensar em longevidade associada à qualidade de vida, remete a compreensão da necessidade de investimento em espaços e programas que promovam atividades e visibilidade ao envelhecimento ativo. O envelhecimento de um indivíduo, naturalmente provoca alterações bioquímicas e fisiológicas, afetando mudanças fenotípicas mais complexas, sendo um fator de risco para muitas condições crônicas. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão narrativa da literatura científica a fim de discutir alguns aspectos sociais e biológicos do envelhecimento individual e, por meio de suas teorias biológicas, apresentar e direcionar estratégias acerca da promoção da longevidade humana. Os estudos mostraram que existem diferentes alimentos com potencial de contribuir com a qualidade de vida, pois as respostas aos alimentos são impulsionadas por características individuais genéticas ou pelo microbioma intestinal. Nesse contexto, muitos compostos bioativos vêm sendo alvo de pesquisas, merecendo destaque as poliaminas, relacionadas à proteção contra o declínio cognitivo associado ao envelhecimento e contra doenças cardiovasculares. Sendo assim, a adoção de hábitos de vida saudáveis, associados a uma alimentação nutricionalmente equilibrada são estratégias importantes para o envelhecimento saudável. Pensar em longevidade humana requer pesquisas e adoção de estratégias amplas e acessíveis, que compreendam as diferentes dimensões do envelhecimento.

Palavras-chave: Longevidade; Envelhecimento Saudável; Poliaminas; Saúde do Idoso

Abstract

The aging process is a heterogeneous experience, occurring in different ways for individuals according to the context in which they live. Thus, thinking about longevity associated with quality of life leads to an understanding of the need to invest in spaces and programs that promote activities and visibility to active aging. The aging of an individual naturally causes biochemical and physiological changes, affecting more complex phenotypic changes, being a risk factor for many chronic diseases. In this context, this work aimed to carry out a narrative review of the scientific literature in order to discuss some social and biological aspects of individual aging and, through its biological theories, present and direct strategies to promote human longevity. Evidence demonstrates that there are different foods with the potential to contribute to quality of life, as responses to foods are driven by individual genetic characteristics or by the intestinal microbiome. In this context, several bioactive compounds have been the object of research, highlighting the group of polyamines, related to protection against cognitive decline associated with aging and against cardiovascular diseases. Therefore, the adoption of healthy lifestyle habits, associated with a nutritionally balanced diet are important strategies for healthy aging. Thinking about human longevity requires research and the adoption of broad and accessible strategies that understand the different dimensions of aging.

Keywords: Longevity; Healthy Aging; Polyamines; Health of the Elderly

1 Introdução

O envelhecimento populacional é uma grande conquista e um dos maiores desafios da sociedade mundial. É uma revolução particular da composição etária da população (WHO, 2015; GOMES, 2021). No Brasil, as pessoas idosas representam 15,7% da população, correspondendo a mais de 32 milhões. Atualmente, o número de idosos acima de 60 anos já é maior que o de crianças até 9 anos de idade (IBGE, 2020). Assim, a sociedade brasileira vem apresentando uma profunda mudança de estrutura populacional. Dentro de uma perspectiva sobre o processo de envelhecimento como um rompimento aos estereótipos de desvalorização das capacidades reflexivas e das possibilidades de agir e se fazerem presentes em diferentes atividades sociais, o envelhecimento ativo é necessário à obtenção de boas condições físicas, mentais e emocionais (CABRAL; MACUCH, 2016).

As análises demográficas utilizam partições etárias de 0-19 anos para idade jovem, 20-59 anos para idade ativa e 60 ou mais anos para idade idosa (BRASIL, 2013). Considerando o sistema vigente de produção mercadológica, os indivíduos mais jovens, segundo a classificação por idade cronológica, são privilegiados em detrimento aos mais velhos. Assim, os problemas decorrentes das limitações enfrentadas pelo idoso, geram dificuldades no exercício da cidadania. Essa organização societal fomenta relações de poder pela hierarquia de grupos mais jovens sobre os mais velhos (DA CRUZ, 2021).

O processo de envelhecimento é uma experiência heterogênea, ocorrendo de maneiras diferentes para indivíduos que vivem em contextos sociais, financeiros e culturais distintos os quais interferem nos fatores intelectuais, hábitos e atividades físicas, personalidade e a incidência de patologias ao longo da vida (CONKOVA *et al.*, 2020). A idade cronológica, que mede a passagem do tempo desde o nascimento, traz informações sobre o envelhecimento de uma pessoa embora apresente restrições com relação às medidas da função, do desenvolvimento biológico, psicológico e social. A idade biológica, a qual depende das condições celulares, dos tecidos e órgãos, apresenta impacto expressivo na busca pela vitalidade (LUCENA *et al.*, 2020; TUTTLE *et al.*, 2020) e longevidade (CAMPISI *et al.*, 2019). Assim, é possível se observar para uma mesma idade cronológica entre duas pessoas, diferentes níveis de vulnerabilidade frente aos riscos provocados por agentes exógenos, como a COVID-19, e agentes endógenos que ameaçam a saúde e podem levar à morte. Neste contexto, fatores históricos, políticos, econômicos, geográficos e culturais produzem diferentes representações sociais de construção do envelhecer e da velhice (LUCENA *et al.*, 2020).

O termo envelhecimento, definido também pela Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS) compreende muitas teorias que tentam explicar a senescência como uma deterioração progressiva inevitável da função fisiológica ao longo dos anos (BRASIL, 2005; KYRIAZIS, 2020). Entretanto, a expectativa de vida depende mais do ambiente em que o indivíduo está inserido, do que dos fatores genéticos. Portanto, o estilo de vida, a manutenção do peso ideal, a ingestão de nutrientes (a exemplo dos carboidratos, fibras, lipídios, proteínas, vitaminas e minerais) e não-nutrientes (a exemplo de compostos fenólicos, poliaminas e carotenoides) com propriedades funcionais “anti-envelhecimento”; a prática de exercícios físicos, bem como às condições crônicas como obesidade, diabetes, hipertensão arterial e Alzheimer podem ter importante papel no avanço ou limitação da expectativa de vida (FINCH, 2004; EKMEKCIOGLU, 2020). Assim, o envelhecimento é um processo com características complexas de variáveis intrínsecas e extrínsecas e a velhice uma fase

importante de vivência desse fenômeno sendo a longevidade associada ao conjunto desses componentes intimamente relacionados.

A compreensão dos aspectos sociais associados ao envelhecimento individual, assim como das teorias propostas para explicar as alterações biológicas inerentes ao processo de envelhecimento é necessária para o avanço de pesquisas que promovam a longevidade humana, associada ao aumento da qualidade de vida. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão narrativa da literatura científica, a fim de apresentar e discutir alguns aspectos sociais e biológicos do envelhecimento individual e, por meio de suas teorias biológicas, apresentar e direcionar estratégias acerca da longevidade humana.

2 Metodologia

Este trabalho se estrutura como uma revisão narrativa, caracterizada por uma forma não sistematizada de revisar a literatura. De acordo com Casarin *et al.* (2020) esse tipo de revisão é importante para buscar atualizações e contribuir com a caracterização do estado da arte a respeito de um determinado assunto. No entanto, comparado às revisões sistemáticas, apresenta processo mais simplificado de pesquisa e análise da literatura, permitindo a seleção de referências arbitrárias, sem a necessidade de detalhamento sobre procedimentos ou critérios usados para a seleção e avaliação, podendo estar sujeitas a vieses.

Nesta pesquisa, realizou-se a busca eletrônica por artigos e teses ao longo de janeiro a julho de 2021 pela busca no *PubMed*, *Scopus*, *SciElo* e *Google Acadêmico*. Os termos descritores escolhidos foram “*aging*”, “*longevity*”, “*theory of aging*”, “envelhecimento demográfico”, assim como suas combinações. Estes descritores foram associados a seus termos DeCS (descritores em ciência da saúde) correspondentes. Foram selecionados estudos em inglês e português, sem restrições quanto à data de publicação, considerando as informações relevantes sobre os aspectos sociais e demográficos do envelhecimento, as principais teorias que ilustram o processo de envelhecimento por meio de diferentes mecanismos biológicos, bem como suas interpretações atuais e perspectivas futuras ligadas a nutrição, qualidade de vida e longevidade.

Este artigo, que não tem a pretensão de esgotar os assuntos pesquisados, mas de apresentar ao leitor uma discussão interdisciplinar do processo de envelhecimento do indivíduo. Para tanto, sua estrutura contemplou: (i) os aspectos sociais e; (ii) biológicos, por meio das principais teorias de envelhecimento, além de (iii) estratégias nutricionais e de estilo de vida com potencial para a longevidade humana.

3 Resultados e discussões

3.1 Aspectos sociais do envelhecimento e qualidade de vida

Uma projeção realizada pelo IBGE aponta o ano de 2048 como marco para o início da redução numérica da população brasileira (IBGE, 2018). O Relatório mundial sobre envelhecimento e saúde 2015 da Organização Mundial da Saúde (OMS) concluiu que há poucas evidências de que os anos de vida adicionais estão sendo vivenciados com melhor saúde do que gerações anteriores da mesma idade. De forma geral, as pessoas mais velhas de segmentos com maior rendimento financeiro experienciam vidas mais longas e saudáveis, contrastando com as famílias em

situação de vulnerabilidade social (WHO, 2015).

O envelhecimento ativo, abrange o espectro da compreensão do processo de envelhecimento humano em que não consiste apenas estar fisicamente ativo ou trabalhar, mas se refere à participação contínua nas questões sociais, econômicas, culturais, espirituais e civis, onde a pessoa se percebe enquanto um sujeito provido de direitos, de reconhecimento existencial e com possibilidades de escolhas (CABRAL; MACUCH, 2016). Neste sentido, o planejamento estratégico deixa de ter um enfoque baseado nas necessidades das pessoas mais velhas como alvos passivos e passa a ter uma abordagem baseada em direitos aos idosos à medida que envelhecem. Essa abordagem dá suporte à responsabilidade dos mais velhos no exercício de sua participação nos processos políticos e em outros aspectos da vida em comunidade (WHO, 2015).

Dentre os diferentes modos de reconhecer e vivenciar as transformações relacionadas ao envelhecimento estão os relacionamentos interpessoais, a identificação com serviços e produtos ao entorno, a valorização da autoimagem, bem como a propagação de ações e atividades que incentivem o compartilhamento de saberes, que constituem sua história pessoal (FORNER; ALVES, 2019). O idoso é responsável por depositar elementos importantes para a construção da memória coletiva e da história social. Para além dessas percepções, o investimento em atividades e prestação de serviços que reforçam a vitalidade, respeitando as especificidades dessa fase da vida é fundamental. Como exemplo destas atividades, pode-se mencionar as Universidades Abertas à Maturidade, UAMA – Brasil, que oferecem cursos contemplando diferentes áreas, seja em educação formal ou não formal (SOUSA *et al.*, 2021). Uma iniciativa acontece no município de Alfenas, em Minas Gerais, pelo Programa de Extensão Universitária “Universidade Aberta à Terceira Idade” (UNATI), que por meio de diferentes atividades envolvendo os idosos residentes no município e proximidades, visa contribuir com a saúde e o bem-estar (REZENDE, 2017).

A presença do idoso no ambiente universitário traz diversos benefícios sociais (PFÜLLER, 2017) e há evidências de que possa contribuir com o retardo do desenvolvimento de doenças degenerativas, da atrofia por desuso e declínio da capacidade intelectual (MENEZES *et al.*, 2020). A participação dos idosos em um projeto de pesquisa e extensão universitária, acerca da educação alimentar e nutricional, vinculada à UNATI da Universidade Federal de Alfenas, possibilitou a caracterização socioeconômicas, consumo alimentar e estado nutricional, favorecendo o direcionamento e otimização das ações de educação em saúde (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Além disso, Pereira *et al.* (2021) constataram que os idosos participantes do mesmo projeto anteriormente relatado, apresentaram redução dos sintomas depressivos autorreferidos, após a participação de oito oficinas de educação alimentar e nutricional, com duração de duas horas semanais. Dessa forma, a realização de ações preventivas é necessária à adaptação e manutenção da independência da população à medida que envelhece. No entanto, ações e políticas públicas direcionadas aos idosos longevos, também classificados por alguns autores como quarta idade, continuam sendo necessárias uma vez que nesta população há grande prevalência de disfunções físicas e psicológicas e, conseqüentemente, redução da independência funcional (BALTES, SMITH, 2003).

Por outro lado, a política de desenvolvimento tem mais interesse na assistência materno-infantil, sendo direcionada aos jovens, pois o investimento precoce apresenta um retorno potencial de 50 a 60 anos de vida produtiva. Não obstante, os cuidados médico-sociais direcionados à manutenção de uma vida saudável para o idoso não

podem ser encarados como investimento. De fato, são um dever da sociedade àqueles que deram tanto de si para as gerações futuras (PAPALÉO NETTO, 2002).

A constituição de um novo pensar sobre a representação da pessoa idosa na e para a sociedade, remete a compreensão de que é emergente o investimento em espaços e programas que promovam atividades e visibilidade ao envelhecimento ativo (WHO, 2005; DA CRUZ, 2021). Essas atividades geram enriquecimento reflexivo, cultural e de autoconhecimento por meio do exercício da criatividade e promoção de atividades que estabeleçam uma comunicação assertiva, livre de pré-julgamentos que valorizem as diferentes percepções sobre o mesmo evento (PENG, *et al.*, 2019).

Uma proposta de um conjunto de atividades que ofereçam oportunidades acessíveis e agradáveis para os idosos permanecerem ativos, bem como o exercício de escuta aos eventos e histórias que a pessoa idosa possa vir a compartilhar, torna-se favorável ao envelhecimento ativo (WHO, 2015). Neste sentido, os entrelaços geracionais podem projetar uma nova visão da velhice e do envelhecimento, fortalecer a pessoa e contribuir com as novas formas de se aprender que devem ser estimuladas ao longo da vida para contribuir à longevidade saudável. A pretensão de uma sociedade para todas as idades e para todas as gerações se consegue com cidadãos que sejam protagonistas de sua história. Segundo Cabral e Macuch (2016), a educação intergeracional no campo da intervenção comunitária se reveste da maior importância para promover políticas de solidariedade, atuando de forma sustentável e compartilhada pelos envolvidos.

A sociedade atual encontra-se em um processo de redefinição de costumes e comportamentos estabelecendo novos paradigmas sobre as relações humanas, considerando valores que trazem nova visão sobre o mundo e a sociedade. É um novo período histórico em construção global, estimulada pela revolução da tecnologia, marcada pela instantaneidade e descartabilidade (RODRIGUES; SOARES, 2006).

Nesse predomínio da efemeridade o espaço para os idosos se torna marginalizado, resultando em dificuldades da aceitação de seu próprio envelhecimento. Para os que se encontram em idade “comercial/produziva”, assim como os idosos, o significado da velhice é mediado por crenças, preconceitos e estereótipos depreciativos sobre o fenômeno do envelhecimento, bem como de quem envelhece. A luz do fato irremediável de envelhecer leva às infundáveis buscas de se perceberem mais jovens para se sentirem melhores, entretanto, o sentimento é superficial e passageiro. De fato, o indivíduo não será biologicamente jovem para sempre e, de acordo com Sierra *et al.* (2021), fatores relacionados ao estilo de vida moderno podem reverter a curva de ascensão da expectativa de vida nas próximas décadas. A esse ponto, torna-se importante conhecer os aspectos do envelhecimento biológico a fim de se buscar intervenções interdisciplinares e multifatoriais que reduzam as complicações relacionadas ao envelhecimento individual, no sentido de contribuir com uma população longa, produtiva e feliz.

3.2 Aspectos biológicos do envelhecimento

Neste tópico serão apresentadas as principais teorias propostas para explicar o processo de envelhecimento biológico, a fim de possibilitar melhor compreensão do leitor às estratégias nutricionais e de estilo de vida, que vêm sendo estudadas e propostas para a longevidade associada à qualidade de vida. A senescência, termo atribuído às alterações progressivas que ocorrem nas células, tecidos e órgãos, é um

processo biológico que inclui mudanças fenotípicas complexas (WEINERT; TIMIRAS, 2003; KYRIAZIS, 2020). Entretanto, o desenvolvimento de uma doença crônica advém de processos pró-estimulatórios multifatoriais, capazes de agredir diferentes sistemas metabólicos que não estão sendo totalmente reparados (KYRIAZIS, 2020). Tal fato dá origem a danos e comprometimento da eficiência funcional em diferentes níveis: molecular, celular, tecidual, orgânico e até mesmo social, com impacto direto para a qualidade de vida (WILEY *et al.*, 2016).

As teorias da evolução apresentam as forças que moldam a arquitetura humana ao longo da história, isto é, ciclos de maturação, fertilidade e morte. Na população humana, essas forças estão mudando devido à diminuição nas taxas de natalidade e redução da mortalidade em idades mais jovens, como resultado de melhorias na alimentação e nutrição, habitação, saneamento e saúde (GAVRILOV; GAVRILOVA, 2002). Esse fato tem motivado a busca constante por qualidade de vida, sendo um incentivo ao desenvolvimento crescente de pesquisas básicas sobre o envelhecimento e longevidade. Compreender as interferências que ao longo do tempo podem impulsionar o envelhecimento na direção de alguns processos patológicos, como condições crônicas não transmissíveis, exemplificadas pela diabetes, hipertensão arterial, doenças cardiovasculares, alguns tipos de câncer e doenças neurodegenerativas (BARNARD *et al.*, 2014; WHO, 2015; CAMPISI *et al.*, 2019), poderá trazer modelos passíveis de minimizar os desfechos e agravos mencionados. Neste contexto, há muitas teorias sobre o envelhecimento que poderão nortear os investimentos científicos e sociais a favor da longevidade (HARMAN, 1957; WILLIAMS, 1957; HAYFLICK, 1965; KIRKWOOD, 2002; OTTINGER, 2018).

Diante do exposto, diferentes teorias são propostas na tentativa de explicar o desenvolvimento dos processos que levam ao envelhecimento biológico como as teorias evolucionistas que argumentam contra o envelhecimento programado, sugerindo que os organismos são programados para a sobrevivência, não para a morte. Nesta visão o envelhecimento resulta de um declínio na força da seleção natural e a longevidade requer investimentos em manutenção e reparo do organismo que devem competir com os mecanismos de crescimento, reprodução e atividades que possam melhorar a aptidão (KIRKWOOD, 2002).

A teoria evolutiva foi formulada na década de 1940 com base na observação de que a doença de Huntington manifestada tardiamente, permite que o portador se reproduza antes de morrer e “escape” da seleção natural (WEINERT; TIMIRAS, 2003; AUSTAD; HOFFMAN, 2018). Essa observação inspirou Peter Medawar na formulação da teoria de acumulação de mutação do envelhecimento, que sugere que mutações prejudiciais com ação tardia podem se acumular na população e, por fim, levar a patologia e à senescência (AUSTAD; HOFFMAN, 2018).

A partir do trabalho de Medawar, a teoria da pleiotropia antagonista, posteriormente proposta por George Williams em 1957, postula que a raridade da senescência na natureza resulta em uma seleção mais ativa de genes que beneficiam o início da vida, mas prejudicam a vida tardia (WILLIAMS, 1957; GAILLARD; LEMAÎTRE, 2017).

Nenhum gene do tipo hipotetizado por Williams era conhecido há 60 anos, mas a biologia molecular moderna descobriu centenas de genes que, quando sua atividade é aumentada, suprimida ou desativada, prolongam a vida e melhoram a saúde (GAILLARD; LEMAÎTRE, 2017). No entanto, nem todos estão diretamente relacionados entre reprodução e longevidade (AUSTAD; HOFFMAN, 2018; SMITH *et al.*, 2019). Como exemplo de pleiotropia antagonista se observa os alelos da apolipoproteína E. Estes alelos influenciam de forma positiva as respostas

imunológicas no início da vida, mas podem contribuir para a demência e doenças vasculares mais tarde (SMITH *et al.*, 2019). Há muitas pesquisas recentes que estudam os efeitos da pleiotropia antagonista do ponto de vista fenotípico e genético em humanos (EVERMAN; MORGAN, 2018), além de avaliar sua relevância nos processos de degeneração neuronal (CHEN *et al.*, 2018), autofagia (WILHELM; RICHLI, 2018) e função mitocondrial (STERN, 2017).

A descoberta de que a pleiotropia antagonista é comum, senão onipresente, implica que uma série de mecanismos sobre o envelhecimento podem ser compartilhados entre os organismos e potencialmente aliviados por intervenções direcionadas (GAILLARD; LEMAÎTRE, 2017; AUSTAD; HOFFMAN, 2018). Posteriormente, Kirkwood em 1979, propôs a teoria do Soma Descartável que considera os recursos metabólicos limitados. Essa energia finita seria direcionada aos mecanismos que favorecem a fecundidade ao invés de mecanismos não reprodutivos, ou seja, somáticos (KIRKWOOD; HOLLIDAY, 1979). Assim, a mortalidade extrínseca, causada por desfechos como doenças, fome e acidentes, seria inversamente correlacionada com a expectativa de vida, havendo pouca pressão evolutiva para promover mudanças genéticas que retardem o envelhecimento. Neste sentido, o envelhecimento passa a ser considerado um processo possível de ser amenizado ou postergado, saindo de um estágio de declínio inexorável para o foco de estratégias preventivas aproveitando a plasticidade funcional do organismo em envelhecimento (BLASIMME, 2021).

As teorias da regulação genética do envelhecimento estudam os mecanismos portadores de sinais do tempo, ou seja, marcadores genéticos que tornam o organismo mais suscetível às alterações epigenéticas, mutações e danos mitocondriais (KANUNGO, 1975; GAVRILOV; GAVRILOVA, 2002). Embora esteja claro que muitos genes apresentam alterações na expressão com a idade (SAUL e KOSINSKY *et al.*, 2021), é pouco provável que a seleção possa atuar nos genes que promovem a senescência diretamente (KIRKWOOD, 2002). A expectativa de vida recebe a influência da seleção de genes que promovem a longevidade e sua análise permite compilar uma impressão digital transcricional do envelhecimento “normal”. Assim, os dados podem ser comparados com intervenções que desaceleram ou aceleram o envelhecimento, permitindo a identificação de mudanças na expressão gênica que são relevantes para o processo de envelhecimento (SAUL; KOSINSKY *et al.*, 2021).

A teoria da senescência celular, proposta por Hayflick em 1965, trata do processo em que as células param de se dividir pelo limite de capacidade de replicação normal de aproximadamente cinquenta divisões (HAYFLICK, 1965), desenvolvendo assim, características de células senescentes (PAEZ-RIBES *et al.*, 2019). A senescência celular induzida por estresse, ocorre por meio de eventos moleculares, levando aos danos no DNA que aceleram o envelhecimento, sendo compatível com as teorias de acúmulo de danos. A senescência replicativa está relacionada ao número de divisões celulares, que é determinado pelo comprimento do telômero, uma sequência repetida de DNA que se localiza nas extremidades dos cromossomos, cuja função é a de preservar a integridade genômica (VIÑA *et al.*, 2007; JYLHÄVÄ *et al.*, 2017; YADAV; MAURYA, 2022). Assim, o telômero representa um mecanismo de contagem que impulsiona à senescência replicativa ao limitar o potencial mitótico das células, levando à alteração estrutural e senescência (DE PUNDER *et al.*, 2019; SRINIVAS *et al.*, 2020). Atualmente pesquisas acerca da relação do comprimento dos telômeros e diferentes desfechos e indicadores de saúde, a exemplo de medidas de eletrocardiogramas (von FALKENHAUSEN *et al.*, 2022) e

de estresse oxidativo (YADAV; MAURYA, 2022) estão sendo publicados na literatura.

Denham Harman (1956) propôs a teoria do envelhecimento pelos radicais livres e forneceu arcabouço teórico para melhor compreensão sobre o processo de envelhecimento considerando as espécies reativas de oxigênio (ERO's) e nitrogênio causadoras de efeitos deletérios em células, organelas e material genético (WEINERT; TIMIRAS, 2003). Consistentemente, o oxigênio expandiu as possibilidades metabólicas e bioquímicas dos organismos embora seu efeito na evolução dos caminhos metabólicos não tenha sido gratuito, a exemplo da diferença de consumo de energia por célula na presença de oxigênio (O₂) em comparação às condições anóxicas (SESSIONS *et al.*, 2009; XAVIER *et al.*, 2021). Assim, o O₂ e seus radicais promovem os genes envolvidos em sua utilização e auxiliam no desenvolvimento de mecanismos para suavizar os efeitos tóxicos do metabolismo oxidativo causado pelos radicais livres e espécies reativas não-radicalares (COSTANTINI, 2014).

A teoria do envelhecimento via radicais livres foi apoiada ao longo de várias décadas através de uma correlação positiva entre o envelhecimento e o aumento do dano oxidativo e a perda das funções mitocondriais, sobre a produção contínua de radicais livres ao longo da vida e a redução do estresse oxidativo em tratamentos que aumentam a longevidade como o exemplificado pela restrição calórica (HARMAN, 1957; HEKIMI *et al.*, 2011; SPANN; OTTINGER, 2018; SINGH *et al.*, 2019; EKMEKCIOGLU, 2020; SHOLL, 2020).

A teoria mitocondrial do envelhecimento, com base no DNA mitocondrial (mtDNA), proposta por Harman em 1972, sugere que os mecanismos que regulam a produção de radicais livres se tornam ineficientes com o envelhecimento, em decorrência de toxinas geradas pelas ERO's, levando a um ciclo vicioso de danos nos constituintes mitocondriais (HEKIMI *et al.*, 2011). Estudos mais recentes apresentam incompatibilidades com a teoria dos radicais livres mitocondriais tais como comparações não correlacionadas entre os níveis de radicais livres e a longevidade, bem como efeitos não satisfatórios com administração de suplementos antioxidantes e, em última análise, novos modelos de correlação entre as ERO's, sinalização redox, dano oxidativo e tempo de vida (HEKIMI *et al.*, 2011; RISTOW; SCHMEISSER, 2011; SHIELDS *et al.*, 2021).

A melhora do metabolismo mitocondrial, em conflito com a teoria de Harman, pode estar relacionada ao aumento da formação de ERO's dentro da mitocôndria levando à uma resposta adaptativa por aumento da resistência ao estresse o que, a longo prazo, reduz os processos oxidativos (RISTOW; ZARSE, 2010). Essa resposta adaptativa acontece pela hormese, definida por meio dos efeitos benéficos de suporte à vida resultantes da exposição repetida a estresses de intensidade leve. Essa exposição desencadeia efeitos benéficos em diferentes órgãos e sistemas, como tecido adiposo, fígado, cérebro e sistema imunológico (MATTSON, 2008; CALABRESE *et al.*, 2015). A hormese pode ser aplicada aos benefícios decorrentes do exercício físico em humanos, pela restrição de glicose como na dieta cetogênica bem como pelo consumo de alimentos fontes de compostos bioativos que aumentam as defesas antioxidantes e o metabolismo (NAZAREWICZ *et al.*, 2007; CALABRESE, 2018). Neste sentido, a utilização indiscriminada de suplementos antioxidantes pode anular os sinais das ERO's mitocondriais que trabalham como moléculas de sinalização, prejudicando o prolongamento da vida e os benefícios à saúde (CALABRESE *et al.*, 2010; RISTOW; ZARSE, 2010).

A busca pelo equilíbrio entre produção de ERO's e atividade antioxidante têm apresentado diferentes resultados entre os diversos modelos experimentais

(SADOWSKA-BARTOSZ; BARTOSZ, 2014; MARTEL *et al.*, 2019). No geral, uma redução do estresse oxidativo contribui para o aumento da expectativa de vida e muitos esforços foram feitos considerando que o bloqueio oxidativo poderia reduzir o processo de envelhecimento (RISTOW, ZARSE, 2010). Entretanto, as evidências mostram que as ERO's são essenciais na sinalização molecular e transdução de sinais para os compartimentos mitocondriais e outras organelas favorecendo a longevidade (MARTEL *et al.*, 2019).

Embora a suplementação com antioxidantes seja controversa, o consumo de antioxidantes através de alimentos é considerado uma opção que favorece à saúde e auxilia na redução de doenças associadas ao envelhecimento como condições inflamatórias crônicas, aterosclerose, doenças neurodegenerativas, diabetes e câncer (BARNARD *et al.*, 2014; SCHWINGSHACKL *et al.*, 2017). Assim, torna-se relevante considerar o conceito de homeodinâmica que explica que os sistemas não são fixos, não estão em equilíbrio e necessitam de uma regulação dinâmica em vários níveis de sua organização. Neste contexto, nanotecnologias que entreguem antioxidantes aos tecidos que estão com atividades oxidativas aumentadas poderão contribuir com a longevidade.

O ambiente humano está mudando rapidamente devido à tecnologias, sendo prudente assumir que aspectos biológicos podem ser afetados por elas, de maneiras diversas. Assim, diante das teorias do envelhecimento, pode-se concluir que a saúde e a longevidade podem ser promovidas pela manutenção do sistema biológico como um todo, ao longo do tempo. Além disso, pela capacidade de resiliência e não somente em biomarcadores individuais ou estratégias únicas de atuação. À medida que o conhecimento acerca do envelhecimento é construído, torna-se importante considerar os benefícios das teorias aos sistemas de saúde no sentido de compreender e adotar possibilidades práticas e aplicadas de cuidado.

3.3 Nutrição, estilo de vida e longevidade

A expectativa de vida e a saúde são influenciadas por fatores genéticos, ambientais e de estilo de vida. Tendo a influência genética na expectativa de vida estimada em cerca de 20 a 25%, as mudanças epigenéticas, reguladas pelos hábitos alimentares e os fatores nutricionais representam um papel importante na modulação individual para a longevidade e envelhecimento saudável (BOCCARDI *et al.*, 2016; EKMEKCIOGLU, 2020).

Fatores associados às pessoas longevas são abstenção ao fumo, atividade física, engajamento social e propósito de vida, espiritualidade, manutenção da massa corporal normal e alimentação equilibrada (PIGNOLO, 2019). À medida em que a expectativa de vida aumenta, eleva-se o potencial para condições relacionadas à idade com o agravante associado a obesidade, diabetes tipo 2 e hipertensão arterial (SPANN; OTTINGER, 2018). Ainda, há o desenvolvimento de um estado inflamatório, de baixo grau, com papel crítico na patogênese das doenças relacionadas ao envelhecimento (MARTUCCI *et al.*, 2017). Entretanto, o envelhecimento não deve ser visto como o principal fator de risco, mas sim o estilo de vida e os fatores nutricionais. Neste sentido, pode ser interessante a identificação de biomarcadores preditivos do envelhecimento e de prognóstico para a saúde, como testes de variação genética para diagnóstico de doenças relacionadas à idade, favorecendo intervenções preventivas com geroprotetores, a exemplo de compostos bioativos capazes de minimizar danos associados ao processo de envelhecimento, como alguns

flavonoides (MBARA *et al.*, 2022), poliaminas (espermidina e espermina) (EISENBERG *et al.*, 2016; MADEO *et al.*, 2018; SCHWARZ *et al.*, 2018) e nutrição individualizada (GREEN; HILLERSDAL, 2021).

Com o fito de manter a dinâmica celular, uma regulação entre a síntese e a degradação dos componentes celulares é essencial (PIGNATTI *et al.*, 2020). Considerando processos anabólicos e catabólicos relacionados ao consumo dos alimentos, vias evolutivamente conservadas interagem entre si para regularem as funções essenciais, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Vias de sinalização na regulação do metabolismo com relação à saúde e longevidade.

Vias de sinalização	Funções	Referências
Insulina e fator de crescimento semelhante à insulina 1 (IGF1)	A redução dessa sinalização, em indivíduos jovens, pode exercer efeitos de prolongamento da vida. Em idosos, o sistema de hormônio de crescimento/ fatores de crescimento semelhantes à insulina 1 (GH/IGF1), o qual tem potencial de regulação da proliferação, diferenciação e sobrevivência celular, pode provocar um efeito protetor e benéfico que está principalmente relacionado à sua atividade anabólica, especialmente nos músculos e ossos.	Lytras e Tolis (2007), Milman <i>et al.</i> (2014).
Alvo de rapamicina de mamífero (mTOR)	Envolvida na detecção e conexão de sinais ambientais (incluindo nutrientes e disponibilidade de fator de crescimento, bem como estresse) aos processos metabólicos, a fim de preservar a homeostase celular (condição necessária para a manutenção de suas atividades). Atua na regulação de sinais anabólicos e diminui o <i>turnover</i> de proteínas, inibindo a autofagia, um processo responsável pela degradação de determinados componentes celulares com funcionamento inadequado. A inibição da atividade de mTOR permite o reparo endógeno de proteínas para preservar a adequada proteostase e atenuar possíveis danos..	Rabanal-Ruiz <i>et al.</i> (2017), Weichhart (2018).

Proteína quinase ativada por AMP (AMPK)	Ativa a captação e a utilização de glicose e ácidos graxos, biogênese mitocondrial e autofagia (apresentada e explicada na via de sinalização anterior). Ativação de AMPK inibe processos anabólicos como biossíntese de ácido graxo, triglicerídeo, colesterol e glicogênio.	Hardie <i>et al.</i> (2012), Ke <i>et al.</i> (2018).
Sirtuínas (SIRT's)	Atividades pleiotrópicas que afetam proteínas implicadas no metabolismo, estresse oxidativo, sobrevivência celular, autofagia, com consequências importantes no envelhecimento.	Singh <i>et al.</i> (2018), Yu <i>et al.</i> (2019).
Fator de crescimento de fibroblastos 21 (FGF21)	Ativa a oxidação de ácidos graxos e a cetogênese no fígado, está envolvida na resposta adaptativa tardia ao jejum (7–10 dias). Induz a lipólise e a produção de adiponectina no tecido adiposo e promove a interação entre “AMPK-SIRT-receptor γ ativado por proliferador de peroxissoma e coativador alfa-1 (PGC1 α)”, que respondem aos requisitos de energia da célula de forma altamente coordenada (PGC1 α , uma família de proteína com papel crítico em processos metabólicos essenciais, como oxidação de ácidos graxos, fosforilação oxidativa e desintoxicação de ERO's. Tem um efeito inibitório na via de sinalização da insulina/ IGF1.	Lynch; Tran; Parikh (2017); Salminen <i>et al.</i> (2017), Hill <i>et al.</i> (2018).

Fonte: autoria própria.

Os benefícios à longevidade e prevenção de doenças em diferentes modelos de organismos estão fortemente ligados aos efeitos horméticos induzidos por intervenções como restrição calórica, jejum intermitente e exercícios físicos (MARTEL *et al.*, 2019; ROS; CARRASCOSA, 2020). Entretanto, manter essas abordagens por longos períodos se torna desafiador para muitas pessoas e, nesse sentido, candidatos a miméticos da restrição calórica têm ganhado atenção como uma estratégia potencialmente viável de intervenção (MADEO *et al.*, 2018). Entre as diversas substâncias potenciais, as poliaminas apresentam atividades biológicas relevantes à saúde. As poliaminas são compostos orgânicos, policatiônicos em pH fisiológico ou da maioria dos alimentos e que apresentam mais de dois grupamentos amina em suas moléculas, a exemplo da espermidina e espermina, com três e quatro grupamentos, respectivamente. Esses compostos são encontrados em uma variedade de alimentos,

com destaque ao maracujá, brócolis, broto de feijão, gérmen de trigo e cogumelos (REIS *et al.*, 2020; DALA-PAULA *et al.*, 2021a). Sendo relatado na literatura o efeito cardio e neuroprotetor da espermidina (MADEO *et al.*, 2018).

As poliaminas desempenham papel essencial no crescimento celular, proliferação, diferenciação, desenvolvimento, imunidade, regulação e expressão gênica, estabilidade do DNA, bem como síntese de proteínas e ácidos nucleicos (IGARASHI; KASHIWAGI, 2019). Recentemente, várias pesquisas têm associado dietas ricas em espermidina, contendo gérmen de trigo, cereais integrais, cogumelos (REIS *et al.*, 2020), grãos germinados, frutas, em especial o maracujá (DALA-PAULA *et al.*, 2021) ou mesmo a sua suplementação, com o retardo do envelhecimento, por estudos experimentais e translacionais (MADEO *et al.*, 2018; SCHWARZ *et al.*, 2018;).

São levantadas teorias de que o declínio das funções celulares pode estar relacionado com a redução do conteúdo desta poliamina, sendo este fato, naturalmente percebido com o avanço da idade dos indivíduos (EISENBERG *et al.*, 2016; MADEO *et al.*, 2018). Em um estudo experimental com drosófilas, pequenas moscas pertencentes à família Drosophilidae, a poliamina espermidina, contribuiu com a proteção ao declínio cognitivo associado ao envelhecimento. Esta ação foi alcançada pela doação do grupo amino-butílica para a síntese de hipusina (Nε-[4-amino-2-hidroxi-butílica]-lisina) em um resíduo de lisina específico na posição 51 do fator de iniciação da tradução eucariótica 5A (eIF5A), fenômeno chamado de hipusinação. Isso favorece o alongamento eficiente da tradução de certos mRNA e a funcionalidade do eIF5A. A literatura aponta que durante o envelhecimento, a ocorrência da hipusinação de eIF5A é reduzida, no entanto, a suplementação de espermidina foi capaz de aumentar a sua ocorrência, até a meia idade (LIANG *et al.*, 2021). Além disso, há evidências de que esta poliamina inibe a acetiltransferase, mTOR e ativa a AMPK, aumentando a autofagia e mitofagia, promovendo a longevidade e reduzindo o estresse oxidativo (EISENBERG *et al.*, 2019).

O envelhecimento reduz a atividade da enzima biossintética de poliaminas, a ornitina descarboxilase, necessitando assim manter o teor de poliaminas através de ingestão adequada (NISHIMURA *et al.*, 2006). Alimentos ricos em poliaminas, como os cogumelos, brócolis, gérmen de trigo e maracujá podem favorecer o aporte necessário à manutenção dos processos fisiológicos (DALA-PAULA *et al.*, 2021a) considerando que a espermidina em cogumelos apresenta elevada bioacessibilidade *in vitro*, por exemplo (REIS *et al.*, 2020).

Alguns alimentos vegetais e seus derivados [frutas como: uva, *berries*, açaí, citros, morango, fruta do conde, marolo (*Annona crassiflora*), soja, cacau, café, chá verde (*Camellia sinensis*) e muitos outros] possuem grande diversidade de fitoquímicos, diferentes compostos orgânicos derivados de variadas vias do metabolismo secundário vegetal. A eles são atribuídos muitos benefícios relacionados à promoção da saúde e prevenção de quadros patológicos como doenças cardiovasculares, diabetes, síndrome metabólica, obesidade e câncer. (DURAZZO *et al.*, 2019). O consumo de café, uma importante fonte de polifenóis da dieta, também está associado à redução da mortalidade (MALERBA *et al.*, 2013), bem como diversos fitoquímicos oriundos da dieta que atuam como miméticos da restrição calórica, reduzindo as ERO's por ativação do Nrf2 que estimula a expressão de enzimas antioxidantes, quelação de metais, efeitos anti-inflamatórios, proteção mitocondrial (ZHANG *et al.*, 2018; MARTEL *et al.*, 2019).

Avanços conceituais sugerem que não há uma dieta única que sirva para todos, pois as respostas aos alimentos são impulsionadas por características individuais,

sendo elas bioquímicas, fisiológicas, genéticas ou mesmo referente ao microbioma intestinal. Remodelar as interações hospedeiro-microbioma através da nutrição personalizada, modulando a diversidade de determinadas espécies torna-se uma nova via terapêutica para prevenção e controle de doenças (LAWRENCE *et al.*, 2014; KOLODZIEJCZYK *et al.*, 2019). Associado a isso, é importante considerar que a alimentação possui um papel mais amplo que os biológicos (nutrição e efeitos funcionais), ela está relacionada com manifestações culturais e sociais, além de contribuir com as relações sociais, por meio da comensalidade. Aspectos importantes para a saúde física e mental de todos os indivíduos, em especial, dos idosos (BRASIL, 2014).

Alguns micronutrientes e compostos bioativos não-nutrientes parecem apresentar suporte ao sistema imunológico contribuindo à resistência contra alguns tipos de infecções bem como à possibilidade de modulação de seus efeitos negativos, a exemplo da “tempestade de citocinas” na contaminação por COVID-19 (CALDER, 2021). A atividade metabólica aumentada por infecções e inflamações exige fontes de energia, substratos para a biossíntese e moléculas reguladoras que são derivadas da alimentação. As principais vitaminas e minerais pesquisados e relacionados com o sistema imunológico são as vitaminas A, C, D e E, complexo B, zinco, cobre, selênio, ferro e magnésio. Ainda, aminoácidos, ácidos graxos e fibras como componentes importantes para construção e modulação tecidual (MAGGINI *et al.*, 2018; CALDER, 2020).

A complexa relação entre alimentação, nutrição, estilo de vida e longevidade humana se associa com diferentes processos fisiológicos, com função reguladora em muitas vias metabólicas necessárias à sobrevivência celular, como os processos oxidativos, inflamatórios e imunológicos (SANTORO *et al.*, 2014). Os polimorfismos múltiplos acrescentam características individuais às respostas dietéticas (nutrigenética) bem como os nutrientes às expressões gênicas (nutrigenômica) (IRIMIE *et al.*, 2019). Por fim, há a importante relação entre alimentação, nutrição, estilo de vida, longevidade, *status* socioeconômico do indivíduo e as ações políticas que necessitam desenvolver a resiliência individual e global.

4 Conclusões

O progresso da medicina acarretou melhorias de saúde que possibilitaram às pessoas desfrutarem de uma vida substancialmente longa em relação às gerações anteriores. Entretanto, o acesso a estas tecnologias é desigual e juntamente ao estilo de vida moderno, a longevidade trouxe uma grande carga de doenças crônicas ao longo de décadas. Como alternativas, políticas públicas que incentivem as redes sociais intergeracionais, proporcionando momentos de lazer, partilha e convivência têm sido cada vez mais pesquisadas e relatadas na literatura, consistindo em importantes ferramentas à longevidade, associadas à qualidade de vida.

A contribuição da medicina em definir o envelhecimento, do ponto de vista biológico, resultou em várias teorias na tentativa de esclarecer mecanismos moleculares bem como a interferência clínica no processo de envelhecimento. No entanto, não há um consenso sobre o tema e o debate das ciências da saúde acerca da utilização de marcadores de envelhecimento e sua correlação com desfechos na saúde humana, continua como um desafio em aberto. Medidas comuns de eletrocardiograma não foram associados com o comprimento dos telômeros (von FALKENHAUSEN *et al.*, 2022), no entanto, há relato na literatura do declínio do

comprimento dos telômeros idade-dependente e da correlação positiva entre o seu comprimento e a capacidade do plasma de redução do íon férrico e da glutathiona reduzida (YADAV; MAURYA, 2022).

Ao se avaliar as necessidades emergentes da busca por qualidade de vida durante o envelhecimento é importante considerar o avanço nas pesquisas sobre alimentação e nutrição, de modo a incentivar estratégias promotoras de uma alimentação equilibrada e fonte de compostos bioativos (como as poliaminas e compostos fenólicos). Ao mesmo tempo, não se pode diminuir a alimentação aos seus aspectos biológicos. Pensar em longevidade humana requer pesquisas e adoção de ferramentas amplas, que compreendam as diferentes dimensões do envelhecimento individual, contemplando os aspectos sociais e biológicos, discutidos nesta revisão e outros, como o psicológico e do envelhecimento populacional.

Referências

AUSTAD Steven, N; HOFFMAN, Jessica, M. Is antagonistic pleiotropy ubiquitous in aging biology? *Evolution, Medicine and Public Health*, Oxford. v. 2018, n. 1, p.287-294, 2018.

BALTES, Paul B.; SMITH, Jacqui. New frontiers in the future of aging: from successful aging of the young old to the dilemmas of the fourth age. *Gerontology* [S.l.], v. 49, p. 123-135, 2003.

BARNARD, Neal, D. *et al.* Dietary and lifestyle guidelines for the prevention of Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging* [S.l.], v. 35, p.S74-8, 2014.

BLASIMME, Alessandro. The plasticity of ageing and the rediscovery of ground-state prevention. *History and Philosophy of the Life Science* [S.l.]. v. 43, n. 2, p.67, 2021.

BOCCARDI, Virginia *et al.* Nutrition and lifestyle in healthy aging: the telomerase challenge. *Aging*, Albany NY, v. 8, n. 1, p.12-5, 2016.

BORSON, Lourena Aparecida Machado, ROMANO, Luiz Henrique. Revisão: O processo genético de envelhecimento e os caminhos para a longevidade. *Revista Saúde em Foco*, Teresina, v. 12, p.239-244, 2020.

BRASIL, Organização Mundial de Saúde: Envelhecimento Ativo: Uma Política de Saúde. *Organização Pan Americana de Saúde*. Brasília, 2005

BRASIL. Ministério da Saúde. Estatuto do Idoso. Ministério da Saúde. 3 ed., 2 reimpressão. Brasília, DF: *Ministério da Saúde*, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Guia alimentar para a população brasileira*. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

CABRAL, Maria da Luz Leite; MACUCH, Regiane da Silva. Solidariedade intergeracional: perspectivas e representações. *CINERGIS - Revista do Departamento de Educação Física e Saúde e do Mestrado em Promoção da Saúde da Universidade*

de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, v. 18, n. 1, p.59-68, 2016.

CALABRESE EJ, Dhawan G, Kapoor R, Iavicoli I, Calabrese V. What is hormesis and its relevance to healthy aging and longevity? *Biogerontology* [S.l.]. v.16, n.6, p.693-707, 2015.

CALABRESE EJ. Hormesis: Path and Progression to Significance. *International Journal of Molecular Science* [S.l.]. v.19, n.10, p.2871, 2018.

CALDER, Philip. Nutrition and immunity: lessons for COVID-19. *European Journal of Clinical Nutrition*, Londres, v. 11, n. 1, p.19, 2021.

CALDER, Philip. Nutrition, immunity and COVID-19. *British Medical Journal-Nutrition, Prevention & Health*, [S.l.], v. 3, n. 1, p.74-92, 2020.

CAMPISI, Judith *et al.* From discoveries in aging research to therapeutics for healthy aging. *Nature*, [S.l.], v. 571, n. 7764, p.183-192, 2019.

CHEN, Han *et al.* Fast-Evolving Human-Specific Neural Enhancers Are Associated with Aging-Related Diseases. *Cell Systems*, Maryland Heights [S.l.], v. 6, n. 5, p.604-611, 2018.

CONKOVA, Nina, *et al.* The Experience of Aging and Perceptions of “aging Well” among Older Migrants in the Netherlands. *The Gerontologist* [S.l.], v. 60, n. 2, p.270–278, 2020.

COSTANTINI, David. Oxidative Stress and Hormesis *in Evolutionary Ecology and Physiology - A Marriage Between Mechanistic and Evolutionary Approaches*. [S.l.]: Springer, 2014, p.594.

DA Cruz, Livia. De Ponto em Ponto: Histórias de Envelhecimento Ativo que encantam. 2021. 160 f. Dissertação (Mestrado em Educação e Formação) Instituto de Educação. Universidade de Lisboa Instituto de Educação, 2021.

DALA-PAULA, Bruno Martins *et al.* Vegetables consumed in Brazilian cuisine as sources of bioactive amines. *Food Bioscience*, [S.l.], v. 40, p. 100856, 2021a.

DALA-PAULA Bruno Martins *et al.* *In vitro* bioaccessibility of amino acids and bioactive amines in 70% cocoa dark chocolate: What you eat and what you get. *Food Chemistry* [S.l.]. May v.1, n.343, p.128397, 2021b.

DE PUNDER, Karin. *et al.* Stress and immunosenescence: The role of telomerase *Psychoneuroendocrinology*, [S.l.], v. 101, p.87-100, 2019.

DURAZZO, Alessandra, *et al.* Polyphenols: A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health. *Phytotherapy Research*, [S.l.], v. 33, n. 9, p.2221-2243, 2019.

EISENBERG, Tobias *et al.* Cardioprotection and lifespan extension by the natural polyamine spermidine. *Nature Medicine*, Nova Iorque, v. 22, n. 12, p.1428-

1438, 2016.

EKMEKCIOGLU, Cem. Nutrition and longevity - From mechanisms to uncertainties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Londres, v. 60, n. 18, p.3063-3082, 2020.

EVERMAN, Elizabeth e MORGAN, Theodore J. Antagonistic pleiotropy and mutation accumulation contribute to age-related decline in stress response. *Evolution*, [S.I.] v. 72, n. 2, p.303-317, 2018.

FINCH, Caleb, E.; CRIMMINS, Eileen, M. Inflammatory exposure and historical changes in human life-spans. *Science*, Washington, v. 305, n. 5691, p.1736-1739, 2004.

FORNER, Fernanda Comerlato; ALVES, Cássia Ferraza. Uma revisão de literatura sobre os fatores que contribuem para o envelhecimento. *Revista Universo Psi*. Taquara, v. 1, n. 1, p.150-174, 2019.

GAILLARD, Jean-Michel; LEMAÎTRE, Jean-François. The Williams' legacy: A critical reappraisal of his nine predictions about the evolution of senescence. *Evolution*, [S.I.], v. 71, n. 12, p.2768–2785, 2017.

GAVRILOV, Leonid, A.; GAVRILOVA, Natalia, S. Evolutionary theories of aging and longevity. *The Scientific World Journal*, [S.I.], v. 2, p.339–356, 2002.

GOMBART, Adrian *et al.* A Review of Micronutrients and the Immune System—Working in Harmony to Reduce the Risk of Infection. *Nutrients*, Basel. v. 12, n. 1, p.236, 2020.

GOMES, Mariana, *et al.* A Inovação na Estratégia da Saúde Social no Envelhecimento: Papel da Economia Social em Resposta à Pandemia. *Jornal De Investigação Médica*, Madeira, v. 2, n. 2, p.067-076, 2021.

GREEN, Sara, HILLERSDAL, Line. Aging biomarkers and the measurement of health and risk. *History and Philosophy of the Life Sciences*, [S.I.], v. 43, n. 1, p.28, 2021.

HARDIE, Grahame *et al.* AMPK: a nutrient and energy sensor that maintains energy homeostasis. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, [S.I.], v. 13, n. 4, p.251-62, 2012.

HARMAN, Denham. Aging: a theory based on free radical and radiation chemistry. *Journal of Gerontology*, [S.I.], v.11, n.3, p.298-300, 1956.

HAYFLICK Leonard. The limited *in vitro* lifetime of human diploid cell strains. *Experimental Cell Research*, Shanghai, v. 37, p.614-36, 1965.

HEKIMI, Siegfried *et al.* Taking a "good" look at free radicals in the aging process. *Trends in Cell Biology*. Maryland Heights, EUA, v. 21, n. 10, p.569-76, 2011.

HILL, Cristal *et al.* Homeostatic sensing of dietary protein restriction: A case for FGF21. *Frontiers in Neuroendocrinology*. [S.l.], v. 51, p.125-131, 2018.

IBGE. Portal do Instituto Brasileiro de Estatística. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua. *PNAD Contínua*, Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

IGARASHI, Kazuei; KASHIWAGI, Keiko. The functional role of polyamines in eukaryotic cells. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, Bethesda, v. 107, p.104-115, 2019.

IRIMIE, Alexandra *et al.* Role of Key Micronutrients from Nutrigenetic and Nutrigenomic Perspectives in Cancer Prevention. *Medicina*, Kaunas, Lituânia, v. 55, n. 6, p. 283, 2019.

JYLHÄVÄ Julia *et al.* Biological Age Predictors. *EBioMedicine*, [S.l.], v. 21, p.29-36, 2017.

KANUNGO, Madhu Sudan. A model for ageing. *Journal of Theoretical Biology*, [S.l.], v. 53, n. 2, p.253-61, 1975.

KE, Rong *et al.* Mechanisms of AMPK in the maintenance of ATP balance during energy metabolism. *Cell Biology International*, [S.l.], v. 42, n. 4, p.384-392, 2018.

KIRKWOOD Thomas e Holliday R. The evolution of aging and longevity. Proceedings of the Royal Society of London, series B, *Biological Science*, Londres, v. 205, n. 1161, p.531-46, 1979.

KIRKWOOD, Thomas. Evolution of aging. *Mechanisms of Ageing and Development*, [S.l.], v. 123 n. 7, p.737-745, 2002.

KOŁODZIEJCZYK, Aleksandra, *et al.* Diet–microbiota interactions and personalized nutrition. *Nature Reviews Microbiology*, Londres, v. 17, p.742–753, 2019.

KYRIAZIS, Marios. Ageing Throughout History: The Evolution of Human Lifespan. *Journal of Molecular Evolution*, [S.l.], v. 88, n. 1, p.57-65, 2020.

LAWRENCE, David *et al.* Diet rapidly and reproducibly alters the human gut microbiome. *Nature*, Londres, v. 505, p.559–563, 2014.

LIANG, Yong. Tian. *et al.* eIF5A hypusination, boosted by dietary spermidine, protects from premature brain aging and mitochondrial dysfunction. *Cell Reports*, Maryland Heights, v. 35, n. 2, p.04-13, 2021.

LUCENA, Amália de Fátima *et al.* Modelo multidimensional de envelhecimento bem sucedido e terminologias de enfermagem: semelhanças para aplicação na prática clínica. *Revista Gaúcha de Enfermagem*, Porto Alegre. v. 41, p.1-9, 2020.

LYNCH, Mattheu R.; Tran, Mei T.; Parikh, Samir M. PGC1 α in the kidney. *Am J Physiol. Renal Physiol*, v. 314, p. f1-f8, 2018.

LYTRAS, Aristides, TOLIS, George. Assessment of endocrine and nutritional status in age-related catabolic states of muscle and bone. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, Paris, v. 10, n. 5, p.604-10, 2007.

MBARA KC, Devnarain N, Owira PMO. Potential Role of Polyphenolic Flavonoids as Senotherapeutic Agents in Degenerative Diseases and Geroprotection. *Pharmaceutical Medicine*, [S.I.]. v.36, n.6, p.331-352, 2022.

MADEO, Frank *et al.* Spermidine in health and disease. *Science*, Washington, v. 359, n.6374, 2018.

MAGGINI, Silvia *et al.* Immune Function and Micronutrient Requirements Change over the Life Course. *Nutrients*, Basel, v. 10, n. 10, p.1531, 2018.

MALERBA, Stefano *et al.* A meta-analysis of prospective studies of coffee consumption and mortality for all causes, cancers and cardiovascular diseases. *European Journal of Epidemiology*, [S.I.], v. 28, n. 7, p.527-39, 2013.

MARTEL Jan, *et al.* Hormetic Effects of Phytochemicals on Health and Longevity. *Trends in Endocrinology and Metabolism*, Maryland Heights, v. 30, n. 6, p.335-346, 2019.

MARTUCCI, Morena *et al.* Mediterranean diet and inflammaging within the hormesis paradigm. *Nutrition Reviews*, Oxford, v. 75, n. 6, p.442-455, 2017.

MATTSON MP. Hormesis defined. *Ageing Research Reviews*, [S.I.]. v.7, n.1, p.1-7, 2008.

MENEZES, Giovanna Raquel Sena, *et al.* Impacto da atividade física na qualidade de vida de idosos: uma revisão integrativa. *Brazilian Journal of health Review*, São José dos Pinhais. v. 3, n. 2, p.2490-2498, 2020.

MILMAN, Sofia *et al.* Low insulin-like growth factor-1 level predicts survival in humans with exceptional longevity. *Ageing Cell*, Londres, v. 13, n. 4, p.769-71, 2014.

NAZAREWICZ, Rafal *et al.* Effect of short-term ketogenic diet on redox status of human blood. *Rejuvenation Research*, [S.I.], v. 10, n. 4, p.435-40, 2007.

NISHIMURA, Kazuhiro *et al.* Decrease in polyamines with aging and their ingestion from food and drink. *Journal of Biochemistry*, Oxford, v. 139, n. 1, p.81-90, 2006.

OLIVEIRA, Isabella dos Santos Araújo de *et al.* Educação alimentar e nutricional em grupo: caracterização socioeconômica, consumo alimentar e estado nutricional dos participantes. *Revista Contexto & Saúde*, Ijuí, v. 21, n. 43, p.57-73, 2021.

OLSHANSKY, S. Jay., *et al.* A Potential Decline in Life Expectancy in the United States in the 21st Century. *The New England Journal of Medicine*, Massachusetts, v. 352, n. 11, p.1138-1145, 2005.

PAEZ-RIBES, Marta *et al.* Targeting senescent cells in translational medicine. *EMBO Molecular Medicine*, Heidelberg, v. 11, n. 12, p.e10234, 2019.

PAPALÉO NETTO, M. *O estudo da velhice no séc.XX: histórico, definição do campo e termos básicos.* In: FREITAS, E. *et al.* (Orgs.). *Tratado de geriatria e gerontologia.* Rio de Janeiro: Guanabara Kroogan, p.2-12, 2002.

PENG, Chenhong *et al.* Intergenerational support, satisfaction with parent–child relationship and elderly parents' life satisfaction in Hong Kong. *Ageing & Mental Health*, Londres, v. 23, n. 4, p.428-438, 2019.

PEREIRA, Fernanda Freitas *et al.* O impacto da participação em atividades educativas em grupo nos sintomas depressivos referidos por participantes de uma Universidade Aberta à Terceira Idade. *Revista Humanidades e Inovações*, Palmas, Tocantins, v. 8, n. 39, p.263-270, 2021.

PIGNATTI, Carla *et al.* Nutrients and Pathways that Regulate Health Span and Life Span. *Geriatrics*, Basel, v. 5, n. 4, p.95, 2020.

PIGNOLO, Robert J. Exceptional Human Longevity. *Mayo Clinic Proceedings*, Rochester, v. 94, n. 1, p.110-124, 2019.

RABANAL-RUIZ, Yoana *et al.* mTORC1 as the main gateway to autophagy. *Essays in Biochemistry*, Londres, v. 61, n. 6, p.565-584, 2017.

REIS, Guilherme *et al.* *In vitro* digestion of spermidine and amino acids in fresh and processed *Agaricus bisporus* mushroom. *Food Research International*, [S.I.], v. 137, p. 109616, 2020.

REZENDE, Eliane Garcia (org.). *UNATI: histórias e experiências compartilhadas.* Alfenas, MG: Editora da Universidade Federal de Alfenas, 2017, 338 p.

RISTOW, Michael, SCHMEISSER, Sebastian. Extending life span by increasing oxidative stress. *Free Radical Biology and Medicine*, [S.I.], v. 51, n. 2, p.327-36, 2011.

RISTOW, Michael, ZARSE, Kim. How increased oxidative stress promotes longevity and metabolic health: The concept of mitochondrial hormesis (mitohormesis). *Experimental Gerontology*, Washington, v. 45, n. 6, p.410-408, 2010.

RODRIGUES, Lizete de Souza; SOARES, Geraldo Antonio. Velho, idoso e terceira idade na sociedade contemporânea. *Revista Ágora*, Florianópolis, v. 4, p.1-29, 2006.

ROS, Manuel; CARRASCOSA, José María. Current nutritional and pharmacological anti-aging interventions. *Biochimica et Biophysica Acta Molecular Basis of Disease*, [S.I.], v. 1866, n. 3, 2020.

SADOWSKA-BARTOSZ, Izabela; BARTOSZ, Grzegorz. Effect of antioxidants supplementation on aging and longevity. *BioMedical Research International*, Londres. v. 2014, 404680, 2014.

SALMINEN, Antero *et al.* Regulation of longevity by FGF21: Interaction between energy metabolism and stress responses. *Ageing Research Reviews*, [S.I.]. v. 37, p.79-93, 2017.

SANTORO, Aurelia *et al.* Combating inflammaging through a Mediterranean whole diet approach: the NU-AGE project's conceptual framework and design. *Mechanisms of Ageing and Development*, [S.I.], v. 137, p.3-13, 2014.

SAUL, Dominik; KOSINSKY, Robyn L. Epigenetics of Aging and Aging-Associated Diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, Raipur. v. 22, n. 1, p.401, 2021.

SCHWARZ C *et al.* Safety and tolerability of spermidine supplementation in mice and older adults with subjective cognitive decline. *Ageing* (Albany NY). v.10, n.1, p.19-33, 2018.

SCHWINGSHACKL, Lukas *et al.* Dietary Supplements and Risk of Cause-Specific Death, Cardiovascular Disease, and Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis of Primary Prevention Trials. *Advances in Nutrition*, Oxford. v. 8, n. 1, p.27-39, 2017.

SESSIONS, Alex *et al.* The continuing puzzle of the great oxidation event. *Current Biology*, Maryland Heights. v. 19, n. 14, p. 567-74, 2009.

SHIELDS, Hazel, J. *et al.* Beneficial and Detrimental Effects of Reactive Oxygen Species on Lifespan: A Comprehensive Review of Comparative and Experimental Studies. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, Lausanne, v. 9, 628157, 2021.

SHOLL, Jonathan. The sciences of healthy aging await a theory of health. *Biogerontology*, [S.I.]. v. 21, n. 3, p.399-409, 2020.

SIERRA Felipe, *et al.* Moving geroscience from the bench to clinical care and health policy. *Journal of the American Geriatrics Society*, [S.I.]. v. 69, n. 9, p.2455-2463, 2021.

SINGH, Anju *et al.* Oxidative Stress: A Key Modulator in Neurodegenerative Diseases. *Molecules. Basel*, v. 24, n. 8, p.1583, 2019.

SINGH, Chandra *et al.* The Role of Sirtuins in Antioxidant and Redox Signaling. *Antioxidants & Redox Signaling*, [S.I.], v. 28, n. 8, p.643-661, 2018.

SMITH, Carr J *et al.* Putative Survival Advantages in Young Apolipoprotein $\epsilon 4$ Carriers are Associated with Increased Neural Stress. *Journal of Alzheimer's disease*, Indianapolis. v. 68, n. 3, p.885-923, 2019.

SOUZA, Domingas Monteiro de *et al.* Educação e aprendizagem ao longo da

vida: uma prática educativa na universidade da maturidade. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 7, n. 1, p.10864-10877, 2021.

SPANN, Stephan J. e OTTINGER Mary Ann. Longevity, Metabolic Disease, and Community Health. *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, Los Angeles. v. 155, p.1-9, 2018.

SRINIVAS, Nalini *et al.* Telomeres and Telomere Length: A General Overview. *Cancers*, Basel, v. 2, n. 3, p.558, 2020.

STERN, Michael. Evidence that a mitochondrial death spiral underlies antagonistic pleiotropy. *Aging Cell*, Londres. v. 16, n. 3, p.435–443, 2017.

CASARIN, Sidnéia tessmer *et al.* Tipos de revisão de literatura: considerações das editoras do Journal of Nursing and Health. *Journal of Nursing and Health*, [S.l.]. v. 10, n. (n. esp.), p. e20102031, 2020.

TUTTLE, Camilla, *et al.* Cellular senescence and chronological age in various human tissues: A systematic review and meta-analysis. *Aging cell*, Londres. v. 19, n. 2, 2020.

VIÑA, Jose *et al.* Theories of ageing. *IUBMB Life*, Malden, v. 59, n. 5, p.249-54, 2007

von FALKENHAUSEN; Aenne, S. *et al.* Common electrocardiogram measures are not associated with telomere length. *Aging-us*, [S.l.]. v. 14, n. 14, p. 5620-5627

WEICHHART, Thomas. mTOR as Regulator of Lifespan, Aging, and Cellular Senescence: A Mini-Review. *Gerontology*, Washington. v. 64. n. 2, p.127-134, 2018.

WEINERT, Brian; TIMIRAS, Paola. Invited Review: Theories of aging. *Journal of Applied Physiology*, Rockville. v. 95, n. 4, 2003.

WHO, World Health Organization. *Envelhecimento ativo: uma política de saúde* 1 ed. traduzida. Organização Pan-Americana da Saúde, Opas, OMS, p.62, 2005.

WHO, World Health Organization. *World report on ageing and health*. Genebra. World Health Organization, 2015.

WILEY, Christopher *et al.* Mitochondrial Dysfunction Induces Senescence with a Distinct Secretory Phenotype. *Cell Metabolism*, Maryland Heights. v. 23, n. 2, p.303-314, 2016.

WILHELM, Thomas e RICHLI, Holger. Autophagy during ageing - from Dr Jekyll to Mr Hyde. *The FEBS Journal*, Dublin. v. 285, n. 13, p.2367-2376, 2018.

XAVIER, Joana *et al.* The metabolic network of the last bacterial common ancestor. *Communications Biology*, Londres. v. 4, n. 413, 2021.

YADAV, Somu; MAURYA, Pawan Kumar. Correlation between telomere length

and biomarkers of oxidative stress in human aging. *Rejuvenation Research*, [S.l.]. v. 25, n. 1, p. 25-29, 2022.

YU, Hyuzhen *et al.* Screening Analysis of Sirtuins Family Expression on Anti-Inflammation of Resveratrol in Endothelial Cells. *Medical Science Monitor: international medical journal of experimental and clinical research*, Melville. v. 25, p.4137-4148, 2019.

ZHANG, Jingfei *et al.* Curcumin attenuates hepatic mitochondrial dysfunction through the maintenance of thiol pool, inhibition of mtDNA damage, and stimulation of the mitochondrial thioredoxin system in heat-stressed broilers. *Journal of Animal Science*, Oxford, v. 96, n. 3, p.867-879, 2018.

CAPÍTULO II – SUSTENTABILIDADE E SAUDABILIDADE COMO DETERMINANTES DO MARKETING SENSORIAL: UMA REVISÃO NARRATIVA

Artigo de Revisão Narrativa a ser submetido no Periódico Holos (ISSN: 1807-1600)

Kamila Leite Rodrigues & Bruno Martins Dala-Paula

RESUMO

O padrão alimentar moderno, caracterizado pelo elevado consumo de alimentos processados e ultraprocessados tem sido uma ameaça à saúde da população e do planeta, considerando os impactos ambientais envolvidos na produção de alimentos. Nesse contexto, o *marketing* sensorial tem sido utilizado pelas indústrias de alimentos para influenciar a escolha de alimentos por meio do conjunto de sensações de interesse às estratégias de comercialização e missão da empresa. Considerando a necessidade de mudanças de comportamento alimentar, métodos de produção de alimentos pautados na sustentabilidade têm sido investigados e podem despertar o interesse da população mais preocupada com o meio ambiental. Assim, o *marketing* sensorial pautado em diferentes estratégias e níveis de sensibilidade aos atributos de sustentabilidade, se configura em uma ferramenta para mitigar os impactos ambientais da produção de alimentos. O direcionamento à forma de pensar e interagir com os alimentos visando a promoção da saúde e minimização dos impactos ambientais, sociais e econômicos causados pelo consumo excessivo de alimentos ultraprocessados, permitirá que as futuras gerações possam utilizar os atuais recursos físicos e ambientais, atualmente disponíveis.

Palavras-chaves: *Marketing* sensorial, sustentabilidade, alimentos orgânicos, alimento sustentável, saúde planetária.

ABSTRACT

The modern dietary pattern, characterized by the high consumption of processed and ultra-processed foods, has been a threat to the health of the population and the planet, considering the environmental impacts involved in food production. In this context, sensory marketing has been used by food industries to influence food choice through a set of sensations of interest to the company's marketing strategies and mission. Considering the need for changes in eating behavior, food production methods based on sustainability have been investigated and may arouse the interest of the population more concerned with the environment. Thus, sensory marketing based on different strategies and levels of sensitivity to sustainability attributes is a tool to mitigate the environmental impacts of food production. Directing the way of thinking and interacting with food in order to promote health and minimize the environmental, social and economic impacts caused by the excessive consumption of ultra-processed foods, will allow future generations to use the current physical and environmental resources, currently available.

Keywords: Sensory marketing, sustainability, organic food, sustainable food, planetary health.

1 INTRODUÇÃO

A sobrecarga de estímulos visuais proporcionados pela indústria do *marketing* tem gerado confusão de informações acerca do processo de escolha e compra de alimentos pelo consumidor. Isso contribui com o distanciamento e desinteresse dos clientes causando a redução da venda de produtos (BERČÍK *et al.*, 2021). Esse contexto desperta o interesse na compreensão dos sentidos que determinam as emoções evocadas no consumidor, tornando maior a possibilidade de atração e compra do produto (FALK *et al.*, 2012).

O *marketing* sensorial é definido como uma ferramenta que aproxima o produtor e a indústria ao consumidor final por meio dos cinco sentidos, capazes de despertar emoções e favorecer a compra podendo ser aplicado em todos os setores industriais inclusive, o de alimentos (BERČÍK *et al.*, 2021). O marketing sensorial compreende

uma série de decisões estratégicas com a finalidade de entregar valor e satisfazer a necessidade dos consumidores por meio de ações que explorem os sentidos através de experiências (GERRA; DIAS, 2021). A combinação da neurociência com o *marketing* trouxe uma nova perspectiva de ação às indústrias quando comparado aos métodos de pesquisa por questionários e entrevistas, pois oferece informações a respeito das preferências do consumidor (BERČÍK *et al.*, 2021). Essa combinação, denominada *neuromarketing*, utiliza ferramentas neurofisiológicas como rastreamento ocular, eletroencefalografia, e ressonância magnética funcional para conduzir pesquisas de mercado específicas. Ainda, os consumidores recebem influências familiares, sociais, psicológicas, culturais e políticas que podem modificar seu comportamento de escolha e/ou compra do produto (MARQUES; BERNARDO, 2021).

Em 1960 a Associação Americana de *Marketing* definiu o *marketing* sensorial como “o desempenho das atividades comerciais que dirigem o fluxo de bens e serviços do produtor ao consumidor ou usuário” (MARQUES; BERNARDO, 2021). Essa ferramenta tem contribuído com a evolução do comércio e globalização das indústrias de alimentos, o que por sua vez é fator determinante de ambientes alimentares obesogênicos, promotores de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), caracterizados pelo acesso facilitado aos alimentos ultraprocessados (SWINBURN *et al.*, 2019).

A alta disponibilidade de alimentos com alta densidade calórica, capazes de estimular em demasia os sentidos da visão e olfato, induziu os indivíduos ao maior consumo e aos comportamentos alimentares alienados e danosos à saúde. Isso, por sua vez, contribui com o aumento global do excesso de peso e DCNT relacionadas à dieta, como resultado de um ambiente inadequado que perpetua comportamentos alimentares pouco saudáveis (FOLKVORD; HERMANS, 2020).

Segundo Swinburn *et al.* (2019), a obesidade é uma resposta das pessoas aos ambientes obesogênicos em que se encontram. O apoio em neutralizar estes ambientes é importante, priorizando políticas públicas para reverter essa situação. Compreendendo o contexto atual, pós-pandemia de COVID-19 e os debates realizados no meio científico que trouxeram à luz, a sindemia global da obesidade, desnutrição e alterações climáticas, serão necessárias profundas transformações visando a produção sustentável de alimentos e conscientização para a escolha desses alimentos (WILLET *et al.*, 2019).

O *marketing* de alimentos é um fator comercial e ambiental fortemente relacionado aos padrões alimentares da população, especialmente em crianças que ainda não conseguem perceber a intenção de venda e as comunicações persuasivas, sendo mais facilmente influenciadas. Assim, o *marketing* explora os estímulos alimentares que induzem à uma reatividade psicológica aos alimentos processados e ultraprocessados encontrando reciprocidade ao comportamento alimentar. Dado que a maior parte da publicidade de alimentos se destina aos produtos ultraprocessados, ricos em açúcares, gorduras e sódio, que reforçam as características sensoriais, criando relação de recompensa e dependência. A esse *marketing* é atribuído significativo papel para a atual epidemia de obesidade (SMITH *et al.*, 2019; FOLKVORD; HERMANS, 2020). Neste contexto, o *marketing* sensorial fornece o elo essencial entre os produtos/produtores e a geração de demanda em um ciclo de produção, demanda e consumo.

Em contrapartida, diferentes países adotaram Guias Alimentares, a exemplo do Brasil, que se apresenta como resistência ao *marketing* e consumo de alimentos pouco saudáveis. As políticas globais, destinadas à promoção do *marketing* responsável, considerando legislações nacionais como a restrição da publicidade de alimentos nos horários infantis de televisão e políticas de *marketing* de alimentos e bebidas nas escolas (WHO, 2018), ainda são discretas quando comparadas ao arsenal utilizado para a promoção de alimentos ultraprocessados em diferentes países.

Campbell *et al.* (2021) destacam que os órgãos públicos oficiais, formuladores de políticas de promoção à alimentação saudável, dependem dos dados fornecidos pelas indústrias de alimentos que propõem reformulação de seus produtos como estratégia ao combate à obesidade. Esses dados “presenteados” aos órgãos públicos, são carregados de reciprocidade que influencia negativamente as políticas de nutrição. Em cinco países europeus (Reino Unido, Portugal, Irlanda, Alemanha e França), os resultados provisórios da reformulação alimentar liderada pela indústria não atenderam às metas dos respectivos países. Os formuladores de políticas não estão a par da integridade das estratégias e inteligência de *marketing* e contam com fragmentos de dados distorcidos desse sistema. Além disso, as informações repassadas pelas indústrias carregam o simbolismo de “presente”, fazendo com que as autoridades regulatórias e de saúde pública operem dentro de uma economia de

presentes. Como consequência, foram percebidos o atraso estratégico e a necessidade de estabelecer metas em um cenário desconhecido. Os autores concluem que essa estratégia das indústrias diminuem a implementação de políticas de nutrição em saúde pública que contrariam os interesses comerciais dos produtores de alimentos ultraprocessados.

Assim, é necessário um engajamento individual, local, social e global para transformar o ambiente alimentar obesogênico em um ambiente alimentar promotor de saúde e em consonância com os princípios de sustentabilidade. Para tanto, são necessárias estratégias que promovam a disponibilidade e acessibilidade de alimentos *in natura* e minimamente processados, provenientes de sistemas alimentares ambientalmente amigáveis e que promovam justiça socioeconômica (BRASIL, 2014).

As estratégias de promoção e incentivo à alimentação saudável também devem levar em conta a composição nutricional dos alimentos, visando a promoção, manutenção da saúde e longevidade, prevenindo as DCNT (BRASIL, 2014; DUARTE *et al.*, 2022). Essas estratégias são ferramentas para a educação alimentar e nutricional de uma população. Segundo professor Willett *et al.* (2019), a mudança dos padrões alimentares em vista de uma dieta saudável e sustentável até 2050, demandará mudanças substanciais. O consumo geral de frutas, vegetais, nozes e legumes terá que duplicar e o consumo de carne vermelha e açúcar deverá ser reduzido em mais de 50%. Uma dieta rica em alimentos à base de plantas e com menos alimentos de origem animal confere benefícios à saúde e ao meio ambiente.

A produção de alimentos impulsiona grandes mudanças ambientais de maneira global, contribuindo para as alterações climáticas, perda de biodiversidade, uso de água doce, interferência nos ciclos do nitrogênio e fósforo e mudança no sistema terrestre (WILLETT *et al.*, 2019). Diante do exposto, essa revisão narrativa busca identificar e analisar as ações do *marketing* sensorial desenvolvidas aos setores de promoção de alimentos saudáveis juntamente aos sistemas sustentáveis, bem como verificar as principais estratégias adotadas.

2 METODOLOGIA

O estudo de revisão narrativa da literatura foi construído a partir das produções científicas identificadas por meio da busca nas bases de dados *PUBMED*, *SCOPUS*

e *Web of Science* no período de outubro a novembro de 2021. A busca considerou os descritores definidos pelo sistema de Descritores em Ciências da Saúde (DecS) ou *Medical Subject Headings* (MeSH): *Marketing sensorial AND Food Analysis AND Food Publicity AND health services AND consumer preferences AND Plant-Based AND organic food AND Planetary Health Diet OR Organic Produce OR Sustainable food*.

A seleção dos artigos em formato eletrônico, disponível *on-line*, teve como critério de inclusão: (1) produções científicas publicadas a partir de 2016; (2) pesquisas que correlacionavam a alimentação e sustentabilidade (3) ensaios sensoriais que avaliaram a ingestão de alimentos *in natura* ou industrializados. Os critérios de exclusão foram: (1) revisões, teses, dissertações, resumos de congressos e (2) artigos publicados em outros idiomas além do português, inglês e espanhol. Os estudos foram selecionados através da análise por título e resumo, seguidos pela leitura completa dos textos para compreensão dos dados e organização do texto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir desta revisão narrativa foi possível obter *insights* sobre o *marketing* sensorial e a relação com o desenvolvimento de produtos sustentáveis. Os efeitos potenciais da promoção de alimentos saudáveis, construindo, assim, o conhecimento existente sobre os mecanismos subjacentes que o *marketing* sensorial pode explorar para resgatar suas impressões negativas deixadas por décadas de estímulos sensoriais que foram capazes de levar às consequências diretas e adversas nas preferências alimentares e no consumo.

3.1 Perspectivas sobre a demanda de alimentos saudáveis e sustentáveis e instrumentos para a sua caracterização

As políticas sobre alimentação e saúde tem na obesidade, desnutrição e nas mudanças climáticas as maiores questões a enfrentar, pois muitas são as evidências que associam a obesidade e DCNT a uma alimentação nutricionalmente desequilibrada (WILLET *et al.*, 2019), ou seja, caracterizada pelo alto consumo de alimentos ultraprocessados que, até então, são estimulados pelo *marketing* sensorial através de estímulos visuais e olfatórios principalmente (SMITH *et al.*, 2019). Juntamente aos desafios relacionados ao excesso de peso e desnutrição, caminhando lado a lado, é necessário considerar o impacto ao meio ambiente pela produção e descarte excessivo de embalagens, modos de produção de alimentos, como a

agricultura e pecuária convencional, que utilizam grande quantidade de insumos químicos que contaminam o meio ambiente, além dessas atividades promoverem a desertificação de solos e vegetações nativas (FARDET; ROCK, 2020).

Willett *et al.* (2019) ressalta que a adoção de dietas saudáveis a partir de sistemas alimentares sustentáveis é necessária para atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) e o Acordo de Paris. As metas científicas para dietas saudáveis e produção de alimentos sustentáveis são necessárias para orientar uma grande transformação alimentar, em direção aos ODS (TRICHES, 2020).

A produção agrícola sustentável é um conceito que integra (i) ambiente saudável, (ii) lucratividade econômica e (iii) equidade econômica e social. Em relação ao meio ambiente, deve haver redução do consumo de energia, respeito ao bem-estar animal, tecnologias ecologicamente corretas com redução de produtos químicos, proteção à saúde dos trabalhadores e manutenção da qualidade de vida de quem vive nas áreas rurais (LI; KALLAS, 2021).

Com a maior visibilidade sobre os problemas climáticos, os consumidores estão se tornando mais exigentes para escolhas de produtos com padrões de sustentabilidade elevando a necessidade de políticas destinadas aos produtos bem como formas bem elaboradas de comunicação com o consumidor final. Além disso, o incentivo às pesquisas sobre aceitação de produtos locais, regionais, com foco na preservação do meio ambiente, nas pegadas ecológicas (de carbono, hídrica e ecológica) e conscientização doméstica, são outros fatores essenciais abarcados pelo *marketing* social (KOTLER; ZALTMAN, 1971).

A dimensão social da sustentabilidade está se tornando muito relevante na decisão de compra pelo consumidor e o *marketing* sensorial voltado aos alimentos deverá aprimorar e caracterizar diferentes estratégias de investigação e aplicações diretas às comunicações com o público potencial (ARTÊNCIO *et al.*, 2022). Neste sentido, a pesquisa de intenção de compra torna-se essencial para aprimorar as informações relacionadas as atitudes ambientais e aos benefícios gerados à saúde. Muitos estudos avaliaram produtos com atributos sustentáveis e verificaram resultados positivos em se pagar um valor mais alto quando relacionado a esse e aos benefícios de saúde (ECHEVERRÍA *et al.*, 2022; MULDER; ZOMER, 2017; XU *et al.*, 2019).

O campo das pesquisas sensoriais e de consumo sobre produtos com atributos

de sustentabilidade, incluindo métodos de fabricação, processamento ou preparo dos alimentos, observam as características dos produtos e sua aceitabilidade. A análise descritiva sensorial distingue características que destacam essas diferenças, e a pesquisa de aceitação do consumidor, baseado em escala hedônica, identifica os fatores que afetam a aceitabilidade (ABDU; MUTUKU, 2021; GAO *et al.*, 2016;). O teste de intenção de compra é uma ferramenta aceitável para compreender as atitudes e opiniões dos consumidores sobre atributos sustentáveis em produtos alimentícios. As estimativas do teste representam o valor máximo que um consumidor atual ou em potencial está disposto a pagar ou a provável frequência de aquisição do produto (WEINRICH; ELSHIEWY, 2019). O teste de intenção de compra auxilia a formulação de políticas socialmente aceitáveis que mostrem a garantia de sustentabilidade.

Zheng *et al.* (2021) utilizaram um questionário, utilizando uma escala Likert de cinco pontos (indo de discordo fortemente a concordo fortemente) e modelagem de equações para identificar os fatores que influenciam o comportamento de consumidores para a compra de produtos ambientalmente amigáveis. Os autores investigaram sete possíveis fatores, comprovando a influência de cinco deles, (i) normas subjetivas; (ii) atitude ambiental; (iii) eficácia da resposta; (iv) preocupação ambiental; e (v) gravidade percebida dos problemas ecológicos. Este último com o maior poder preditivo na compreensão da atitude em relação aos produtos verdes, enquanto a atitude, se mostrou o mais poderoso preditor da intenção de compra verde.

No mercado chinês, Gao *et al.* (2016), determinaram a percepção do consumidor sobre o leite sustentável bem como sua disposição de pagar por este tipo de alimento. Os autores relataram que os consumidores chineses têm conhecimento limitado sobre alimentos sustentáveis e estão dispostos a pagar 40% a mais do que o leite convencional, considerando-o de melhor qualidade e favorável à saúde de seus filhos. Sellers (2016) analisou através de um questionário se os consumidores de vinho pagariam ou não, em porcentagem, um valor maior por um vinho sustentável em relação a um vinho convencional de similar característica no mercado espanhol. O autor verificou que os consumidores espanhóis estão dispostos a pagar um valor maior por um vinho sustentável, embora tenham diferenças na intenção de compra entre os segmentos de mercado do vinho. As características socioeconômicas e o nível de conhecimento acerca da cultura do vinho e sustentabilidade afetaram a intenção de compra.

A integração de comportamentos alimentares sustentáveis e saudáveis em um instrumento de medição foi avaliada por Żakowska-Biemans *et al.* (2019). Os pesquisadores buscaram identificar como os jovens interpretam o conceito de alimentos sustentáveis e saudáveis e desenvolver um instrumento que possa medir esse comportamento. Foi desenvolvida uma escala considerando um estudo qualitativo exploratório e dois estudos quantitativos. Como resultado de 20 entrevistas individuais com jovens adultos poloneses, 50 itens foram gerados refletindo as perspectivas sobre os princípios alimentares sustentáveis e saudáveis por meio da análise de componentes principais, análise de confiabilidade e análise fatorial confirmatória. Uma escala com 34 itens foi proposta para oferecer *insights* sobre os aspectos mais relevantes dos comportamentos alimentares sustentáveis e saudáveis. Agrupados em oito fatores: dieta saudável e balanceada, certificação e rótulos de qualidade, redução de carne, seleção de alimentos locais, escolha de produtos alimentares com baixo teor de gordura, evitar desperdícios de alimentos e compra e consumo de produtos alimentares que respeitem o bem-estar animal e escolha de alimentos sazonais. Assim, essa escala pode ser uma ferramenta útil para pesquisadores que investigam os comportamentos sobre ações alimentares sustentáveis e saudáveis, fornecendo ao *marketing* sensorial ferramentas importantes quanto aos direcionamentos das formas de comunicação e instrução.

3.2 O rótulo dos alimentos saudáveis e sustentáveis como determinantes do marketing sensorial

As embalagens trazem informações e atrativos que são estudados pelo marketing para estabelecerem as influências das informações relacionadas às características e avaliação dos produtos pelos consumidores e no comportamento de compra. Estudos destacam a importância de informações acerca dos assuntos: nutrição e saúde (LI; DANDO, 2019), ingredientes, incluindo a substituição de aditivos artificiais por ingredientes naturais (SBARDELOTTO *et al.*, 2022), métodos de processamento (HOQUE, XIE, & NAZNEEN, 2018), origem, formas e sistemas de cultivo ou produção ambientalmente amigável e do comércio justo (CARZEDDA *et al.* 2021; DE ANDRADE SILVA *et al.*, 2017).

A cor da embalagem, sua forma e textura contribuem significativamente para a percepção da qualidade e saudabilidade dos alimentos, dependendo do tipo de

produto e do contexto. A influência do rótulo frontal e alegações nutricionais regulamentadas foi avaliada quanto as percepções dos consumidores sobre a salubridade do produto e as intenções de compra por Franco-Arellano *et al.* (2020). O estudo apresentou que bebidas menos saudáveis com qualquer rotulagem foram percebidas como menos saudáveis em comparação ao controle. Além disso, os autores verificaram que bebidas mais saudáveis com classificação por estrelas de alegação de saúde, juntamente com a rotulagem que indicava o nível de saudabilidade apresentaram efeitos positivos na intenção de compra. As bebidas que apresentaram alegações de funcionalidade, caracterizada por mensagens de redução de risco de doenças foram percebidas como mais saudáveis que aquelas que não apresentaram, independentemente de ser ou não mais saudável, aumentando a intenção de compra. A pesquisa ainda demonstrou que, a rotulagem frontal teve influência significativamente mais forte que as alegações nutricionais nas percepções dos consumidores. Entretanto, o efeito de cada rótulo frontal variou em bebidas mais saudáveis e menos saudáveis.

Alimentos orgânicos bem como alimentos locais, na percepção dos consumidores, estão intimamente conectados à sustentabilidade. A rotulagem de produtos orgânicos e ecológicos é cada vez mais estudada nas cadeias comerciais de diferentes *commodities* tendo sua aceitação baseada na avaliação de segurança alimentar, benefícios relacionados à saúde e o respeito ao meio ambiente, com um valor mais alto que recompensa os produtores. As vantagens da rotulagem ecológica para os cafeicultores proporcionam nichos de mercado ao possibilitar a prática de preços mais elevados e estáveis. Adbu; Mutuku (2021) avaliaram o comportamento de compra de consumidores de café dos últimos 15 anos, através de uma meta-análise considerando diferentes rótulos ecológicos de café. A intenção de compra dos consumidores por meio quilo de café foi positiva e significativamente influenciada pela presença de rótulos ecológicos e o atributo orgânico explicado pelos benefícios percebidos para a saúde e ao meio ambiente. Os rótulos ecológicos são a forma de comunicação sobre um produto sustentável onde, a sustentabilidade passa a ser uma característica de credibilidade de produtos alimentares, não podendo ser vista ou saboreada (TIGAN *et al.*, 2021).

Os rótulos *clean label*, denominados rótulos limpos, constituem uma mudança mercadológica importante que reflete as percepções dos consumidores sobre o que

constitui alimentos saudáveis e levaram a indústria de alimentos a remover certos ingredientes por meio de reformulação. Dentre os fatores que desempenham papéis na demanda por alimentos com rótulos limpos, as preocupações com a saúde e a sustentabilidade motivam a busca pelos consumidores por esses produtos (ASIOLI *et al.*, 2017).

3.3 Tecnologias emergentes e sustentabilidade como estratégia de marketing sensorial

As empresas agroalimentares aumentam sua competitividade de mercado a medida em que agregam a inovação tecnológica às suas práticas convencionais. Neste contexto, Roselli *et al.* (2020) avaliaram a aceitação dos consumidores pelo azeite extravirgem, produto tradicional, com uma extração aumentada de polifenóis por meio da tecnologia emergente de extração assistida por ultrassom. Mil e três consumidores de azeite extravirgem foram entrevistados via formulário *online*, considerando três segmentos de consumidores: 1) *inovadores*; 2) *tradicionalista*; 3) *cauteloso*. A inovação investigada foi comparada com a extração por tecnologia de micro-ondas, outra tecnologia capaz de melhorar a eficiência do processo, além de duas inovações que estendem a vida útil do azeite: embalagem com atmosfera modificada por aumento de nitrogênio e *bag-in-box* com o objetivo de simular a competição que ocorre no mercado. As novas tecnologias emergentes avaliadas, oferecem benefícios tangíveis e podem ser aceitas por grupos de consumidores que estão mais abertos à inovação do que outros (ROSELLI *et al.*, 2020). Assim, apesar da resistência do consumidor em aceitar novas tecnologias na produção de azeite extravirgem, há um segmento que as valorizam. Neste sentido, a visão do marketing sensorial pode explorar aspectos sensoriais, nutricionais, funcionais e a produção limpa, a partir de algumas tecnologias emergentes.

Yuliarti *et al.* (2021) investigaram diferentes compostos de origem vegetal como proteína de ervilha e proteína de trigo, para o desenvolvimento de alternativas de alimentos proteicos à carne, por meio de um processo de estruturação por congelamento. No estudo, 42 provadores não treinados avaliaram amostras fritas dos produtos análogos quanto aos atributos: textura, sabor e aceitabilidade geral por meio de escala hedônica de 5 pontos, sendo a nota 1 extremamente desejável e a nota cinco extremamente indesejável. Os resultados apresentaram que o análogo de carne

contendo uma proporção de 4:13 de proteína de ervilha e de trigo foi a preferida entre as formulações. É importante ressaltar que os alimentos substitutos da carne devem apresentar valor nutricional semelhante e, preferencialmente, serem isentos de proteínas, como o glúten, a fim de ampliar o nicho de mercado.

Um desfecho da associação do comportamento alimentar à sustentabilidade é a redução do consumo de carnes e derivados pelos consumidores conscientes. A indústria da carne combina preços elevados de alimentos que quando consumidos em excesso, podem contribuir com o aumento da prevalência de doenças crônicas não transmissíveis. Além disso, a produção de carnes e derivados, em especial da bovina e suína, gera elevada pegada de carbono, hídrica e ecológica. Assim, há interesse potencial por produtos que não contenham ingredientes de origem animal como os análogos de carne, englobando novas matérias-primas, novas técnicas de estruturação e novas formulações de produtos (YULIARTI *et al.*, 2021).

O *marketing* sensorial pode se voltar diretamente aos preceitos de consumo sustentável e local pois, a familiaridade com os atributos do produto, favorece a aceitação do consumidor, embora o grau de aceitabilidade não seja o único aspecto dos estudos de consumo. As emoções do consumidor, percepção e a relação entre os sentimentos sobre um produto e características sensoriais descritivas e informações de métodos de preparo também podem ser determinadas (BARETIĆ *et al.*, 2021). Para além, a curiosidade gastronômica e o apelo pela degustação de alimentos característicos de diferentes culturas levam as abordagens de *marketing* sensorial direcionadas às comidas típicas, gerando a autenticidade do local, a fim de atrair o turismo para a região e estimular a valorização local fornecendo características únicas para indivíduos de outras culturas (MILLER, 2021).

A aceitação do alimento é o resultado da interação entre humanos e alimentos e pode ser afetada por hábitos alimentares, educação e necessidades básicas de vida, atitude e crenças com a cultura. Nesses casos, a tradição serve como um fator primário que fundamenta as escolhas alimentares. As diferenças no ambiente alimentar e na experiência dietética entre as culturas podem influenciar a preferência pelas características sensoriais dos produtos alimentares (FOLKVORD; HERMANS, 2020).

O desenvolvimento sustentável envolve educação sobre hábitos de consumo e produção de baixo impacto ambiental. Buscando-se aplicar uma abordagem

multidisciplinar que leva em consideração questões econômicas, *marketing*, saúde pública e ambiental (FOLKVORD; HERMANS, 2020). A maioria dos índices e ferramentas para avaliação de dietas e consumo alimentar sustentáveis são direcionados para avaliarem a dimensão ambiental (DONINI *et al.*, 2016). Identificar os segmentos de consumidores com perfis, necessidades e valores comuns é essencial para o desenvolvimento de estratégias de comunicação pelo *marketing* sensorial, capazes de promover a sustentabilidade no consumo alimentar. Annunziata; Mariani (2018) avaliaram a percepção dos atributos de sustentabilidade de produtos orgânicos e locais através de dados descritivos coletados por pesquisa online com consumidores italianos. Os resultados mostraram o apoio dos consumidores aos alimentos orgânicos e locais como alternativa sustentável. (ANNUZIATA; MARINI, 2018). Assim, há uma segmentação de consumidores que apresentam características diferentes em relação às percepções dos atributos de sustentabilidade (i) um grande segmento de pessoas que parecem mais orientadas para o egocentrismo; (ii) um segmento voltado para a sustentabilidade ambiental e; (iii) um segmento que inclui consumidores voltados para a sustentabilidade.

As considerações sobre os diferentes níveis de sensibilidade aos atributos de sustentabilidade sobre alimentos orgânicos e locais deverão ser consideradas para formulações de políticas públicas e institucionais pelo *marketing* sensorial a fim de promover melhores padrões de consumo sustentáveis. A figura 1 apresenta uma possibilidade de abordagem do *marketing* sensorial considerando as diferenças de percepção dos atributos de sustentabilidade.

Neste contexto, compreendemos que os consumidores têm papel importante em tornar as cadeias alimentares mais sustentáveis através das escolhas que fazem ao comprar alimentos. Isso impacta sobre os alimentos que estão em produção bem como a forma com que são produzidos. As políticas podem impactar na forma como os alimentos são produzidos moldando as forças mercadológicas e seu desenvolvimento a partir das percepções dos consumidores, que tem papel crucial. E, como formadores de opinião, construtores na formação de uma cultura, o *marketing* sensorial tem responsabilidade direta nos sistemas alimentares, com foco para a sustentabilidade.

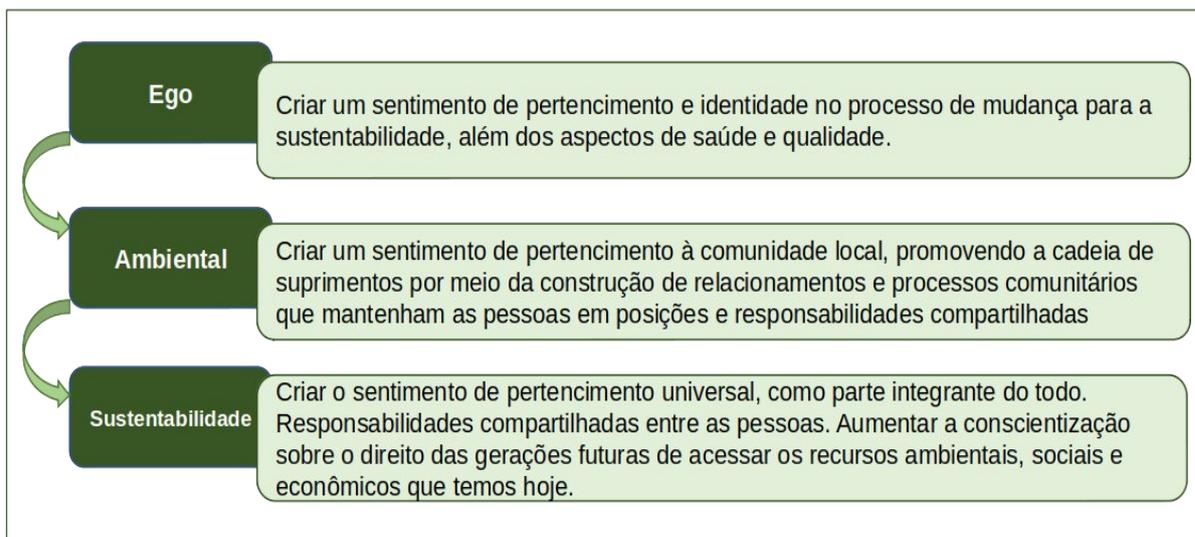


Figura 1 – Considerações sobre a abordagem do marketing sensorial às diferenças de percepção dos atributos de sustentabilidade.

Quando se fala em sistemas alimentares, todos os segmentos afetam a sustentabilidade pois estão interconectados. A produção animal ou vegetal, as etapas de processamento dos alimentos assim como a forma como esses alimentos são transportados entre as diferentes etapas da cadeia impactam as possibilidades transgeracionais (FARDET; ROCK, 2020). A escolha do consumidor pode ser um fator de ruptura de um padrão alimentar insustentável e o *marketing* sensorial, uma ferramenta de educação sobre escolhas alimentares mais conscientes (GONZÁLEZ-OÑATE, 2022; JIMÉNEZ-MARÍN).

Mesmo que a sustentabilidade seja um conceito abstrato com várias definições, muitos consumidores consideram a sustentabilidade importante (CARZEDDA *et al.*, 2021; DE ANDRADE SILVA *et al.*, 2017). E, mesmo que possam desconfiar que esse conceito de sustentabilidade seja intangível, as atitudes positivas em relação aos componentes centrais da sustentabilidade, como a proteção ambiental e física devem adentrar o inconsciente coletivo a fim de promover um direcionamento de atitudes que contemplem a cadeia alimentar como um todo, gerando um ciclo de ganha-ganha (JIMÉNEZ-MARÍN; GONZÁLEZ-OÑATE, 2022).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento alimentar é a alavanca mais forte para otimizar a saúde humana e a sustentabilidade ambiental. Mas há uma ameaça que parte desse comportamento tanto para as pessoas como para o planeta. Assim, torna-se um

grande desafio para a humanidade fornecer dietas saudáveis a partir de sistemas alimentares sustentáveis para uma população crescente.

Existem fortes evidências de que o *marketing* utilizado pela indústria de alimentos, em especial aos ultraprocessados, tem efeitos diretos e adversos nas preferências, consumo e na saúde da população, ao contribuir para o aumento da prevalência de sobrepeso e obesidade. A aplicação de ferramentas analíticas, como a análise sensorial, para se conhecer os atributos de sustentabilidade relacionados à intenção de compra, é essencial para se atender a demanda de um público consumidor consciente, além de contribuir com a sustentabilidade do planeta.

O *marketing* sensorial voltado aos alimentos deverá aprimorar e caracterizar diferentes estratégias de investigação e aplicações diretas às comunicações com o público potencial. Um olhar regionalizado poderá favorecer os produtores mais próximos, reduzir os danos ambientais relacionados aos processos de desenvolvimento dos produtos bem como favorecer a saúde da população. Neste sentido, políticas de incentivo aos investimentos tecnológicos aos pequenos produtores são necessárias, mesmo que sua execução exija ações ousadas por parte do poder público para aumentar a promoção de alimentos saudáveis. Assim, consequentemente, aumentar a saúde, o bem-estar e a longevidade da população, em longo prazo.

As estratégias existentes do *marketing* sensorial voltadas aos alimentos ultraprocessados poderão ser aplicadas em prol de produtos saudáveis, cuja produção é ambientalmente amigável, contribuindo com a promoção de hábitos alimentares saudáveis, redução da prevalência da obesidade e de DCNT. Além disso, há a necessidade de métodos inovadores para reforçar e atrair a atenção dos consumidores para alimentos e grupos de alimentos saudáveis e sustentáveis, que reforçam os valores correlacionados sobre atitudes saudáveis capazes de favorecer ambientes alimentares sustentáveis. As ferramentas acadêmicas utilizadas para analisar a interação do homem com os alimentos deve abordar os atributos de sustentabilidade para fortalecer o aprendizado sobre onde encontrar esses atributos e as formas de percebê-los nos alimentos desenvolvidos.

Um modelo de promoção da sustentabilidade aplicado ao *marketing* sensorial tem potencial de fornecer orientações direcionadas a população em geral bem como ao desenvolvimento de políticas efetivas para a comunicação entre diferentes grupos,

gerando conscientização e saúde física e ambiental.

REFERÊNCIAS

ABDU, Nizam; MUTUKU, Judith. Willingness to pay for socially responsible products: A meta-analysis of coffee ecolabelling. **Heliyon**, Cambridge, MA. v. 7, n. 6, p. e07043, 2021.

ANNUNZIATA, Azzurra; MARIANI, Angela. Consumer perception of sustainability attributes in organic and local food. **Recent patents on food, nutrition & agriculture**, Netherlands. v. 9, n. 2, p. 87-96, 2018.

ARTÊNCIO MM, GIRALDI JME, DE OLIVEIRA JHC. A cup of black coffee with GI, please! Evidence of geographical indication influence on a coffee tasting experiment. **Physiology & Behavior**, [s.l]. Mar 1, v.245, p. 113671, 2022.

ASIOLI, Daniele et al. Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. **Food Research International**, Canada. v. 99, p. 58-71, 2017.

BERČÍK, Jakub et al. Review of the potential of consumer neuroscience for aroma marketing and its importance in various segments of services. **Applied Sciences**, Suíça v. 11, n. 16, p. 7636, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Guia Alimentar para a população brasileira**. Ministério da Saúde, 2. ed., 1 reimpr. Brasília: Ministério da Saúde, p.156, 2014.

CAMPBELL, Norah et al. The gift of data: industry-led food reformulation and the obesity crisis in Europe. **Journal of Public Policy & Marketing**, [s.l]. v. 40, n. 3, p. 389-402, 2021.

CARZEDDA, Matteo et al. Consumer preferences for origin and organic attributes of extra virgin olive oil: A choice experiment in the Italian market. **Foods**, Basel, Switzerland. v. 10, n. 5, p. 994, 2021.

DONINI, Lorenzo M. et al. A consensus proposal for nutritional indicators to assess the sustainability of a healthy diet: the Mediterranean diet as a case study. **Frontiers in nutrition**, Suíça v. 3, p. 37, 2016.

DUARTE, Gabryele Barbosa Dutra et al. Alimentação saudável em tempos de Covid-19: uma revisão. **Research, Society and Development**, [s.l.] v. 11, n. 13, p. e129111335281-e129111335281, 2022.

ECHEVERRÍA, Rodrigo et al. Consumer willingness to pay for cheese with a social sustainability attribute. **Ciência Rural**, [s.l.] v. 52, 2021.

FALK, Emily B.; BERKMAN, Elliot T.; LIEBERMAN, Matthew D. From neural responses to population behavior: Neural focus group predicts population-level media effects. **Psychological science**, [s.l.] v. 23, n. 5, p. 439-445, 2012.

FARDET, Anthony; ROCK, Edmond. Ultra-processed foods and food system sustainability: what are the links?. **Sustainability**, Suíça v. 12, n. 15, p. 6280, 2020.

FOLKVORD, FRANS; HERMANS, ROEL C.J. Food Marketing in an Obesogenic Environment: a narrative overview of the potential of healthy food promotion to children and adults. **Current Addiction Reports**, [s.l.] p. 1-6, 2020.

FRANCO-ARELLANO, Beatriz et al. Influence of front-of-pack labelling and regulated nutrition claims on consumers' perceptions of product healthfulness and purchase intentions: A randomized controlled trial. **Appetite**, London v. 149, p. 104629, 2020.

GAO, Zhifeng et al. Chinese consumer quality perception and preference of sustainable milk. **China Economic Review**, China v. 59, p. 100939, 2020.

GARCÍA-CARDONA, Alejandra; LEÓN-DARDER, Fidel. Novel taxonomy of sustainability soft and hard practices in the food supply chain. **International Journal of Logistics Research and Applications**, [s.l.] p. 1-26, 2022.

HOQUE, Mohammed Ziaul; XIE, Jinghua; NAZNEEN, Suraiya. Effect of labelled information and sensory attributes on consumers' intention to purchase milk. **South Asian Journal of Business Studies**, [s.l.] v. 7, n. 3, p. 265-286, 2018.

JIMÉNEZ-MARÍN, Gloria; ALVARADO, María del Mar Ramírez; GONZÁLEZ-OÑATE,

Cristina. Application of Sensory Marketing Techniques at Marengo, a Small Sustainable Men's Fashion Store in Spain: Based on the Hulten, Broweus and van Dijk Model. **Sustainability**, Suíça. v. 14, n. 19, p. 12547, 2022.

KOTLER, Philip; ZALTMAN, Gerald. Social marketing: an approach to planned social change. **Journal of marketing**, [s.l.]. v. 35, n. 3, p. 3-12, 1971.

LI, Shanshan; KALLAS, Zein. Meta-analysis of consumers' willingness to pay for sustainable food products. **Appetite**, London. v. 163, p. 105239, 2021.

LI, Theresa; DANDO, Robin. Impact of common food labels on consumer liking in vanilla yogurt. **Foods**, Basel, Switzerland. v. 8, n. 11, p. 584, 2019.

MARQUES, D. M.; BERNARDO, M. H. Marketing sensorial e a influência no comportamento do consumidor. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, [s.l.]. v. 11, n. 1, p. 178-199, 2021.

MILLER, Bonnie M. Special issue introduction: historical and cultural perspectives of food on the fairgrounds. **Food, Culture & Society**, v. 24, n. 2, p. 174-186, 2021.

MULDER, Machiel; ZOMER, Sigourney. Dutch consumers' willingness to pay for broiler welfare. **Journal of Applied Animal Welfare Science**, v. 20, n. 2, p. 137-154, 2017.

ROSELLI, L. et al. Testing consumers' acceptance for an extra-virgin olive oil with a naturally increased content in polyphenols: The case of ultrasounds extraction. **Journal of Functional Foods**, [s.l.]. v. 69, p. 103940, 2020.

SBARDELOTTO, Paula RR et al. Natural alternatives for processed meat: Legislation, markets, consumers, opportunities and challenges. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s.l.]. p. 1-16, 2022. <https://doi-org.ez37.periodicos.capes.gov.br/10.1080/10408398.2022.2081664>

SELLERS, Ricardo. Would you pay a price premium for a sustainable wine? The voice of the Spanish consumer. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, [s.l.]. v. 8, p. 10-16, 2016.

DE ANDRADE SILVA, Adriana Reis et al. Impact of sustainability labeling in the

perception of sensory quality and purchase intention of chocolate consumers. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.]. v. 141, p. 11-21, 2017.

SMITH, Rachel et al. Food marketing influences children's attitudes, preferences and consumption: a systematic critical review. **Nutrients**, Basel. v. 11, n. 4, p. 875, 2019. <https://doi.org/10.3390/nu11040875>.

SWINBURN, B. A.; KRAAK, V. I.; ALLENDER, S.; ATKINS, V. J.; BAKER, P. I.; BOGARD, J. R.; DIETZ, W. H. The global syndemic of obesity, undernutrition, and climate change: the Lancet Commission report. **The lancet**, United Kingdom. v. 393, n. 10173, p. 791- 846, 2019.

ȚIGAN, Eugenia et al. The consumption of organic, traditional, and/or European eco-label products: elements of local production and sustainability. **Sustainability**, Suíça. v. 13, n. 17, p. 9944, 2021.

TRICHES, Rozane Marcia. Dietas saudáveis e sustentáveis no âmbito do sistema alimentar no século XXI. **Saúde em debate**, [s.l.]. v. 44, p. 881-894, 2020.

WEINRICH, Ramona; ELSHIEWY, Ossama. Preference and willingness to pay for meat substitutes based on micro-algae. **Appetite**, London. v. 142, p. 104353, 2019.

WILLETT, Walter et al. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. **The lancet**, Reino Unido. v. 393, n. 10170, p. 447-492, 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Evaluating implementation of the who set of recommendations on the marketing of foods and non-alcoholic beverages to children**-Progress, challenges and guidance for next steps in the WHO European Region. Copenhagen.2018.

XU, Lingling et al. Consumers' willingness to pay for food with information on animal welfare, lean meat essence detection, and traceability. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s.l.]. v. 16, n. 19, p. 3616, 2019.

YULIARTI, Oni; KOVIS, Tay Jun Kiat; YI, Ng Jun. Structuring the meat analogue by using plant-based derived composites. **Journal of food engineering**, [s.l.]. v. 288, p.

110138, 2021.

ŻAKOWSKA-BIEMANS, Sylwia et al. Searching for a measure integrating sustainable and healthy eating behaviors. **Nutrients**, Basel. v. 11, n. 1, p. 95, 2019.

ZHENG, Guang-Wen et al. Perceived environmental responsibilities and green buying behavior: The mediating effect of attitude. **Sustainability**, Suíça. v. 13, n. 1, p. 35, 2020.

CAPÍTULO III – EVALUATION OF MULTI-RESIDUES OF PESTICIDES IN NATURAL SOURCES OF WATER AND FUNCTIONAL COFFEE LEAF TEAS FROM ORGANIC AND CONVENTIONAL PLANTATIONS

Artigo a ser submetido à revista Environmental Pollution (ISSN: 0269-7491)

Kamila Leite Rodrigues^a, Luiz Paulo de Aguiar Marciano^b, Isarita Martins^b, Bruno Martins Dala-Paula^{a,}*

^aLaboratory of Experimental Nutrition, Gabriel Monteiro da Silva St. 700, Federal University of Alfenas – UNIFAL-MG, 37130-000, Alfenas, MG, Brazil*

^bLaboratory of Toxicant and Drug Analyses, Gabriel Monteiro da Silva St. 700, Federal University of Alfenas – UNIFAL-MG, 37130-000, Alfenas, MG, Brazil

*Corresponding author

Address: Gabriel Monteiro da Silva St. 700, Federal University of Alfenas – UNIFAL-MG, 37130-001, Alfenas, MG, Brazil

Phone number: ***

E-mail: bruno.paula@unifal-mg.edu.br

ABSTRACT

Coffee leaves have many bioactive compounds and Brazil is the mostly importer of pesticides in the world. So, verify these pesticides residues in food products like tea plays an important role in estimating human and environmental exposure. We proposed a rapid and sensitive LLE method coupled with a UHPLC-MS/MS system for simultaneous determination of triazole fungicides and organophosphate that are applied in coffee farming in southern Minas Gerais in Brazil. For that, the objective of this study was to develop a process for the production of coffee leaves tea (*Coffea arabica*), similar to teas (*Camellia sinensis*) were developed and four more groups processed by solid state fermentation (FES) with inoculation of probiotic. Coffee teas functional properties from conventional cultivation systems and natural water from the same property were analyzed. The multi-residue method was used in order to detect whether the values would be compatible with the maximum residue limits (MRLs) established by international bodies. The types of cultivation, organic and conventional, presented similar values for all groups. The group similar to yellow tea had the best antioxidant potential values against ABTS as well as the highest levels of flavonoids and total phenolics, followed by green tea and oolong with similar values. Among the fermented groups, the FES inoculated with *Saccharomyces cerevisiae* showed the best behavior, although the other groups showed similar values. The multi-residue method detected values above the MRLs in the tea samples, indicating that the production of teas from leaves of conventional crops is not considered healthy, making this possibility plausible only for organic crops.

Keywords: *Coffea arabica*; coffee leaves tea; liquid chromatography-mass spectrometry; pesticides exposure.

1 Introduction

Coffee is one of the most popular beverages in the world, being the third most consumed after water and tea. It is the main export product of Minas Gerais with 70% of the Brazilian production of Arabica coffee and, therefore, an important generator of employment and income for thousands of Minas Gerais farmers (International Coffee

Organization, 2021).

A challenge for coffee growers is the practice of desprouching, which consists of removing orthotropic branches, and unproductive of vertical growth, which uses part of the plant's energy reserves for their growth, harming coffee production (Fernandes *et al.*, 2012). In this sense, desprouching is an essential practice for the longevity with productivity of a coffee culture (Sanar, 2016). Thus, using coffee leaves as a new sustainable product could increase the income of the owners, and also create more jobs for the workers of the coffee farms, reducing migration due to the scarcity of jobs and providing a new economic model for the region. Coffee leaf tea is prepared in a similar way to the different processing of *Camellia sinensis* tea and research related to phytochemicals, bioactivities, applications and impacts of processing methods on the composition of coffee leaves and pesticide residues is still scarce (Chen *et al.*, 2019).

Due to the presence of many bioactive compounds in these leaves, there is a growing interest in applications such as tea, food supplements and ethnomedicine (Chen, 2019). Pharmacological applications of coffee leaves contribute to antioxidant, anti-inflammatory, antihypertensive, antimicrobial and antifungal activities (Monteiro *et al.*, 2019; Patay *et al.*, 2016). However, the safety of tea consumption from conventional crops with the use of pesticides is not known. Brazil is currently the world's largest producer of coffee and is the highest importer of pesticides in the world to sustain and maintain this high productivity (Ofstehage; Nehring, 2021).

The determination of these pesticides residues plays an important role in estimating human and environmental exposure (Nehra *et al.*, 2021). Multi-residue methods for analyzing pesticides in food are the analytical processes of choice due to the possibility of determining a large number of pesticides in a given matrix, using a single extraction step, taking into account the physicochemical properties of each substance and the characteristics of each method (Lazartigues *et al.*, 2011; Raina-Fulton, 2014).

The improvement of environmental monitoring techniques is significant challenge. Coupling of liquid chromatography to mass spectrometry allows analytical analyzes with high sensitivity, selectivity, resolution and low limits of detection and quantification with high reproducibility of a particular compound or of several compounds in complex mixtures (Berni *et al.*, 2021; Morais *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2019). However, the analysis of different plant compounds is significantly dependent

on methods associated with sample preparation prior to instrumental analysis (Merhi *et al.*, 2022). Furthermore, certain matrices are complex and require the development of methods that do not change the structure and identity of the compounds to be studied. Liquid-Liquid Extraction (LLE) is a fast and simple extraction method due to its simple principle of two immiscible solvents forming separate layers (Shin *et al.*, 2022). Moreover, the external standardization method based on the use of solvent calibration curves has been modified to involve calibration with matrix matching or standard addition methods to reduce the matrix effect during mass spectrometry (Shin *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2012).

In the present study, we proposed a rapid and sensitive LLE method coupled with a liquid chromatography-mass spectrometry system for simultaneous determination of triazole fungicides and organophosphate insecticides that are applied in coffee farming in southern Minas Gerais in Brazil. Therefore, the objective of this study was to develop a process for the production of coffee leaves tea (*Coffea arabica*), determine functional properties, verify the presence of pesticide residues in coffee leaves tea from conventional cultivation systems and natural water from the same property.

2 Experimental

2.1 Plant Material

Leaves were harvested from organic and pesticide exposure coffee plants (*Coffea arabica*), growing under natural environment in Paraguaçu municipality, Minas Gerais (21° 33' 22" South, Longitude: 45° 44' 22" West), Brazil. The developmental stage of the leaves was categorized as sprouts, buds and young leaves (3-4 weeks after emergence), which are green in the orthotropic branches. Approximately 2 kg of samples were collected with the aid of steel scissors, between the Jun 6th and 9th, 2022 in two coffee farms. One with certification of organic cultivation and the other with the adoption of a conventional production system, using pesticides. The samples were packed in zip lock plastic and taken to the dietary technique laboratory in order to receive the treatments.

2.2. *Ethanol extract of coffee leaves*

To obtain the extracts, an aliquot of approximately 250 g of the leaves, previously washed in potable running water, was dried in an oven at 50 °C/6 h. The dried leaves were ground in a knife mill and three 0.5 g aliquots were weighed in a 15 mL Falcon tube, added with 5 mL of absolute ethyl alcohol, and shaken in a bench vortex for 1 min. Then, the samples were taken to the ultrasonic bath (40 KHz, for 30 minutes at 35 °C) and centrifuged at 3000 rpm for 10 minutes. The supernatant was collected, and the process repeated twice, after the addition of the same volume of absolute ethyl alcohol. At the end of the process, the extract was stored at - 18 °C until the time of analysis (Cavalaro *et al.*, 2020).

2.3. *Processing of sustainable coffee leaves tea from sprouting*

Coffee leaves from organic and conventional crops were washed and dried with paper towels, weighed and randomly divided into groups. A total of 1,750 g of each crop was divided between the 7 groups and processed according to the methods described by Chen *et al.* (2018).

The first stage of processing, the withering, started as soon as the leaves were harvested, having been finished in the laboratory with the beginning of the next stage. The group processed similarly to green tea (G) from *Camellia sinensis*, followed the procedures described by Chen *et al.* (2018), with some modifications. The leaves were blanched by steaming for 3 minutes to inactivate oxidative enzymes and oven dried at 50 °C for 24 hours. The group processed similarly to oolong tea (O), followed the steps described by Chen *et al.* (2018), with some modifications. The leaves were manually rolled to allow slight rupture of the plant tissue at the ends of the leaves and to allow contact between polyphenol oxidase enzymes with their substrates. Then, they were stacked on a stainless-steel tray at room temperature for 8 hours and finalized by oven dried at 50 °C for 24 hours. The group processed similarly to yellow tea (Y), followed the procedures described by Wei *et al.* (2021), with some modifications. The leaves were rolled by hand and placed in a stainless-steel container with a lid, wrapped in a wet cotton cloth (relative humidity 75 ± 3%) at a temperature of 30 °C (± 2 °C) for 24 h. Subsequently, the leaves were placed in a pan and heated with constant mixing at approximately 230 °C for 3 min to inactivate the oxidase enzymes, this step is called “fixing”. The process was finished by oven dry at 50 °C for 24 hours.

Four groups of coffee leaves from each crop were submitted to solid state fermentation, as described by Feitosa *et al.* (2020), with some modifications. Three starter culture suspensions were prepared:

- (i) (BF): Half 400 mg pack of Bio Rich® commercial yogurt inoculum (Chr. Hansen Ind. and Com. Ltd, Horsholm, Denmark), containing cultures of *Lactobacillus acidophilus* LA-5® (1×10^6 CFU/g), *Bifidobacterium* BB-12® (1×10^6 CFU/g) and *Streptococcus thermophilus* was added to 25 ml of distilled water and homogenized.
- (ii) (YF): An aliquot of 200 mg of *Saccharomyces cerevisiae* yeast inoculum (6×10^6 CFU/g) was added to 25 ml of distilled water and homogenized.
- (iii) (B+YF): Half 400 mg pack of commercial Bio Rich® yogurt inoculum and 200 mg of *Saccharomyces cerevisiae* yeast inoculum were added to 25 mL of distilled water and homogenized.

The leaves were transferred to four polyethylene containers with lids, and the volume of each prepared suspension was sprayed completely. To control the fermentation process, the starter culture suspension was replaced by 25 mL of distilled water and sprinkled over the leaves. All containers were transferred and incubated in a B.O.D. at 37.5 °C for 240 hours. After this period, the processing was completed by drying the fermented leaves in an oven at 50 °C for 24 h.

The processed leaves of all groups were transferred to a glass container, capped and stored at -4 °C until the time of chemical analysis.

2.4. Determination of Moisture

For the determination of moisture, the gravimetric method of drying volatiles in an oven at 105 °C was used, weighing the material until a constant weight was obtained according to the methodology of the Association of Official Analytical Chemist - AOAC (2016). Coffee leaves from organic and conventional crops, under different processing were analyzed in three replications.

2.5. Extracting aqueous compounds from coffee leaves tea

Infusions were prepared by weighing approximately 0.5 g of leaves from each group in a glass beaker and adding 50 mL of boiling water. The beaker was immediately capped and kept for 3 minutes. Three infusions were made for each group

(Liu *et al.*, 2016). Subsequently, the infusions were strained, cooled to room temperature, and sent for spectrophotometric analysis to determine the levels of TFC (total flavonoid content), TPC (total phenolics content) and TEAP (trolox equivalent for antioxidant potential) by the ABTS and DPPH radical neutralization methods.

2.6. Determination of total flavonoids

TFC were determined according to the methodology reported by Dala-Paula *et al.* (2019), with modifications. An aliquot of 625 μL of properly diluted sample was added to a test tube. Then, 37.5 μL sodium nitrite (NaNO_2) at 5% (w/v) were added, with manual agitation for approximately 10 seconds and incubation for 5 minutes at 25 °C. After the incubation period, 37.5 μL 10% (w/v) aluminum chloride (AlCl_3) was added. The mixture was manually shaken for 10 seconds and incubated for 5 minutes at 25 °C. Next, 250 μL 1M sodium hydroxide (NaOH) and 350 μL of distilled water were added, with the tubes manually shaken again and incubated under the same conditions described above. The absorbance of the samples was measured in a BelPhotonics Ultraviolet/Visible-M51 (Bel) spectrophotometer (Monza, Milan, Italy) at a wavelength set at 510 nm. A catechin standard curve was constructed with 10 points (6-60 μg) and used to quantify total flavonoid levels, expressed in equivalent of catechins ($\text{mg EC}\cdot\text{g}^{-1}$) on a dry weight (b.w.).

2.7 Determination of total phenolic compounds

The determination of total phenolic compounds contents was performed according to the method described by Wang *et al.* (2020), with modifications. An aliquot of 160 μL obtained from the extract, properly diluted, was added to a test tube containing 80 μL of the Folin-Ciocalteu's reagent, manually shaken for 10 seconds and kept for 5 minutes at 25 °C. A volume of 640 μL of Na_2CO_3 (7.5% w/v) was added and incubated at 25 °C for 30 minutes protected from light. Absorbance was measured at 756 nm on a spectrophotometer. The results were quantified from the equation of the straight line obtained through a standard curve of gallic acid constructed with seven points, (1-6 μg). Results were expressed as mg gallic acid equivalent ($\text{mg EAG}\cdot\text{g}^{-1}$) in d.w.

2.8. Determination of antioxidant potential by the ABTS radical scavenging method

The antioxidant potential was determined by the spectrophotometric decolorization method of the cationic radical ABTS (2,2'-azinobis 3-ethylbenzoatiazolino-6-sulfonic acid), obtained from its neutralization with antioxidant compounds present in the samples, according to the methodology described by Margraf and Granato (2016). ABTS solution was prepared by mixing 7 mM aqueous solution of ABTS with 2.45 mM potassium persulfate solution and incubated in the dark at room temperature for 12 hours. The resulting solution was diluted to an absorbance of 0.7 ± 0.05 , set at a spectrophotometer with wavelength of 734 nm.

The difference in absorbance obtained after incubation for 15 minutes of the control solution (750 μ L of ABTS + 250 μ L of distilled water) and the solution containing the samples (750 μ L of ABTS + 250 μ L of properly diluted sample) was used for the calculation of the antioxidant potential. The equation of the straight line obtained from a trolox quantification curve with seven points (1-17 nM). Results were expressed as trolox equivalent (TE μ M.g⁻¹) in d.w.

2.9 Determination of antioxidant potential by the DPPH radical scavenging method

The DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical neutralization activity by antioxidants was quantified according to the methodology described by Margraf et al. (2016), with modifications, using Trolox as standard. An aliquot of 100 μ L of each properly diluted sample was placed in a test tube with 650 μ L of 0.10 mM DPPH solution solubilized in methanol, being homogenized manually and kept in the dark at room temperature for 30 minutes. Absorbance was measured in a spectrophotometer at 517 nm. The antioxidant potential was calculated through the equation of the straight line obtained from a quantification curve of seven points of Trolox standard (1.1-10.8 nM). Distilled water was used as a negative control (Margraf; Granato, 2016). Results were expressed as trolox equivalent (TE μ M.g⁻¹) in d.w.

2.10 Multi-residue method for pesticide analysis in coffee leaf tea

In a polypropylene tube, 2 mL of the *coffee leaf tea* was added with 15 μ L of deuterated internal standard (TEB-D9) and 500 μ L of ethyl acetate. This tube was agitated for 1 minute with a TermolyneMaxi Mix II (Barnstead Thermolyne Corp., Dubuque, USA) vortex mixer and then centrifuged for 10 minutes at 1779 x g. Next, 150 μ L of supernatant (ethyl acetate phase) were transferred to another microtube and

taken to a concentrated centrifuge/evaporator Centrivap® (Labconco Corporation, USA) for 15 minutes at 45 °C. The residue was reconstituted with 100 µL of mobile phase, after homogenization, transferred to a vial and analyzed by UHPLC-MS/MS.

2.11 Chemicals, reagents, standard preparation

Triazole fungicide standards cyproconazole (95% - Santa Cruz, USA), epoxiconazole (99,2%), metconazole (99,5%), propiconazole (mixture of stereo isomers, 99% - products line Pestanal®), tebuconazole (99.6%), triadimefon (99% - products line Pestanal®) and triadimenol (98.5%) were purchased from Sigma-Aldrich (São Paulo, BRA). Organophosphate standards chlorpyrifos (98%), diazinon (98,7%), disulfoton (99% - products line Pestanal®), ethion (98,3%), malathion (99%) and trichlorfon (98% - products line Pestanal®), were obtained from Chem Service (West Chester, USA). Internal standard tebuconazole-(tert-butyl-d9) (TEB-D9, purity ≥ 99%) was purchased from Sigma-Aldrich (São Paulo, BRA).

HPLC grade methanol, obtained from Êxodo Científica (Sumaré, BRA), formic acid and ammonium acetate from Vetec® (Duque de Caxias, BRA) were used to prepare the mobile phases of the chromatographic analyses. The water used was of the ultrapure type, obtained through a Milli-Q Plus water purification system (Millipore®, Bedford, USA). Ethyl acetate (99% purity) used in the LLE was obtained from Vetec® (Duque de Caxias, BRA). And C18 disks of 47 mm in diameter and 0.6 mm in thickness, consisting of irregular silica particles of 30 µm and pores of 70 Å from Supelco® (Bellefonte, USA).

Individual stock standard solutions of the analytes were prepared at 1,000 mg L⁻¹ were prepared by dissolving each compound in methanol and were stored in amber flasks at -20°C. The stock solutions were stable for 6 months. The intermediate solution of the combined pesticides was prepared by diluting the stock solutions in methanol at a concentration of 10 mg L⁻¹. The standards combined with the processed organic extract were prepared at the same concentrations as the calibration solutions, within the concentration range of 1-100 µg L⁻¹, by adding adequate amounts of standards to the matrix for use as spike samples in validation experiments.

2.12 Liquid chromatography and mass spectrometry conditions

A UPLC system coupled to a triple-quadrupole mass analyzer (MS/MS), model

LC–MS 8030 from Shimadzu® (Kyoto, Japan), was used for the analysis of the samples. The analytical column NST 18 100 (150 mm x 4.6 mm, 5 µm; L x ID, particle size) and a guard-column SUPELCOGUARD LC – 18 (10 mm x 4,6 mm, 5 µm; L x ID, particle size) were used. Column oven temperature was set at 35 °C. The positive electrospray ionization mode (ESI, 4.5 kV) was chosen to ionize the analytes. The nebulizing and drying gas (N₂) flow rates were 2 and 15 L.min⁻¹, respectively. The multiple reaction monitoring (MRM) transitions, quadrupole voltages (Q1 and Q3) and the and collision energy voltages applied are summarized in Table 1. Additionally, the dwell times of the analytes were set to 100 ms.

The mobile phase was optimized with the composition and proportion of organic and aqueous solvent, starting with the study by (Dias et al., 2013). The aqueous mobile phase consists of 10 mmol.L⁻¹ ammonium acetate, with 0.01% formic acid (solution A) and methanol (solution B), with a total flow rate of 0.3 mL.min⁻¹. The use of a gradient between solution A and solution B phases was performed with the objective of improving the chromatographic separation, following gradient program: 98%–90% B for 8 min, 90%–80% B for 8–12 min, maintained until the 14th min. The sample volume injected into the system was 10 µL, and data files were acquired using the LabSolutions® software program (Shimadzu®, Kyoto, Japan).

Table 1 - Spectrometric parameters of organophosphate and triazoles pesticides analysis by UHPLC-MS/MS.

Pesticides	Molecular weight (g/mol)	Precursor ion (<i>m/z</i>)	Product ion (<i>m/z</i>)	Q1 (V)*	EC (V)**	Q3 (V)*
Organophosphate						
Chlorpyrifos	348.92	349.80	97.00 ^a , 197.80	15, 15	34, 18	22, 10
Diazinon	304.10	304.90	169.10 ^a , 153.10	14, 14	21, 20	12, 11
Disulfoton	274.40	274.90	89.10 ^a , 61.10	12, 12	11, 37	10, 11
Ethion	383.98	384.80	143.00 ^a , 171.00	10, 10	27, 18	15, 12
Malathion	330.03	330.90	99.00 ^a , 127.00	10, 14	25, 14	11, 14
Trichlorfon	255.92	256.80	109.00 ^a , 79.00	12, 11	19, 33	12, 15
Triazoles						
Cyproconazole	291.11	292.00	70.00 ^a , 125.00	12, 13	21, 28	17, 13
Epoxiconazole	329.07	329.90	121.00 ^a , 123.00	16, 16	21, 19	13, 13
Metconazole	319.14	320.00	70.00 ^a , 125.00	15, 14	24, 39	16, 13
Propiconazole	341.06	341.80	69.00 ^a , 158.90	15, 15	21, 28	16, 11
Tebuconazole	307.14	308.00	70.00 ^a , 125.00	14, 13	21, 40	17, 13
Triadimefon	293.09	293.90	196.90 ^a , 224.90	12, 12	16, 13	14, 11
Triadimenol	295.10	296.00	70.00 ^a , 99.00	11, 13	11, 17	16, 23

*Q1 e Q3: quadrupole 1 and 3; **EC: collision energy; ^aQuantification ion (highest intensity).

2.13 Validation of the analytical procedure

An organic coffee leaves tea sample processed was submitting to the sample preparation procedure and the detection of the pesticides by UPLC-MS/MS. The sample detected as pesticide-free was selected as the blank matrix sample. The confidence parameters performed were linearity, precision, accuracy, limit of quantification (LOQ), limit of detection (LOD) and matrix effect, according to guidance document SANTE/11312/2021 (European Commission - EC, 2021). The linearity was performed with calibration curves at seven different concentration levels (n=3) ranged ranging from 10 to 100 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. The linearity was expressed as the determination coefficient (R^2), precision was expressed as relative standard deviation (RSD%, $\leq 20\%$) and accuracy was evaluating through recovery that was carried by using the blank matrix samples, spiked at LOQ and 50 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ with five replicates (n=5) for each level. Finally, the matrix effect was evaluated by comparing the signal intensity of blanked matrix spiked, with standard solution, with pure solvent standard at the same concentration and evaluated via the following Eq. (1) (Huang *et al.*, 2019).

$$ME (\%) = \frac{(\text{peakareaof} - \text{peakareaofsolventstandard})}{\text{peakareaofsolventstandard}.100} \quad (1)$$

The LOQs were the lowest obtained concentration quantified with precision and accuracy and the LODs were accessed using the lowest detectable concentration of the analytes in blanked matrix spiked with standards.

2.14 Monitoring pesticides in natural water

To analyze the presence of pesticides in natural water, a methodology from the study by (Santos Neto and Siqueira, 2005) was used to extract a 1,000 mL sample of water by solid phase extraction (SPE) using C18 disks. The same chromatographic and spectrometric conditions were used for analysis by UHPLC-MS/MS.

2.15 Statistical analysis

Results were expressed as mean \pm standard deviation. Differences between groups were calculated by Analysis of Variance (ANOVA), followed by Tukey's test ($p \leq 0.05$) to identify which groups differed from each other. Multivariate analyzes such as Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Cluster Analysis (HCA) were performed in order to assist in the grouping of samples through the results presented in the chemical analyzes performed and in the determination of the principal

components, responsible for the formation of clusters. The PCA was performed from the correlation of the analytical results, while the HCA was constructed from the McQuitty method and the distance measurement by the Euclidean method. Minitab Statistical Software 16.2.3®.

3 Results and discussion

In table 2 is presented the results of TFC, TPC and TEAP measure by the neutralization of ABTS and DPPH radicals of ethanolic extract and infusions of different processes of coffee leaves from sprouting.

Table 2 - TFC, TPC and TEAP (ABTS and DPPH) of ethanolic extract and infusions of different processes of coffee leaves sprouting from organic and conventional crops.

Samples	TFC (CE mg.g ⁻¹)	TPC (GAE mg.g ⁻¹)	TEAP (μmol.g ⁻¹)	
			ABTS	DPPH
EE LOC	153,52 ± 1,53 ^b	110,03 ± 0,41 ^b	462,03 ± 4,70 ^b	380,01 ± 1,34 ^b
EE LCC	205,55 ± 1,39 ^a	121,79 ± 0,31 ^a	475,38 ± 1,97 ^a	423,70 ± 1,20 ^a
G LOC	11,08 ± 0,21 ^d	17,83 ± 0,09 ^{d,e,f}	73,39 ± 0,60 ^{e,f}	59,81 ± 0,25 ^e
G LCC	11,01 ± 0,32 ^{d,e}	18,19 ± 0,09 ^{c,d}	75,71 ± 0,34 ^e	60,85 ± 0,18 ^d
Y LOC	12,55 ± 0,17 ^c	18,45 ± 0,07 ^c	82,79 ± 1,46 ^{c,d}	47,84 ± 0,24 ⁱ
Y LCC	12,55 ± 0,20 ^c	18,50 ± 0,09 ^c	84,35 ± 0,55 ^c	47,66 ± 0,24 ⁱ
O LOC	10,17 ± 0,25 ^{e,f}	18,52 ± 0,04 ^c	73,22 ± 2,00 ^{e,f}	62,84 ± 0,18 ^c
O LCC	7,09 ± 0,04 ^g	18,41 ± 0,67 ^c	75,05 ± 0,29 ^{e,f}	61,38 ± 0,20 ^d
CF LOC	9,77 ± 0,15 ^f	18,09 ± 0,15 ^{d,e}	57,31 ± 0,46 ^{g,h}	50,25 ± 0,36 ^g
CF LCC	7,01 ± 0,08 ^g	18,16 ± 0,05 ^{c,d,e}	59,16 ± 0,51 ^g	50,16 ± 0,25 ^g
BF LOC	5,58 ± 0,09 ^h	16,97 ± 0,06 ^g	73,51 ± 0,40 ^{e,f}	56,20 ± 0,23 ^f
BF LCC	5,58 ± 0,20 ^h	16,83 ± 0,06 ^g	72,78 ± 0,38 ^f	56,36 ± 0,25 ^f
YF LOC	7,18 ± 0,04 ^g	17,59 ± 0,06 ^f	81,64 ± 0,32 ^d	55,98 ± 0,26 ^f
YF LCC	7,21 ± 0,06 ^g	17,63 ± 0,10 ^{e,f}	80,82 ± 0,39 ^d	56,47 ± 0,36 ^f
B+YF LOC	3,80 ± 0,04 ⁱ	17,90 ± 0,14 ^{d,e,f}	49,76 ± 0,76 ^h	49,17 ± 0,07 ^g
B+YF LCC	3,78 ± 0,03 ⁱ	17,99 ± 0,10 ^{d,e}	55,85 ± 0,38 ^g	50,12 ± 0,17 ^h

Note: Mean values ± standard deviations with different letters in the same columns are significantly different (Tukey test, $p \leq 0.05$). Leg.: TFC: total flavonoid content; CE: catechin equivalent; TPC: total phenolic content; GAE: gallic acid equivalent; TEAP: Trolox equivalent of antioxidant potential; EE: ethanolic extract; LOC: coffee leaves from organic crop; LCC: coffee leaves from conventional crop; G: similar process to green tea; Y: similar process to yellow tea; O: similar process to oolong tea; CF: control fermentation; BF: fermented with BioRich®; YF: fermented with yeast (*Saccharomyces cerevisiae* – US-05 Fermentis); B+YF: fermented with BioRich® + Yeast (*Saccharomyces cerevisiae* – US-05 Fermentis).

3.1 Flavonoid Total Content

Total flavonoid content represents a subgroup of phenolic compounds and are related to the sensory and functional quality of plant-derived foods and beverages. At low concentrations they act as antioxidants protecting plants, and high concentrations can interact with proteins, carbohydrates and minerals altering the antioxidant response (Karakaya, 2004).

The EE LOC and EE LCC showed the highest total flavonoid content when compared to the infusions ($p \leq 0.05$) and coffee leaves from conventional cultures had higher content ($p < 0.05$) compared to the leaves from organic crop. TFC of different tea processing ranged from 3.78 ± 0.03 to 12.55 ± 0.17 mg.g⁻¹ with the highest content to Y LOC and Y LCC. Yellowing process can decrease gallate catechins from 83.38 mg/g to 58.21 mg/g after a period of 24 h and increase non-gallate catechins (catechin, epicatechin and epigallocatechin) and gallic acid by 27.4% and 615.4%, respectively (Wei *et al.*, 2021).

The G LOC and G LCC groups have been recognized in the literature with higher flavonoid contents compared to other types of tea (Chen, 2018; Musial *et al.*, 2020). However, the fixation step by steam heating may have increased the degradation of thermosensitive flavonoids (Marathe *et al.*, 2017), compared to the fixing step performed in Y LOC and LCC.

The O LOC had similar total flavonoid content to G LCC and the performed fixing processes were similar. Enzyme inactivation applied to green tea coffee leaves groups contributed to the maintenance of bioactive compounds since the polyphenol oxidase and peroxidase enzymes are inactivated (Chen *et al.*, 2019). The O LOC and O LCC was slightly oxidized by keeping for a short time by manual and delicate winding of the leaves, causing a light disruption of the plant tissue and favoring the enzymatic oxidation of flavonoids. This step may have been responsible for the lower TFC values in the O LOC and O LCC compared to other unfermented teas.

The fermented group of coffee leaves had the smallest TFC. According to Xu *et al.* (2018) the fermentation process of tea leaves can degrade flavonoids by the microorganism's metabolism and promote the hydrolysis of gallate catechins and originates other compounds. The TFC decreasing was higher in the groups which were added to started cultures (BF, YF, B+YF) when compared to CF. Catechins, especially gallate catechins, are the primary flavonoid components that main cause of the bitter

and astringent taste in *Camellia sinensis* tea (Zhang *et al.*, 2020) and in other kind of teas. Fan *et al.* (2016) reported that gallate catechins were hydrolyzed during heat treatment at 30 °C and the high temperatures were responsible to hydrolyzing catechin gallate into gallic acid. Furthermore, long-term of pile-fermentation at high temperature, high humidity, and addition of microorganisms, can also promote the hydrolysis of gallate catechins (Qin *et al.*, 2012; Xu *et al.*, 2018). Thus, a degradation of flavonoids can be observed during the fermentation period, promoting the maintenance or light change in the total phenolic content from the tea of coffee leaves.

3.2 Total Phenolic Content

Coffee leaves contain abundant number of phenolic compounds, therefore, application of tea-processing methods to process coffee leaves can affect their phytochemical profile, levels, and corresponding bioactivities (Chen *et al.*, 2018). The EE LOC and EE LCC showed the highest TPC when compared to infusions in water ($p \leq 0.05$) and the coffee leaves from conventional cultivation had higher values ($p < 0.05$) than those from organic crop.

The unfermented coffee leaves (G, Y and O) from organic and conventional crops had similar TPC ($p > 0.05$) to the CF LCC. The different processing did not significantly alter the TPC as occurred with TFC. The different forms adopted for the inactivation of polyphenol oxidases (steam heating or in a hot pan at 230 °C, both for 3 min) in G, Y and O processes, seem to have provided similar changes in TPC. However, these coffee leaves samples showed a higher content ($p < 0.05$) compared to fermented groups, but lower than that perceived for the TFC. During fermentation, there is the degradation of flavonoids and conversion to simple phenolic compounds such as gallic, caffeic, and ferulic acids (Xiao *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2019;).

Microbial fermentation plays a critical role in forming the numerous health benefits and unique flavor characteristics of fermented tea (Zhu *et al.*, 2020). During this microbial fermentation step, phenolic acids, flavonoids, and their glycosides undergo numerous complex biochemical changes that substantially influence the metabolites of tea leaves and generate numerous bioactive and flavoring components, conferring to fermented teas many health-promoting effects and special sensory attributes to be analyzed later (Zhang *et al.*, 2021). The CF LCC group that had spontaneous fermentation possibly suffered less action from microorganisms, as it

was not received addition of starter cultures, as observed with TFC. Thus, a degradation of flavonoids can be observed during the fermentation period, promoting the maintenance of total phenolics by the fermentative metabolism.

3.3 Antioxidant potential by the scavenge of ABTS radical method

The antioxidant capacity may be the result of the combined activities of a wide range of compounds found in coffee leaves, including primary and secondary metabolites such as phenolics, peptides, organic acids, polyamines, enzymes, minerals, among others (Acidri *et al.*, 2020).

The methods of evaluation the TEAP by ABTS and DPPH radical neutralization are similar in their mechanism. Both utilize the radical scavenging capacity of antioxidant compounds for stable free radicals. However, ABTS is more suitable for analyzing hydrophilic compounds, while DPPH is more sensitive for hydrophobic compounds (Vo *et al.*, 2022). So, the combination of both methods can characterize better this potential functional property.

The radical ABTS [2,2'-azinobis radical (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)] can be generated in chemical and enzymatic reactions (Almeida *et al.*, 2011).

Among all processed coffee leaf infusions was observed a significant variation of the antioxidant potential ($p \leq 0.05$). The EE LOC and EE LCC showed the higher TEAP when compared to the infusions ($p \leq 0.05$), which was expected taking into account the greater capacity of this solvent to extract phenolic compounds and flavonoids from coffee leaves.

Coffee leaves from conventional cultures showed significantly higher values ($p \leq 0,05$) than the coffee leaves from organic crop. Triazoles, which have a systemic effect, can increase antioxidants in cultivars that have suffered ozone damage (Wu *et al.*, 2001). Foliar spraying of epoxiconazole alters its growth but reduces the symptoms of rust while maintaining highest photosynthetic and antioxidant performance (Honorato *et al.*, 2015).

The Y LOC, Y LCC and YF LOC, YF LCC showed a highest antioxidant ABTS activity ($p \leq 0,05$) compared to other fermented leaves and also to unfermented (G LOC, G LCC, O LOC and O LCC). Yellowing is a way for developing the sweet and mellow flavor of yellow tea and the effects of high temperature and high humidity lead to the degradation of catechins and the accumulation of free amino acid content (Wei *et al.*,

2022). Non-gallate catechins (-)-epigallocatechin and (-)-epicatechin gallate are relatively hydrophilic compounds which could be responsible to increase the neutralization of ABTS (Nikoo *et al.*, 2018). *Saccharomyces cerevisiae* has the ability to increase phenolic compounds from solid state fermentation that is a widely used method to promote the release of natural polyphenolic components from different food matrices (Feitosa *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2016;).

The O LOC, O LCC, G LOC and G LCC showed similar TEAP (ABTS), although in the process of producing green tea, polyphenol oxidases are inactivated in a step prior to that of oolong tea. This result may be associated with possible differences in the enzymatic activity of this group of enzymes when compared to those of green tea from *Camellia sinensis*. Zhao *et al.* (2019) found lower TEAP in oolong tea when compared to green and yellow tea, for example. These processes may preserve the hydrophobic catechins and therefore have less activity against ABTS radical (Pasayeva *et al.*, 2021).

Zhao *et al.* (2019) evaluated the different teas of *Camellia sinensis* and reported the highest potential activity in green tea. However, the authors did not present the steps and conditions adopted to make the teas, which were commercially purchased from China. Differences in temperature and time to which the leaves are subjected during the fixation step, responsible for the inactivation of polyphenol oxidases, can alter the content of compounds with antioxidant activity, such as polyphenols (Mokokrani & Madani, 2016; XU *et al.*, 2020).

3.4 Antioxidant potential by the DPPH radical scavenging method

The ability to inhibit the DPPH radical was determined by the decrease in its absorbance at 517 nm, induced by compounds with antioxidant activity present in the infusions. When a solution of DPPH is mixed with a substance that can donate a hydrogen atom, DPPH would loss of its violet (purple) color, there would be expected to be a residual pale-yellow color (Babashpouret & Piryaei, 2022).

The EE LOC and EE LCC showed the highest antioxidant DPPH activity when compared to the water infusions ($p \leq 0.05$). Like ABTS activity, coffee leaves from conventional cultures showed significantly higher values ($p \leq 0,05$) than coffee leaves from organic crop.

The O LOC showed the greater antioxidant DPPH activity when compared to

other groups ($p \leq 0,05$). In the production of semi-oxidized oolong tea, coffee tea leaves undergo a rolling process to accelerate oxidation of catechins into products of theaflavins and thearubigins by polyphenol oxidase and condensation of two gallic catechins (Abudurehman *et al.*, 2022; Kilel, 2019). Bhuyan *et al.* (2013) found a positive correlation in theaflavins and thearubigins content and antioxidant potential.

The O LCC and G LCC showed similar antioxidant DPPH activity followed by G LOC and the yellowing group presented a lesser activity between the unfermented groups. Chen *et al.* (2018) and Ngamsuk *et al.* (2019) found a higher TEAP (DPPH) in young leaves compared to mature leaves. The results from this assay were similar to those of Hussein *et al.* (2022), in which the unfermented tea samples had higher DPPH radical scavenging activity than fermented teas.

Solid state fermentation with both inoculations presented the similar antioxidant potential showed that synergistic microbial interactions were not appropriated to improve functional effects.

3.5 Multivariate analyses

The PCA performed for TFC, TPC and TEAP (ABTS and DPPH) indicated a model with two main components responsible for explaining 81.2% of the correlation. The TFC and the TEAP by the ABTS method were the main variables of the principal component 1 (PC1) (50.0%) and the TPC (negative value) and the TEAP by the DPPH method were the main variables of the PC2 (31.2%) (Fig. 1A).

The multivariate statistical analysis with 70% of similarity allowed the tea samples to be separated into three clusters (Fig. 1B). The first cluster delimited by a red dotted line included the teas of G LOC, G LCC, O LCC, O LOC, BF LOC, BF LCC, YF LOC and YF LCC. The second cluster delimited by a green dotted line included the teas of Y LCO and Y LCC and the third cluster delimited by a dotted blue line included the teas of CF LOC, CF LCC, B+YF LCC and B+YF LOC (Fig. 1B and 1C).

The dendrogram and PCA (Fig. 1B and 1C) reinforced the results observed in Table 2, clearly separating the unfermented groups from the fermented groups. In addition, they separated the YF LOC and YF LCC groups in the fourth quadrant, as they showed high TEAP (especially by the ABTS method) from the other fermented groups that remained in the third quadrant. Thus, when a fermented coffee leaf tea with high functional potential is desired, the addition of a starter culture of *S. cerevisiae*

could be considered, given the different types of fermentation investigated.

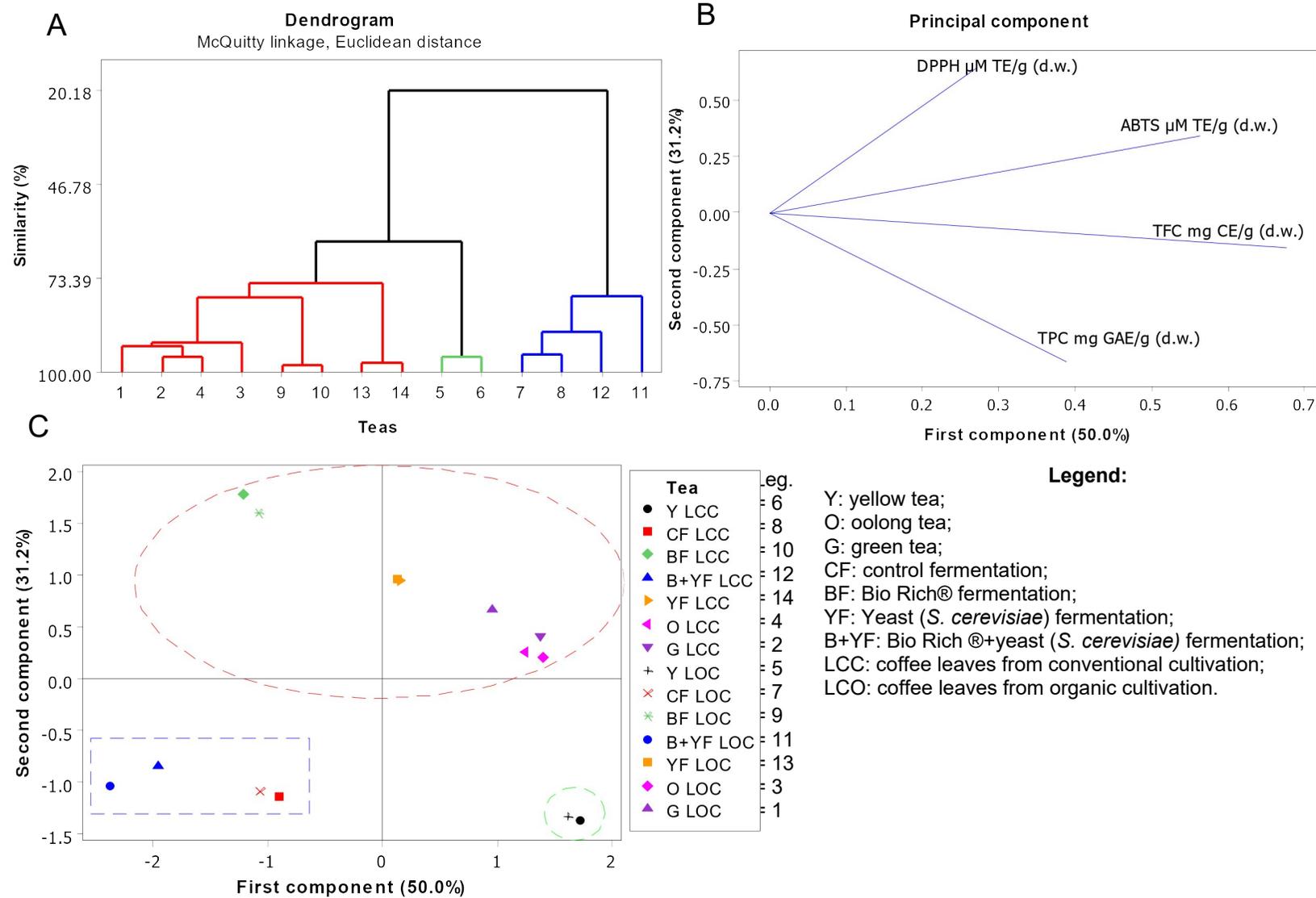


Figure 1. Principal component analyses (PCA) and hierarchical cluster analyses (HCA) of total flavonoid content, total phenolic content and antioxidant activity (ABTS and DPPH) in coffee leaves from organic and conventional cultivation submitted to different processing. (A) Dendrogram; (B) Loading plot; (C) Biplot.

3.6 Multi-residue method for pesticide analysis in coffee leaf tea

3.6.1 Determination of residues of pesticides

The matrix effect was evaluated and all analytes showed significant results between -57.9 and -70.6%, indicating high ionic suppression. The efficiency of formation of the desired ions could be affected in the presence of co-eluting compounds (De O. Silva et al., 2019). Therefore, the method was validated to tea sample, and the use of internal standard (TEB-D9) was essential to minimize these effects and contribute to producing satisfactory linearity, recovery and precision results (Machado *et al.*, 2019).

Linearity was verified using a tea sample of organically grown coffee leaves such as blank (free from pesticides as determined by the method) and diluting the intermediate standard solution of the pesticides and internal standard with the extract to obtain solutions ranging from 1 to 100 $\mu\text{g L}^{-1}$. All pesticides showed satisfactory coefficient of determination ($R^2 \geq 0.99$) as show in Table 3 in respectively concentration ranges. The LODs were chosen as the lowest tested concentration of the analyte that presented a signal different from the noise in both target ion transitions. The LODs and LOQs ranged from 1 to 5 $\mu\text{g L}^{-1}$ and 5 to 10 $\mu\text{g L}^{-1}$ respectively (the obtained results can be seen in Table 3).

Table 3 - Validation parameters obtained in the determination of organophosphate and triazoles pesticides in coffee leaves tea from *Coffea arabica*.

Pesticides	Linear range ($\mu\text{g L}^{-1}$)	r^2 (\bar{x} , n = 3)	LOD ($\mu\text{g L}^{-1}$) (n = 5)	LOQ ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Spiked level at LOQ		Spiked level 50 $\mu\text{g L}^{-1}$		Retention time (min)
					Recovery (%)	Precision RSD (%)	Recovery (%)	Precision RSD (%)	
Organophosphate									
Chlorpyrifos	5 - 100	0.9994	1.0	5.0	110.2	6.3	93.2	10.3	11.2
Diazinon	10 - 100	0.9959	1.0	10.0	99.4	5.8	101.6	10.4	9.1
Disulfoton	10 - 100	0.9948	5.0	10.0	86.9	11.9	83.1	6.4	9.4
Ethion	10 - 100	0.9993	1.0	10.0	86.7	9.4	84.3	8.6	9.8
Malathion	5 - 100	0.9976	1.0	5.0	109.4	15.2	80.7	9.3	7.6
Trichlorfon	10 - 100	0.9945	5.0	10.0	92.6	6.4	105.7	14.6	6.8
Triazoles									
Cyproconazole	5 - 100	0.9981	1.0	5.0	98.7	14.5	82.2	4.0	8.0
Epoxiconazole	5 - 100	0.9987	1.0	5.0	104.2	12.8	94.7	7.1	8.2
Metconazole	5 - 100	0.9962	1.0	5.0	88.6	12.4	83.5	8.4	8.8
Propiconazole	5 - 100	0.9977	1.0	5.0	105.8	12.7	77.8	9.4	8.9
Tebuconazole	5 - 100	0.9998	1.0	5.0	101.3	4.6	76.2	10.9	8.5
Triadimefon	10 - 100	0.9961	5.0	10.0	114.3	4.1	89.1	11.1	7.7
Triadimenol	5 - 100	0.9971	1.0	5.0	100.1	4.1	95.7	12.6	7.9

Recovery showed results between 70–120% and RSD was <20% (Table 3) for all pesticides evaluated at their respective LOQ and at the midpoint of the analytical curve. These values satisfied the criteria defined in the guidance document SANTE/11312/2021 (European Commission - EC, 2021a) and are similar to those reported in the literature (Chen *et al.*, 2017; Hu *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019). Thus, the proposed method can produce exact and precise results, being reliable for the determination of pesticide residues in tea samples.

3.6.2 Application of the method to verify pesticides in tea extract and natural water

The validated method was used to analyze tea samples from coffee leaves collected from organic and conventional crop from Minas Gerais, Brazil. Thus, using the LLE method combined with the addition of an internal standard, 4 different tea processing and well water of the coffee estate showed the detection of pesticide residues, as can be observed in Table 4.

Table 4 - Detection of pesticide residues in different coffee leaves tea preparations (mg.kg⁻¹).

Samples	Cyproconazole	Epoxiconazole	Propiconazole	Trichlorfon
O LCC	1.46 ^a	1.94 ^a		
EE LCC		*		
G LCC		*		2.72 ^a
FB LCC		*		*
YF LCC		*		2.36 ^a
B+YF LCC	*	*	*	
NW			*	2.04 ^a
CF LCC				5.30 ^a

*Above the detection limit of the method. ^a EC MRL: maximum residue levels set by the European Community (EC, 2021) Regulation is 0.5 mg/kg for the respectively pesticides detected by the method. LCC: coffee leaves from conventional crop; G: similar process to green tea; O: similar process to oolong tea; CF: control fermentation; FB: fermented with BioRich®; YF: fermented with yeast (*Saccharomyces cerevisiae* – US-05 Fermentis); B+YF: fermented with BioRich® + Yeast (*Saccharomyces cerevisiae* – US-05 Fermentis); EE: Ethanolic extract; NW: natural water source.

Among the samples, O LCC Of the samples was the only sample that detected cyproconazole and epoxiconazole and could be quantified at 1.46 and 1.94 mg/kg,

respectively. The organophosphate trichlorfon was detected in six samples, and it was possible to quantify it in four of them, ranging from 2.04 to 5.30 mg/kg. Therefore, it is possible to notice that the triazole fungicides being the most frequently detected than organophosphates but showing lower residual levels. As there is no MRL for coffee leaves tea, the residual levels of the quantified samples were compared with MRLs established by European Community (EC) Regulation, No. 2018/70 (EC, 2018), No. 978/2011 (EC, 2011), No. 2021/155 (EC, 2021b) and for No. 899/2012 (EC, 2012) for cyproconazole, epoxiconazole, propiconazole and trichlorfon in *Camellia sinensis* teas, respectively. Thus, all samples of tea preparations from pesticide residues are above the MRL of 0.5 mg/kg established for pesticides detected by the method.

Regarding the analysis of natural water, the method showed detection of diazinon and malathion organophosphate pesticides below the LOQ (10 and 5 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectively). Due to the massive use of pesticides in agriculture in Brazil, these substances and their degradation products spread through the environment and can contaminate water resources (Marques *et al.*, 2021). Surface and especially groundwater located in intensive agricultural areas are more vulnerable to pesticide contamination, which is a major concern if the water is intended for human consumption (Fu *et al.*, 2018; Herrero-Hernández *et al.*, 2013).

4 Conclusions

A fast and sensitive LLE method coupled with UHPLC-MS/MS was developed for the simultaneous determination of triazole fungicides and organophosphate insecticides. The proposed method presents reliability and reproducibility, with satisfactory linearity, precision and accuracy (recovery). The matrix effect was significant indicating high ionic suppression and the use of an internal standard was essential to minimize these effects. The triazole fungicides cyproconazole, epoxiconazole, propiconazole and the organophosphate trichlorfon were detected in tea preparations. All quantifiable samples of tea preparations showed pesticide residues above the MRL of 0.05 mg/kg established for pesticide residues in *Camellia sinensis* tea, used in this study for risk comparison purposes. Therefore, demonstrating the importance of using coffee leaves grown under organic conditions and carrying out residue monitoring to assess food safety. And the analysis of natural water detected

the organophosphate diazinon and malathion, indicating contamination of groundwater by pesticides, which can collaborate in addition to the risk if this water is intended for human consumption or even used to prepare coffee leaves tea.

Acknowledgements

This study was financed in part by Minas Gerais Research Support Foundation (FAPEMIG) and Higher Education Personnel Improvement Coordination (CAPES) – Brazil.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

References

- Abudureheman, Buhailiqiemu et al., 2022. Enzymatic Oxidation of Tea Catechins and Its Mechanism. **Molecules**, [s.l]. v. 27, n. 3, p. 942.
- Acidri, Robert et al., 2020. Phytochemical profile and antioxidant capacity of coffee plant organs compared to green and roasted coffee beans. **Antioxidants**, Basel, Switzerland. v. 9, n. 2, p. 93.
- Almeida, Maria Mozarina Beserra et al., 2011. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. **Food Research International**, [s.l]. v. 44, n. 7, p. 2155-2159.
- AOAC. Official methods of analysis. **Association of Official Analytical Chemists**, Arlinton VA, USA, **2016**.
- Babashpour-ASL, M.; piryaei, M., 2022. Antioxidant Activities and Several Bioactive Substances of Different Extracts of *Vitis vinifera* L. **Journal of Food Biosciences and Technology**, [s.l]. v. 12, n. 2, p. 49-60.
- Berni, I., Menouni, A., El Ghazi, I., Godderis, L., Duca, R.C., Jaafari, S. El, 2021. Health and ecological risk assessment based on pesticide monitoring in Saïss plain (Morocco) groundwater. **Environmental Pollution**, [s.l]. 276, 116638. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116638>.
- Bhuyan, L. P., Sabhapondit, S., Baruah, B. D., Bordoloi, C., Gogoi, R., & Bhattacharyya, P., 2013. Polyphenolic compounds and antioxidant activity of CTC black tea of North-East India. **Food Chemistry**, United Kingdom. 141(4), 3744-3751.
- Cavalaro, R. I., Fabricio, L. F. de F., Vieira, T. M. de S. 2020. Ultrasound-assisted

- extraction of antioxidants from *Baccharis dracunculifolia* and green propolis. **Processes**, [s.l]. 8, 1530, doi:10.3390/pr8121530.
- Chen, H., Gao, G., Chai, Y., Ma, G., Hao, Z., Wang, C., Liu, X., Lu, C., 2017. Multiresidue Method for the Rapid Determination of Pesticide Residues in Tea Using Ultra Performance Liquid Chromatography Orbitrap High Resolution Mass Spectrometry and In-Syringe Dispersive Solid Phase Extraction. **ACS Omega** 2, [s.l]. 5917–5927. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b00863>
- Chen, X. M., Ma, Z., & Kitts, D. D., 2018. Effects of processing method and age of leaves on phytochemical profiles and bioactivity of coffee leaves. **Food chemistry**, 249, 143-153.
- Chen, Xiumin. A review on coffee leaves: Phytochemicals, bioactivities and applications. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 59, n. 6, p. 1008-1025, 2019.
- De O. Silva, R., De Menezes, M.G.G., De Castro, R.C., De A. Nobre, C., Milhome, M.A.L., Do Nascimento, R.F., 2019. Efficiency of ESI and APCI ionization sources in LC-MS/MS systems for analysis of 22 pesticide residues in food matrix. **Food Chemistry**, United Kingdom. 297, 124934. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.06.001>
- Dias, C.M., Oliveira, F.A., Madureira, F.D., Silva, G., Souza, W.R., Cardeal, Z.L., 2013. Multi-residue method for the analysis of pesticides in Arabica coffee using liquid chromatography/tandem mass spectrometry. **Food Addit. Contam.**, [s.l]. - Part A 30, 1308–1315. <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.801088>
- European Commission - EC, 2021. Analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed. Sante/11312/2021, [s.l]. https://www.eurl-pesticides.eu/userfiles/file/EurlALL/SANTE_11312_2021.pdf. Accessed: 15 September 2022.
- Fan, Fang-Yuan et al., 2016. Differential behaviors of tea catechins under thermal processing: Formation of non-enzymatic oligomers. **Food Chemistry**, United Kingdom. v. 196, p. 347-354.
- Feitosa, Paula Ribeiro Buarque et al., 2020. Solid-state fermentation with *Aspergillus niger* for the bio-enrichment of bioactive compounds in *Moringa oleifera* (moringa) leaves. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, [s.l]. v. 27, p. 101709.
- Fernandes, A.L., santinato, F., santinato, R., michelin, V., 2012. Condução das podas do cafeeiro irrigado por gotejamento cultivado no cerrado de Minas Geraes. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 2.
- Fu, L., Lu, X., Tan, J., Wang, L., Chen, J., 2018. Multiresidue determination and potential risks of emerging pesticides in aquatic products from Northeast China by LC–MS/MS. **Journal of Environmental Science**, China. 63, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.09.010>

- Gonçalves, C.R., Delabona, P. da S., 2022. Strategies for bioremediation of pesticides: challenges and perspectives of the Brazilian scenario for global application – A review. **Environmental Advances**, Roskilde, Denmark. V.8, 100220. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100220>
- Herrero-Hernández, E., Andrades, M.S., Álvarez-Martín, A., Pose-Juan, E., Rodríguez-Cruz, M.S., Sánchez-Martín, M.J., 2013. Occurrence of pesticides and some of their degradation products in waters in a Spanish wine region. **Journal of Hydrology**, Connecticut. v.486, p. 234–245.
- Honorato, J., Zambolim, L., do Nascimento Lopes, U., Lopes, U. P., & da Silva Silveira Duarte, H., 2015. DMI and QoI fungicides for the control of coffee leaf rust. **Australasian Plant Pathology**, [s.l.]. v.44, p. 575-581.
- Hu, S., Zhao, M., Mao, Q., Fang, C., Chen, D., Yan, P., 2019. Rapid one-step cleanup method to minimize matrix effects for residue analysis of alkaline pesticides in tea using liquid chromatography–high resolution mass spectrometry. **Food Chemistry**, United Kingdom, v. 299, p. 125146.
- Huang, Y., Shi, T., Luo, X., Xiong, H., Min, F., Chen, Y., Nie, S., Xie, M., 2019. Determination of multi-pesticide residues in green tea with a modified QuEChERS protocol coupled to HPLC-MS/MS. **Food Chemistry**, United Kingdom, v.275, p. 255–264. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.094>.
- Hussein, Eslam A. et al., 2022. Comparison of Phenolic Content and Antioxidant Activity for Fermented and Unfermented Rooibos Samples Extracted with Water and Methanol. **Plants**, [s.l.]. v. 11, n. 1, p. 16.
- International Coffee Organization. Trade Statistics Tables, London, 2022. Disponível em: <https://www.ico.org/prices/po-production.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2022.
- Karakaya, Sibel, 2004. Bioavailability of phenolic compounds. **Critical reviews in food science and nutrition**, [s.l.]. v. 44, n. 6, p. 453-464.
- Lazartigues, A., Fratta, C., Baudot, R., Wiest, L., Feidt, C., Thomas, M., Cren-Olivé, C., 2011. Multiresidue method for the determination of 13 pesticides in three environmental matrices: Water, sediments and fish muscle. **Talanta**, [s.l.]. v.85, p.1500–1507. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2011.06.023>
- Liu, Zhibin et al., 2016. The modulatory effect of infusions of green tea, oolong tea, and black tea on gut microbiota in high-fat-induced obese mice. **Food & Function**, [s.l.]. v. 7, n. 12, p. 4869-4879.
- Liu, C., Ji, Y., Jiang, X., Yuan, X., Zhang, X., Zhao, L., 2019. The determination of pesticides in tea samples followed by magnetic multiwalled carbon nanotube-based magnetic solid-phase extraction and ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **New Journal of Chemistry**, [s.l.]. v.43, p. 5395–5403. <https://doi.org/10.1039/C8NJ06536E>
- Machado, S.C., Souza, B.M., Marciano, L.P.A., Pereira, A.F.S., Carvalho, D.T. de,

- Martins, I., 2019. A sensitive and accurate vortex-assisted liquid-liquid microextraction-gas chromatography-mass spectrometry method for urinary triazoles. **Journal of Chromatography**, Finland. v.1586, p.9–17. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.11.082>
- Marathe, S. J., Jadhav, S. B., Bankar, S. B., & Singhal, R. S., 2017. Enzyme-assisted extraction of bioactives. **Food bioactives: Extraction and biotechnology applications**, [s.l.]. p.171-201.
- Margraf, Tiago; Granato, Daniel, 2016. Padronização das Metodologias ABTS, DPPH, eFRAP para Determinação da capacidade Antioxidante *in vitro* Utilizando Microvolumes. **Análises químicas, propriedades funcionais e controle de qualidade de alimentos e bebidas: uma abordagem teórico-prática**. 1 Ed., Rio de Janeiro: Elsevier.
- Marques, Raizza Zorman et al., 2021. Crop irrigation (soybean, bean, and corn) with enrofloxacin-contaminated water leads to yield reductions and antibiotic accumulation. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s.l.]. v. 216, p. 112193.
- Merhi, A., Taleb, R., Elaridi, J., Hassan, H.F., 2022. Analytical methods used to determine pesticide residues in tea: A systematic review. **Applied Food Research**, Valencia, Spain. v.2, p.100131. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100131>
- Mokrani, Abderrahmane; Madani, Khodir, 2016. Effect of solvent, time and temperature on the extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity of peach (*Prunus persica* L.) fruit. **Separation and Purification Technology**, [s.l.]. v. 162, p. 68-76.
- Monteiro, Ângelo et al., 2019. Dietary antioxidants in coffee leaves: Impact of botanical origin and maturity on chlorogenic acids and xanthenes. **Antioxidants**, Basel, Switzerland. v. 9, n. 1, p. 6.
- Morais, E.H.C., Collins, C.H., Jardim, I.C.S.F., 2018. Pesticide determination in sweet peppers using QuEChERS and LC–MS/MS. **Food Chemistry**, United kingdom. v.249, p. 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.092>
- Musial, Claudia; Kuban-Jankowska, Alicja; Gorska-Ponikowska, Magdalena, 2020. Beneficial properties of green tea catechins. **International journal of molecular sciences**, [s.l.]. v. 21, n. 5, p. 1744.
- Ngamsuk, S., Huang, T.C., Hsu, J.L., 2019. Determination of Phenolic Compounds, Procyanidins, and Antioxidant Activity in Processed *Coffea arabica* L. Leaves. **Foods**. Basel, Switzerland. v. 8, n. 9, p.:389. doi: 10.3390/foods8090389.
- Nehra, Monika et al., 2021. Emerging nanobiotechnology in agriculture for the management of pesticide residues. **Journal of Hazardous Materials**, [s.l.]. v. 401, p. 123369.
- Nikoo, M., Regenstein, J. M., & Ahmadi Gavlighi, H., 2018. Antioxidant and antimicrobial activities of (-)-epigallocatechin-3-gallate (EGCG) and its potential to preserve the quality and safety of foods. **Comprehensive Reviews in Food**

Science and Food Safety, [s.l]. 17(3), 732-753.

- Ofstehage, Andrew; Nehring, Ryan, 2021. No-till agriculture and the deception of sustainability in Brazil. **International Journal of Agricultural Sustainability**, London. v. 19, n. 3-4, p. 335-348.
- Patay, E. B., BENCSIK, T., PAPP, N., 2016. Phytochemical overview and medicinal importance of Coffea species from the past until now. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, [s.l]. v.9, n.12. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2016.11.008>.
- Paşayeva, L. et al., 2021. Comparison of antioxidant activity and determination of epigallocatechin gallate and trace elements of green tea samples manufactured and exported by Turkey. **Bulgarian Chemical Communications**, Bulgaria. p. 405.
- Pizzutti, I.R., de Kok, A., Dickow Cardoso, C., Reichert, B., de Kroon, M., Wind, W., Weber Righi, L., Caiel da Silva, R., 2012. A multi-residue method for pesticides analysis in green coffee beans using gas chromatography-negative chemical ionization mass spectrometry in selective ion monitoring mode. **Journal of Chromatography**, Finland. v.1251, p.16–26.
- Qin, Jin-Hua et al., 2012. Change in tea polyphenol and purine alkaloid composition during solid-state fungal fermentation of postfermented tea. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC. v. 60, n. 5, p. 1213-1217.
- Raina-Fulton, R., 2014. A review of methods for the analysis of orphan and difficult pesticides: Glyphosate, glufosinate, quaternary ammonium and phenoxy acid herbicides, and dithiocarbamate and phthalimide fungicides. **Journal of AOAC International**, Oxford. v.97, p. 965–977.
- Ramadan, G., Al Jabir, M., Alabdulmalik, N., Mohammed, A., 2016. Validation of a method for the determination of 120 pesticide residues in apples and cucumbers by LC-MS/MS. **Drug Test. Anal**, [s.l]. v.8, p.498–510. <https://doi.org/10.1002/dta.2008>
- Sanar. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural, 2016. Café: manejo de podas, desbrotas, irrigação e nutrição do cafeeiro. **Serviço Nacional de Aprendizagem Rural**.
- Santos Neto, A.J. dos, Siqueira, M.E.P.B. de, 2005. Análise de praguicidas organofosforados em água por extração em fase sólida (SPE) utilizando discos C18 e cromatografia em fase gasosa: avaliação da contaminação do reservatório de Furnas (MG-Brasil). **Quimica Nova**, Brazil. v.28, p.747–750. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422005000500002>
- Shin, J. min, Choi, S.-J., Park, Y. hey, Kwak, B., Moon, S.H., Yoon, Y.T., Jo, S.A., Yi, H., Kim, S. jung, Park, S.K., Park, J. sung, 2022. Comparison of QuEChERS and Liquid–Liquid extraction methods for the simultaneous analysis of pesticide residues using LC-MS/MS. **Food Control**, [s.l]. v.141, p.109202. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109202>
- Silva Souza, N.R., Navickiene, S., 2019. Multiresidue determination of carbamate,

- organophosphate, neonicotinoid, and triazole pesticides in roasted coffee using ultrasonic solvent extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Journal of AOAC International**, Oxford. v.102, p. 33–37.
- Trevisan, M.T.S., Owen, R.W., Calatayud-Vernich, P., Breuer, A., Picó, Y., 2017. Pesticide analysis in coffee leaves using a quick, easy, cheap, effective, rugged and safe approach and liquid chromatography tandem mass spectrometry: Optimization of the clean-up step. **Journal of Chromatography**, Finland. v.1512, p. 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2017.07.033>
- Vo, Gia Toan et al., 2022. Screening of phenolic compounds in australian grown grapes and their potential antioxidant activities. **Food Bioscience**, [s.l]. v. 47, p. 101644.
- Wang, Lu et al., 2016. Improving bioactivities of polyphenol extracts from *Psidium guajava* L. leaves through co-fermentation of *Monascus anka* GIM 3.592 and *Saccharomyces cerevisiae* GIM 2.139. **Industrial Crops and Products**, [s.l]. v. 94, p. 206-215.
- Wang, F., Li, S., Feng, H., Yang, Y., Xiao, B., Chen, D., 2019. An enhanced sensitivity and cleanup strategy for the nontargeted screening and targeted determination of pesticides in tea using modified dispersive solid-phase extraction and cold-induced acetonitrile aqueous two-phase systems coupled with liquid chromat. **Food Chemistry**, United kingdom. v.275, p.530–538. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.142>
- Wang, Y., Gao, S., He, X., Li, Y., Zhang, Y., & Chen, W., 2020. Response of total phenols, flavonoids, minerals, and amino acids of four edible fern species to four shading treatments. **PeerJ**, London. v. 8, e8354.
- Wei, Yuming et al., 2021. The profile of dynamic changes in yellow tea quality and chemical composition during yellowing process. **LWT - Food Science and Technology**, Georgia, USA. v. 139, p. 110792.
- Xiao, Yue et al., 2021. The effect of *Eurotium cristatum* (MF800948) fermentation on the quality of autumn green tea. **Food Chemistry**, United kingdom. v. 358, p. 129848.
- Xu, Feng et al., 2018. Antimicrobial action of flavonoids from *Sedum aizoon* L. against lactic acid bacteria in vitro and in refrigerated fresh pork meat. **Journal of Functional Foods**, Netherlands. v. 40, p. 744-750.
- Xu, Qing et al., 2020. Effect of storage time on biochemical characteristics and antioxidant activity of hawk tea (*Litsea coreana*) processed by boiling water fixation. **Food Science & Nutrition**, v. 8, n. 11, p. 6182-6191.
- Zhao, Cai-Ning et al., 2019. Phenolic profiles and antioxidant activities of 30 tea infusions from green, black, oolong, white, yellow and dark teas. **Antioxidants**, Basel, Switzerland. v. 8, n. 7, p. 215.

- Zhang, L., Liu, S., Cui, X., Pan, C., Zhang, A., Chen, F., 2012. A review of sample preparation methods for the pesticide residue analysis in foods. **Central European Journal of Chemistry**, [s.l.]. v.10, p. 900–925. <https://doi.org/10.2478/s11532-012-0034-1>
- Zhang, Y. X. et al., 2020. The effect of *Pediococcus acidilactici* J17 with high-antioxidant activity on antioxidant, α -tocopherol, β -carotene, fatty acids, and fermentation profiles of alfalfa silage ensiled at two different dry matter contents. **Animal Feed Science and Technology**, [s.l.]. v. 268, p. 114614.
- Zhang, Chenyu et al., 2021. Biochemical components and fungal community dynamics during the flowering process of Moringa-Fu brick tea, a novel microbially fermented blended tea **LWT - Food Science and Technology**, Georgia, USA. v. 140, p. 110822.
- Zhu, Ming-zhi et al., 2020. Microbial bioconversion of the chemical components in dark tea. **Food Chemistry**, United kingdom. v. 312, p. 126043.

CAPÍTULO IV - INFLUÊNCIA DO TIPO DE CULTIVO, CULTURAS INICIADORAS E TEMPO NOS TEORES DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM FOLHAS DE CAFÉ FERMENTADAS

Artigo a ser submetido em periódico ainda não definido

Kamila Leite Rodrigues^a & Bruno Martins Dala-Paula^{a}*

^aLaboratory of Experimental Nutrition, 700, Gabriel Monteiro da Silva St., Federal University of Alfenas – UNIFAL-MG, 37130-000, Alfenas, MG, Brazil*

*Corresponding author

Address: 700 Gabriel Monteiro da Silva St., Federal University of Alfenas – UNIFAL-MG, 37130-001, Alfenas, MG, Brazil

Phone number: ***

Resumo

O café é uma das bebidas mais populares do mundo e o principal produto de exportação de Minas Gerais com 70% da produção de café arábica do Brasil e, portanto, um importante gerador de emprego e renda para milhares de agricultores mineiros. Vários subprodutos são acumulados durante o cultivo da planta sendo denominados resíduos de café, que devem ser utilizados nas sociedades sustentáveis de hoje como alimentos e para outras aplicações. Dentre os resíduos, as folhas de café, conhecidas por conterem muitos bioativos com funções à saúde humana, a partir da desbrota podem se tornar úteis na produção de diferentes tipos de chás. Assim, utilizar as folhas de café da desbrota de cultivos orgânicos, como um novo produto sustentável poderia aumentar a renda dos proprietários, além de gerar mais empregos para os trabalhadores das fazendas de café, reduzindo a migração devido à escassez de empregos e proporcionando um novo modelo econômico para a região. Para tal, o chá de folha de café foi preparado de forma semelhante aos diferentes processamentos do chá de *Camellia sinensis* bem como chás produzidos por fermentação em estado sólido (FES) com inoculação de probióticos e fermentação

espontânea, considerando a análise dos tempos de fermentação nos intervalos 0, 48, 96, 144 e 240 h, para avaliar a viabilidade de um produto a base de chá. Foram avaliados os teores de flavonoides, fenólicos totais e potencial antioxidante pelos métodos de ABTS e DPPH. O melhor tempo de fermentação, onde foi possível obter os maiores teores de compostos bioativos e melhor potencial antioxidante foi 48 h. A avaliação da viabilidade de desenvolvimento de chá a partir de folhas de café sustentáveis, utilizando diferentes técnicas de processamentos mostrou potencial custo-benefício tanto para chás tradicionais como para produtos desenvolvidos por FES com inoculação de micro-organismos probióticos, além da fermentação espontânea. Entretanto, considerando efeitos probióticos ou ainda melhor atividade antioxidante ressalta-se a importância da inoculação de micro-organismos.

Palavras-chave: folhas de café, chá, antioxidante, fermentação em estado sólido

Introdução

O café é uma das bebidas mais populares do mundo com aproximadamente 20 milhões de famílias beneficiadas pela sua produção e comercialização (CARVALHO *et al.*, 2018). O cultivo de café no território nacional representa cerca de 2,24 milhões hectares destinados à cultura (CONAB, 2022). Dentre as espécies cultivadas, o café arábica (*Coffea arabica L.*) possui maior importância econômica com mais de 80% da área cultivada (CONAB, 2022).

O café é o principal produto de exportação de Minas Gerais com 70% da produção de café arábica do Brasil e, portanto, um importante gerador de emprego e renda para milhares de agricultores mineiros (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION, 2021). O Brasil é atualmente o maior importador mundial de agrotóxicos para sustentar e manter essa alta produtividade (SOLOVIEVA *et al.*, 2022). Devido ao aumento de agrotóxicos aplicados na agricultura, é necessário o controle de resíduos em novos produtos alimentícios a fim de fornecer benefícios à saúde da população.

Quando se fala em café, é comum pensar na bebida do grão torrado, no entanto, o cafeeiro oferece muito mais que apenas o grão torrado. Como exemplo, o

broto, ramo ortotrópicos e improdutivos de crescimento vertical, que utiliza parte das reservas energéticas da planta para o seu crescimento, devendo, portanto, ser removido, representa um co-produto em potencial e um desafio para os cafeicultores (FERNANDES *et al.*, 2012). Nesse sentido, a desbrota é uma prática essencial para a longevidade e aumento da produtividade da cultura cafeeira (SANAR, 2016).

Assim, utilizar a folha de café de cultivos orgânico, como matéria-prima para a produção sustentável de chás, aumentaria a renda de cafeicultores, além aumentar a demanda por trabalhadores nas fazendas. Devido a presença de muitos bioativos nessas folhas, há um crescente interesse nas aplicações como chá, suplementos alimentares e etnomedicina (MONTEIRO *et al.*, 2019; PATAY *et al.*, 2016). O chá de folha de café é preparado de forma semelhante aos diferentes processamentos do chá de *Camellia sinensis* (CHEN 2019) e pesquisas relacionadas a fitoquímicos, bioatividades, aplicações e impactos dos métodos de processamento na composição das folhas de café e resíduos de agrotóxicos ainda são escassos.

As diferentes técnicas de processamento dos chás (*Camellia sinensis*) conferem perfis sensoriais e teores de compostos bioativos distintos (YU *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2022). O chá escuro é um tipo de chá fermentado que têm papel crítico na formação de diversos benefícios à saúde e características únicas de sabor (XIAO *et al.*, 2021). O mercado chinês comercializa diferentes tipos de chá escuro com base em sua técnica de processamento e origem geográfica as quais afetam o perfil químico e sensorial do chá escuro (CHENG *et al.*, 2020). Como exemplo, o chá Qingzhuan é fermentado por *Bacillus subtilis* e *Aspergillus fumigatus*, enquanto o chá Pu-erh, principalmente por espécies de *Aspergillus*, levando assim à notáveis diferenças em seus perfis metabólicos e características sensoriais (CHENG *et al.*, 2020). A fabricação do chá fermentado passa por fermentação espontânea com diversas comunidades microbianas presentes nas folhas de chá não esterilizadas. Essa fermentação envolve muitos micro-organismos, incluindo fungos (*Aspergillus*, *Eurotium*, *Cyberlindnera*, *Debaryomyces* e *Candida*) e bactérias (LI *et al.*, 2018; VEEN *et al.*, 2019).

Durante os estágios de fermentação, diferentes componentes, como catequinas, ácidos fenólicos, flavonoides e seus glicosídeos, sofrem inúmeras mudanças bioquímicas que influenciam substancialmente os metabólitos das folhas de chá e geram inúmeros componentes bioativos e aromatizantes, conferindo efeitos

promotores da saúde e atributos sensoriais especiais (LI *et al.*, 2018; LIN *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2020).

Sendo a fermentação um processo capaz de liberar, aumentar e/ou transformar compostos bioativos inerentes de diferentes matizes alimentares, o processamento por fermentação em estado sólido (FES) bem como a adição de micro-organismos probióticos nas folhas de café torna-se um estudo interessando a partir de subprodutos agroindustriais.

Considerando a ausência de pesquisas acerca da fermentação de folhas de café para a produção de chás, assim como a utilização de culturas iniciadoras para este propósito, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a cinética da fermentação durante 240 h a partir dos teores de fenólicos, flavonoides totais e do potencial antioxidante, a fim de propor o tempo ideal para obtenção de chás com vantagens funcionais. A pesquisa também teve como objetiva comparar a cinética de fermentação de folhas de café obtidas por cultivo convencional e orgânico.

Material e métodos

Os reagentes utilizados nas análises químicas eram de grau de pureza compatíveis com as análises, assim como os padrões analíticos utilizados para a construção das curvas de quantificação (trolox, ácido gálico e catequina).

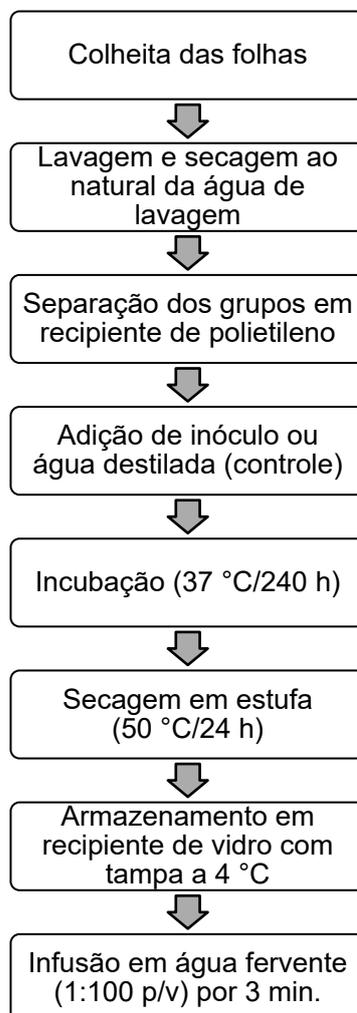
Material vegetal

As folhas foram colhidas de cafeeiros (*Coffea arabica*) provenientes de plantações convencional, com utilização de agrotóxicos (FCC) e orgânica (FCO), cultivados em condições ambientais no município de Paraguaçu, Minas Gerais (21° 33' 22" Sul, Longitude: 45° 44' 22" Oeste), Brasil. O estágio de desenvolvimento das folhas foi categorizado em brotos, gemas e folhas jovens (3-4 semanas após a emergência), verdes nos ramos ortotrópicos.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos do tipo *zip lock* e transportadas imediatamente para o laboratório de tecnologia de alimentos da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) para serem submetidas aos diferentes métodos de fermentação.

Fermentação das folhas de broto do cafeeiro

O processamento das folhas de broto do cafeeiro está representado na figura 1. A primeira etapa do processamento, o murchamento, teve início assim que as folhas foram colhidas, sendo finalizadas em laboratório com a evolução do processamento.



Fonte: Feitosa *et al.* (2020), com modificações.

Figura 1 – Etapas do processamento das folhas de cafeeiros provenientes de cultivos orgânico e convencional.

As folhas provenientes das plantações orgânica e convencional foram lavadas separadamente com água potável corrente e secas ao natural, com auxílio inicial de papel toalha. Uma alíquota de 1.250 g de cada grupo, totalizando 2.500 g foi pesada e dividida aleatoriamente em oito subgrupos de 250 g, sendo duas alíquotas de 250 g restantes (uma para cada forma de cultivo: orgânico e convencional), separadas para a determinação das análises de umidade e determinações químicas [flavonoides e fenólicos totais e potencial antioxidante (ABTS e DPPH)] do material antes do início da fermentação (T 0h).

A fermentação em estado sólido foi realizada de acordo com Feitosa *et al.* (2020), com algumas modificações. Três suspensões de culturas iniciadoras foram preparadas, sendo elas:

- (i) FB: 200 mg de inóculo comercial para iogurte Bio Rich® (Chr. Hansen Ind. e Com. Ltda, Horsholm, Dinamarca), contendo culturas de *Lactobacillus acidophilus* LA-5® (1×10^6 UFC/g do inóculo inicial), *Bifidobacterium* BB-12® (1×10^6 UFC/g do inóculo inicial) e *Streptococcus thermophilus* foi adicionada em 25 mL de água destilada e homogeneizada;
- (ii) FL: 200 mg de inóculo de levedura *Saccharomyces cerevisiae* ($6,0 \times 10^6$ UFC/g do inóculo inicial) foi adicionada em 25 mL de água destilada e homogeneizada;
- (iii) FB+L: 200 mg de inóculo comercial para iogurte Bio Rich® e 200 mg de inóculo de levedura *Saccharomyces cerevisiae* foram adicionadas em 25 mL de água destilada e homogeneizadas.

As folhas foram transferidas para quatro recipientes de polietileno com tampa, sendo borrifado completamente o volume de cada suspensão preparada. Para o controle do processo de fermentação foram borrifadas 25 mL de água destilada. Todos os recipientes foram transferidos e incubados em uma B.O.D. a 37,5 °C por 240 horas.

Alíquotas de aproximadamente 50 g de folhas foram coletadas de cada subgrupo nos tempos (T) 48 h, 96 h, 144 h e 240 h para determinação das análises de umidade e químicas. Uma alíquota restante de aproximadamente 50 g de cada subgrupo das folhas foi submetida à finalização do processamento, por meio da secagem em estufa em temperatura de 50 °C por 24 horas. Após a finalização do processamento de cada subgrupo das folhas de café, uma alíquota foi retirada para análise de umidade e química, representando as folhas fermentadas em condição comercial e o restante armazenado em recipiente de vidro com tampa a 4 °C.

Preparo das infusões de folhas de café, provenientes de cultivo orgânico ou convencional, fermentadas

As infusões das folhas de café provenientes de cultivos orgânico e

convencionais, *in natura*, coletadas ao longo da fermentação e após a finalização do processamento foram preparadas por infusão de alíquota de aproximadamente 0,5 g de cada amostra em um béquer de vidro e 50 mL de água fervente. O béquer foi imediatamente tampado e mantidos por 3 minutos, sendo preparadas três repetições para cada amostra coletada (LIU *et al.*, 2016). Na sequência os chás foram coados e a infusão resfriada à temperatura ambiente e encaminhadas para as análises espectrofotométricas de determinação dos teores de flavonoides totais, fenólicos totais e potencial antioxidante pelos métodos de neutralização do radical ABTS e DPPH.

Determinação de umidade das folhas de cafeeiro *in natura* ou fermentadas

Para a determinação da umidade foi utilizado o método gravimétrico de secagem de voláteis em estufa a 105 °C, pesando os diferentes grupos de folhas de café até obtenção de peso constante conforme metodologia da *Association of Official Analytical Chemist - AOAC* (2016). As folhas de café obtidas de plantações orgânica e convencional, sob diferentes processamentos e sempre coletadas durante a fermentação foram analisadas em três repetições.

Determinação de flavonoides totais

Os teores de flavonoides totais foram determinados conforme metodologia relatada por Dala-Paula *et al.* (2019), com modificações. Uma alíquota de 625 µL de amostra adequadamente diluída foi adicionada em um tubo de ensaio. Em seguida, foram adicionados 37,5 µL de nitrito de sódio (NaNO₂) a 5% (p/v), com agitação manual por aproximadamente 10 segundos e incubação por 5 minutos à temperatura de 25 °C. Após o período de incubação, foram adicionados 37,5 µL de cloreto de alumínio (AlCl₃) a 10% (p/v). A mistura foi manualmente agitada por 10 segundos e incubação por 5 minutos a 25 °C. Na sequência, foram adicionados 250 µL de hidróxido de sódio (NaOH) 1M e 350 µL de água destilada, com os tubos novamente agitados manualmente e incubados nas mesmas condições descritas. A absorbância das amostras foi mensurada em espectrofotômetro BelPhotonics Ultraviolet/Visible-M51 (Bel) (Monza, Milão, Itália), em comprimento de onda ajustado em 510 nm. Uma

curva de quantificação de catequina, construída por 10 pontos (6-60 µg) foi utilizada para a quantificação dos teores de flavonoides totais, expressos em equivalentes de catequinas (EC mg/g) em base seca (b.s.).

Determinação dos compostos fenólicos totais

A determinação dos teores de compostos fenólicos totais das amostras foi realizada conforme método descrito por Wang *et al.* (2020), com modificações. Uma alíquota de 160 µL adequadamente diluída, obtida do extrato foi adicionada em um tubo de ensaio contendo 80 µL do reagente de Folin-Ciocalteu, agitada manualmente por 10 segundos e mantida por 5 minutos a 25 °C. Um volume de 640 µL de Na₂CO₃ (7,5% p/v) foi adicionado e incubado, ao abrigo da luz, a 25 °C por 30 minutos. A absorbância foi mensurada a 756 nm, em espectrofotômetro. Os resultados foram quantificados a partir da equação da reta obtida por meio de uma curva padrão construída com sete pontos, com diferentes concentrações de padrão de ácido gálico (10-100 µg/mL). Os resultados foram expressos em equivalente de ácido gálico (mg EAG/ g) em b.s.

Determinação do potencial antioxidante pelo método de captura do radical ABTS•+

O potencial antioxidante foi determinado a partir do método espectrofotométrico de descoloração do radical catiônico ABTS•+ (2,2'-azinobis 3-etilbenzoatiazolina-6-ácidosulfônico), obtido a partir de sua neutralização com compostos antioxidantes presentes nas amostras, conforme metodologia descrita por Margraf e Granato (2016). A solução de ABTS•+ foi preparada misturando 7mM de solução aquosa de ABTS•+ com 2,45 mM de solução de persulfato de potássio e incubado no escuro em temperatura ambiente por 12 horas. A solução resultante foi diluída até obtenção de absorbância igual a $0,7 \pm 0,05$, determinada em espectrofotômetro ajustado em comprimento de onda de 734 nm.

A diferença da absorbância obtida da leitura da solução controle (750 µL de ABTS•+ + 250 µL de água destilada) após incubação ao abrigo da luz por 15 minutos e da leitura da solução de radical ABTS•+ amostra adequadamente diluída (750 µL de

ABTS•+ + 250 µL de amostra) incubada nas mesmas condições, foi utilizada para o cálculo do potencial antioxidante. Os cálculos foram realizados por meio de uma curva de quantificação de trolox construída com sete pontos (1-17 nM). Os resultados foram expressos em equivalente de trolox (µM ET/g) em b.s.

Determinação do potencial antioxidante pelo método de captura do radical DPPH

A atividade de neutralização do radical DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) foi quantificada conforme metodologia descrita por Margraf e Granato (2016), com modificações, utilizando Trolox como padrão. Uma alíquota de 100 µL de cada amostra adequadamente diluída foi colocada em tubo de ensaio com 650 µL de solução de DPPH a 0,10 mM solubilizada em etanol, sendo manualmente homogeneizados e mantidos no escuro, em temperatura ambiente, por 30 minutos. A absorbância foi medida em espectrofotômetro ajustado a 517 nm; e calculada a partir do percentual de DPPH a equação da reta obtida por meio de uma curva de quantificação de sete pontos de Trolox (1,1-10,8 nM). Água destilada foi utilizada como controle negativo. Os resultados foram expressos em equivalente de trolox (µM ET/g) em b.s.

Análise estatística

Todas as análises foram realizadas em três repetições independentes, sendo os resultados submetidos as análises de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância para determinação dos grupos que se diferiram entre si (Minitab® 16.2.3).

Duas técnicas exploratórias multivariadas, Análise de Componentes Principais (PCA) com correlação entre as matrizes e Análise de Cluster Hierárquicos (HCA) com relação de McQuitty e distância euclidiana, foram aplicados para caracterização da cinética da fermentação entre os diferentes processos (Minitab® 16.2.3).

Resultados e discussões

Os resultados das análises químicas estão representados na Tabela S1 e S2, para os diferentes processos de fermentação realizados com as folhas provenientes

dos cultivos orgânico e convencional.

Teores de flavonoides e fenólicos totais nas infusões obtida com as folhas de café ao longo do processo de fermentação

Os teores de flavonoides e fenólicos totais nas folhas de cafeeiros provenientes de cultivo orgânico e convencional, ao longo da fermentação estão representados nas figuras 2 A e B e 2 C e D, respectivamente.

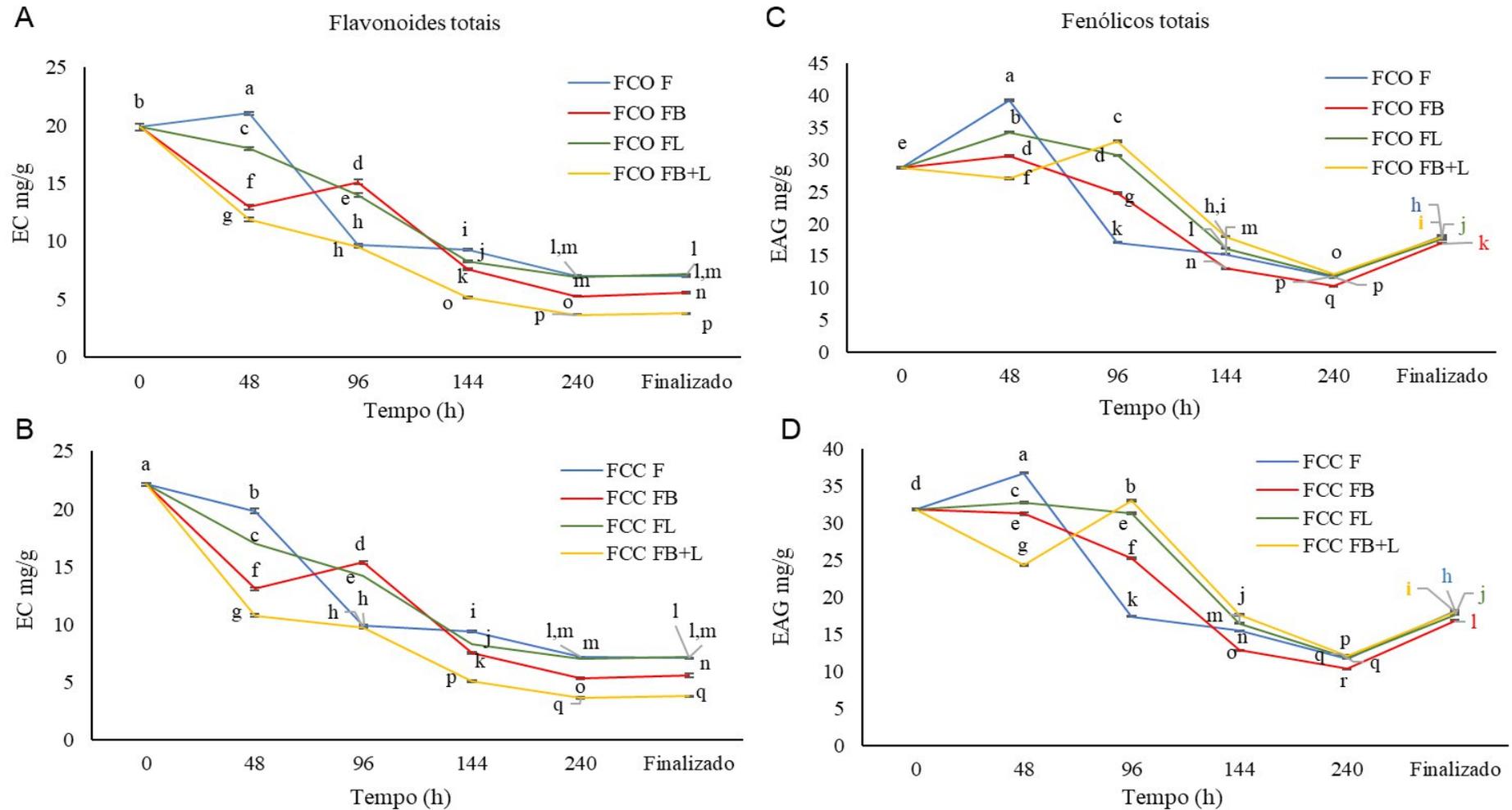


Figura 2 – (A e B) Teores de flavonoides totais e (C e D) fenólicos totais nas infusões de folhas de cafeeiro provenientes de cultivos orgânico e convencional, respectivamente ao longo de 240 h de fermentação ao natural ou com adição de diferentes culturas iniciadoras e após processo de secagem para estabilização das folhas. Nota: Pontos seguidos de letras iguais não diferem entre si pela Análise de Variância ($P \leq 0,05$), seguido do teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Desvio padrão está indicado por barras verticais. Leg.: EC: equivalente em catequina; FCO: folhas de cafeeiro provenientes de cultivo orgânico; F: fermentação controle; FB: fermentação com adição de Bio Rich®; FL: fermentação com adição de *Saccharomyces cerevisiae*; FB+L: fermentação com adição de Bio Rich® e *Saccharomyces cerevisiae*.

Ao longo do período de 240 h de fermentação em estado-sólido, pode-se observar comportamentos distintos entre os grupos com relação ao teor de flavonoides, possibilitando a determinação do período de fermentação ótimo, considerando os seus teores. Os grupos FCO FL e FCO F apresentaram aumento de flavonoides nas primeiras 48 h sendo o grupo FCO F com os maiores teores em ambos os cultivos, orgânico e convencional. Do ponto de vista ambiental e econômico, as condições não estéreis da FES e sem adição de cultura iniciadora às folhas da desbrota, pode reduzir os custos e aumentar a produtividade industrial do chá, uma vez que o processo de esterilização envolve gasto de energia e recursos naturais (INTASIT *et al.*, 2020). A FES compreende o crescimento de micro-organismos em substratos sólidos, apresentando maior produtividade e estabilidade às variações de temperatura e umidade (CHILAKAMARRY *et al.*, 2022). Com 48 h de fermentação a umidade avaliada do grupo FCO F foi de 77,02% que, de acordo com Silva *et al.* (2021) estão em condições suficientes para o processo de FES que podem facilitar a liberação de compostos bioativos através da degradação da parede celular (LIMA *et al.*, 2021).

Os micro-organismos desempenham importante função na produção de enzimas durante a FES e a adição de *Saccharomyces cerevisiae*, como cultura iniciadora, resultou em diminuição dos teores de flavonoides totais em relação ao tempo 0, mas ainda superior aos demais grupos. A *Saccharomyces cerevisiae* é amplamente utilizada na fermentação por apresentar vantagens na capacidade de secretar enzimas extracelulares, por não ser patogênica e possuir baixo custo (HAWASHI *et al.*, 2019). Entretanto, as enzimas extracelulares produzidas são usadas para extração de compostos bioativos da matriz. Além disso, as transformações de flavonoides a fenólicos mais simples acontece em consequência do metabolismo secundário das leveduras (LIMA *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2022), que pode ser observado na Figura 2 C e D, com o aumento dos teores de fenólicos totais no grupo FCO FL, o qual apresentou consecutivas reduções a partir de 96 h.

Embora a fermentação espontânea tenha promovido maiores teores de flavonoides e fenólicos totais no tempo de 48 h, ao final do processamento teve seus valores reduzidos, assim como os demais grupos. Neste sentido, considerando o processamento industrial de chás fermentados de café, a fim de promover maior aporte de compostos bioativos ao longo de 48 h e com baixo custo de produção, o

grupo controle (FCO F) se apresenta como a melhor opção, fato observado em ambas os cultivos, orgânico e convencional, mesmo que com pequenas variações.

O grupo FCO FB+L apresentou rápida degradação dos flavonoides seguida de aumento dos teores de fenólicos totais até 96 h quando, a partir desse tempo, os teores de ambos são reduzidos de forma semelhante aos demais grupos. Considerando o efeito sinérgico dos micro-organismos, observa-se os maiores teores ao final de 96 h de fermentação. Para além dos compostos bioativos, esse grupo poderia apresentar possível efeito probiótico, caso a estabilização das folhas ocorresse por liofilização ou se a bebida fosse obtida por técnica de extração à frio, como o *cold brew* ou mesmo pelo pó das folhas fermentadas (AHMED *et al.*, 2019; JANDA, 2020). Para tal, torna-se necessário a sobrevivências dessas cepas no alimento sendo a combinação de bactérias lácticas com probióticos comumente utilizada na fabricação de iogurte (NAGAOKA, 2019). Ainda, a quantidade de bactérias vivas imediatamente antes do consumo deve ser considerada e extratos de plantas e compostos fenólicos podem aumentar a sua sobrevivência (MUNIANDY *et al.*, 2017).

Potencial antioxidante pelos métodos de neutralização do radical ABTS e DPPH nas infusões obtida com as folhas de café ao longo do processo de fermentação

O potencial antioxidante determinados pelos métodos ABTS e DPPH nos chás fermentados provenientes de cultivo orgânico e convencional, ao longo da fermentação estão representados nas figuras 3 A e B e 3 C e D, respectivamente.

O potencial antioxidante avaliado pelo método de ABTS apresentou seus maiores valores nos grupos FB e FL em ambos os tipos de cultivos (FCO e FCC). Apesar do grupo FCO F ter apresentado os maiores teores de flavonoides e fenólicos totais, o potencial antioxidante deste grupo foi o menor, indicando a influência positiva das culturas iniciadoras para essa propriedade nos demais grupos. Essa constatação também pode é observada para em relação ao potencial antioxidante verificado pelo método de neutralização do radical DPPH, para ambos os tipos de cultivo.

Zhang *et al.*, 2020 observaram aumento do potencial antioxidante por DPPH após fermentação de silagem de alfafa em matéria seca por meio da atividade de *Pediococcus acidilactici*. Embora diferentes mecanismos possam estar envolvidos na

atividade antioxidante das leveduras, essa atividade funcional poderia estar correlacionada com o conteúdo de β -glucanos provenientes da parede celular, além de enzimas antioxidantes ou mesmo pelos próprios micro-organismos (SIESTO *et al.*, 2022; TRIPATHI *et al.*, 2020).

A cinética da fermentação segundo o potencial antioxidante pelo método de ABTS indica o tempo de 48 h como o ponto ótimo para quase todos os grupos, com exceção de FCO F, FCC F e FCC FB+L. Esses grupos apresentaram os maiores valores de potencial antioxidante no tempo 0, antes do início da fermentação. Considerando o gráfico obtido pelo método de DPPH, o tempo de 48 h foi o ápice dessa propriedade para quase todos os grupos, com exceção do FCC FB+L cujo pico do potencial antioxidante foi detectado após 96 h. Os demais grupos que receberam a adição de cultura iniciadora apresentaram tendência à manutenção desses valores ou leve redução ao final de 96 h, diferenciando significativamente do controle, onde se verifica queda brusca dessa propriedade.

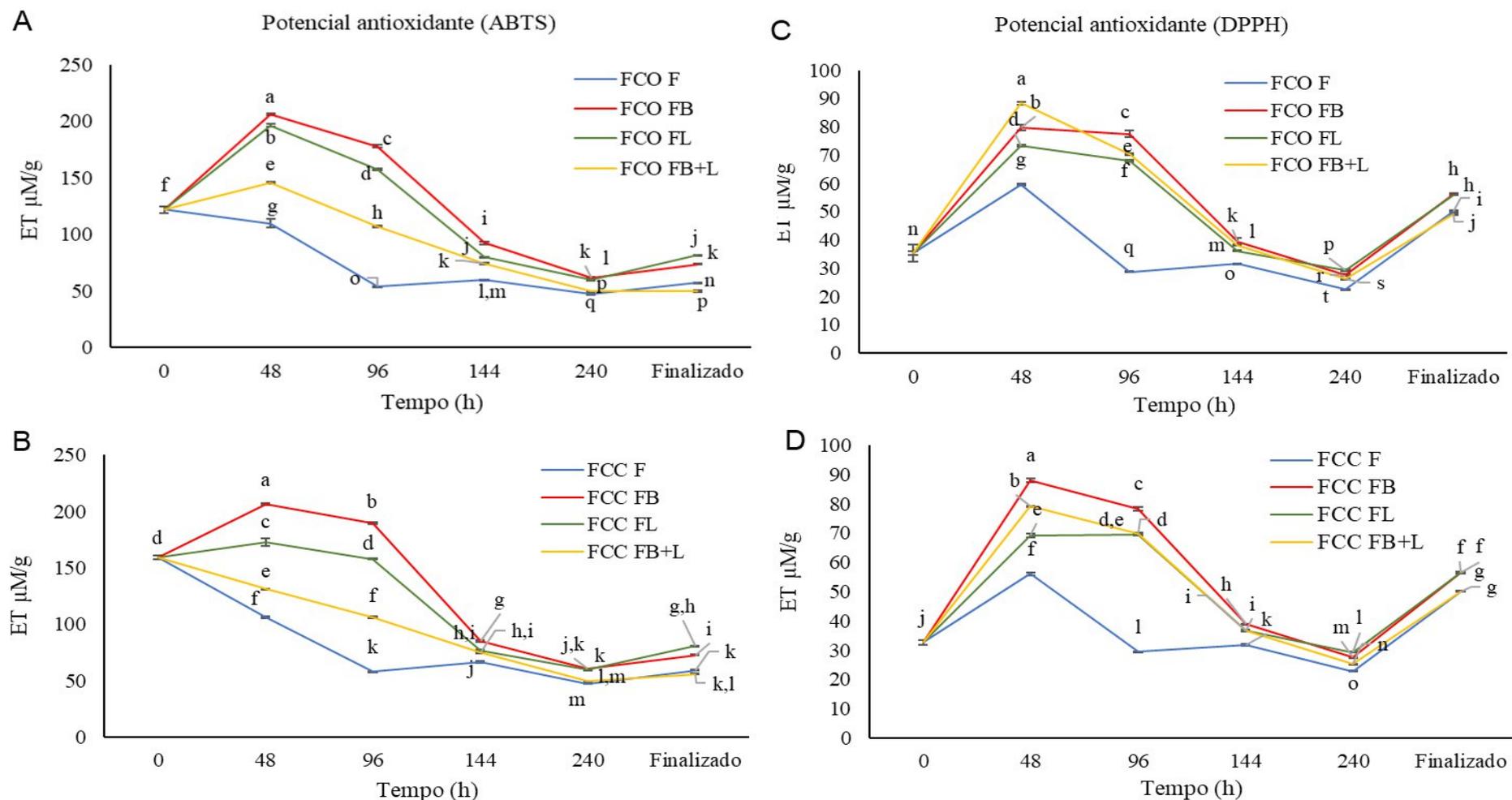


Figura 3 – (A e B) Potencial antioxidante pelos métodos de neutralização de ABTS) e (C e D) de DPPH nas infusões de folhas de cafeeiro provenientes de cultivos orgânico e convencional, respectivamente, ao longo de 240 h de fermentação ao natural ou com adição de diferentes culturas iniciadoras e após processo de secagem para estabilização das folhas. Nota: Pontos seguidos de letras iguais não diferem entre si pela Análise de Variância ($P \leq 0,05$), seguido do teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Desvio padrão está indicado por barras verticais. Leg.: EC: equivalente em catequina; FCO: folhas de cafeeiro provenientes de cultivo orgânico; F: fermentação controle; FB: fermentação com adição de Bio Rich®; FL: fermentação com adição de *Saccharomyces cerevisiae*; FB+L: fermentação com adição de Bio Rich® e *Saccharomyces cerevisiae*.

Os antioxidantes, encontrados em alimentos fermentados, conferem proteção às células por meio da neutralização de radicais livres e interrompendo as reações de formação em cadeia (BARUS *et al.*, 2019). Os micro-organismos produzem diversos metabólitos secundários com função aos humanos como hormônios, pigmentos e antibióticos, não sendo necessariamente utilizados para seu desenvolvimento, mas de interesse à saúde humana e à biotecnologia sustentável (RANI *et al.*, 2021).

Muitos desses metabólitos secundários, são produzidos a partir de aminoácidos, lipídeos e carboidratos. As condições de crescimento na FES se assemelham ao ambiente natural o que permite melhor adaptação (GUO *et al.*, 2020). Os metabólitos secundários possuem potencial antioxidante e atuam como componentes valiosos para aplicações biotecnológicas, especificamente para as indústrias farmacêutica, nutracêutico e cosmética com vantagens econômicas pela substituição de produtos sintéticos e processos de produção por produtos microbianos (KUMAR *et al.*, 2021).

Em relação aos sistemas de cultivo, embora ambos tenham apresentado valores semelhantes de modo geral, o desenvolvimento de chás com alegação de funcionalidade, contribuição para a longevidade humana e sustentáveis se alinha ao cultivo orgânico. Essa forma de produção caracterizada pela ausência da utilização de insumos químicos, minimiza a possibilidade de contaminação ambiental por resíduos de praguicidas, assim como reduz ao risco de exposição humana pelo consumo de chás das folhas de café.

Análise Multivariada

As análises multivariadas de componente principal (ACP) para os teores de flavonoides totais, fenólicos totais e potencial antioxidante (ABTS e DPPH) nos diferentes tempos de fermentação de folhas de café provenientes de cultivos orgânico e convencional, indicam um modelo com dois componentes principais responsáveis por 93,3% (Figura 4A) e 93,6% (Figura 5A) da correlação, respectivamente. Para os cultivos orgânico e convencional, todos os parâmetros analisados apresentaram peso semelhante para o componente principal 1 (PC1), responsável por 79,6% e 82,9% da correlação, respectivamente, enquanto o PC2 teve como principais variáveis o potencial antioxidante por DPPH e os fenólicos totais (negativo), sendo responsável

por 13,6% e 10,6%, respectivamente (Figura 4A e 5A).

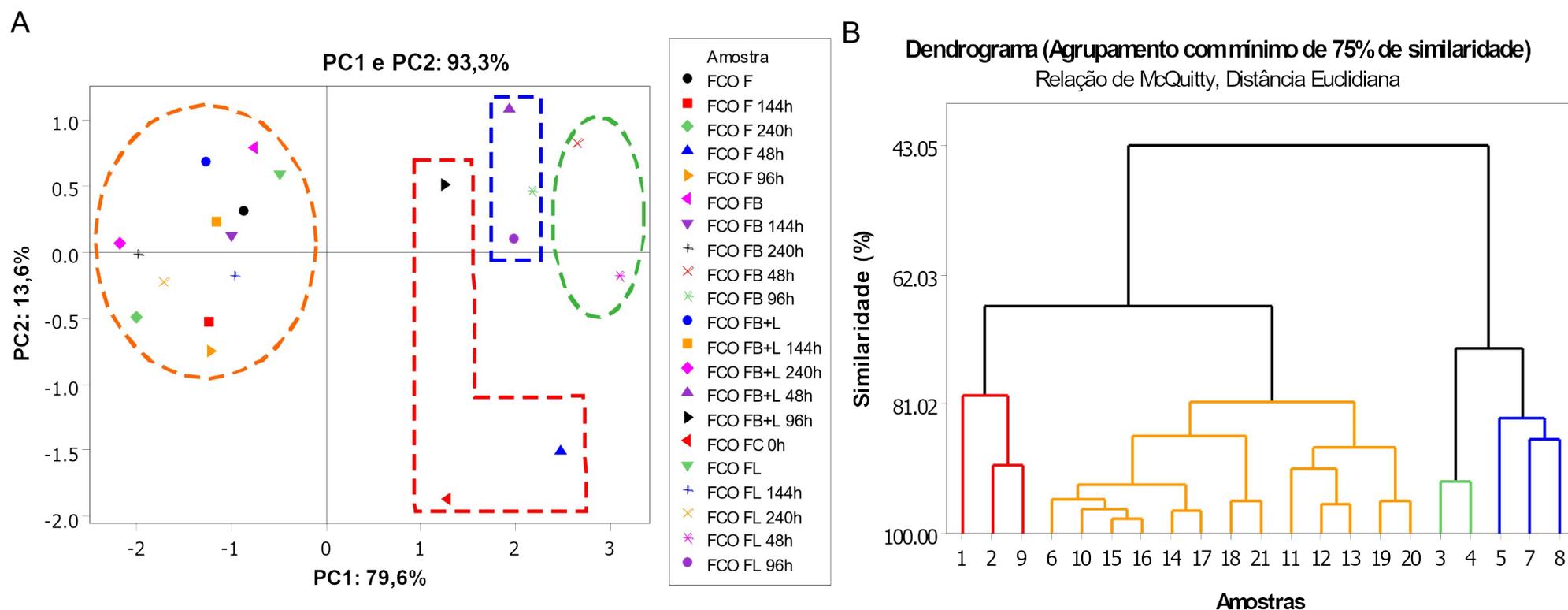


Figura 4 – (A) Análise de componente principal (PCA) e (B) análise de cluster hierarquizado (ACH) de flavonoides totais, fenólicos totais e potencial antioxidante (ABTS e DPPH) das infusões de folha de café provenientes de cultivo orgânico ao longo de 240 h de fermentação. Legenda: PC: Componente principal; FCO: folhas de cafeeiro provenientes de cultivo orgânico; F: fermentação controle; FB: fermentação com inóculo de BioRich®; L: fermentação com inóculo de *Saccharomyces cerevisiae*; FB+L: Inóculo misto de BioRich® e *Saccharomyces cerevisiae*; 1: FCO FC 0h; 2: FCO F 48h; 3: FCO FB 48h; 4: FCO FL 48h; 5: FCO FB+L 48h; 6: FCO F 96h; 7: FCO FB 96h; 8: FCO FL 96h; 9: FCO FB+L 96h; 10: FCO F 144h; 11: FCO FB 144h; 12: FCO FL 144h; 13: FCO FB+L 144h; 14: FCO F 240h; 15: FCO FB 240h; 16: FCO FL 240h; 17: FCO FB+L 240h; 18: FCO F; 19: FCO FB; 20: FCO FL; 21: FCO FB+L.

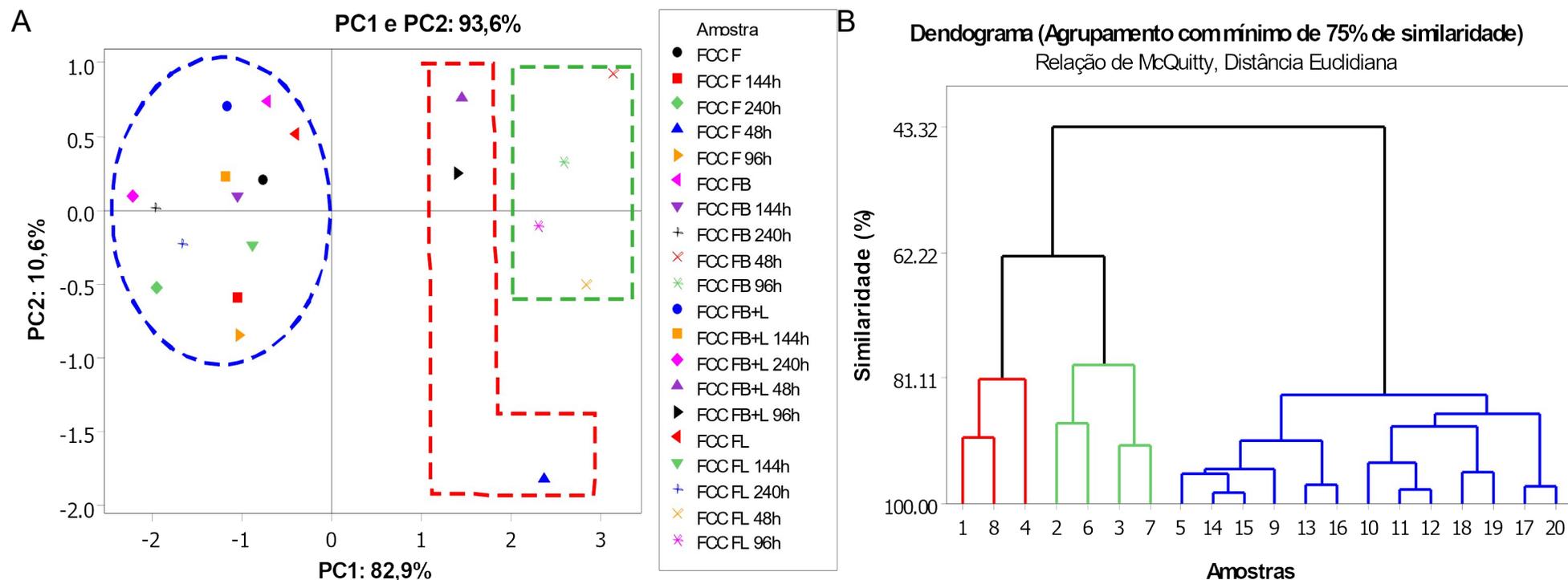


Figura 5 – (A) Análise de componente principal (PCA) e (B) análise de cluster hierarquizado (ACH) de flavonoides totais, fenólicos totais e potencial antioxidante (ABTS e DPPH) das infusões de folha de café provenientes de cultivo convencional ao longo de 240 h de fermentação. Legenda: PC: Componente principal; FCO: folhas de cafeeiro provenientes de cultivo orgânico; F: fermentação controle; FB: fermentação com inóculo de BioRich®; L: fermentação com inóculo de *Saccharomyces cerevisiae*; FB+L: Inóculo misto de BioRich® e *Saccharomyces cerevisiae*; 1: FCC FC 0h; 2: FCC F 48h; 3: FCC FB 48h; 4: FCC FL 48h; 5: FCC FB+L 48h; 6: FCC F 96h; 7: FCC FB 96h; 8: FCC FL 96h; 9: FCC FB+L 96h; 10: FCC F 144h; 11: FCC FB 144h; 12: FCC FL 144h; 13: FCC FB+L 144h; 14: FCC F 240h; 15: FCC FB 240h; 16: FCC FL 240h; 17: FCC FB+L 240h; 18: FCC F; 19: FCC FB; 20: FCC FL; 21: FCC FB+L.

A análise de cluster hierárquicos (ACH) com 75% de similaridade realizada para as folhas provenientes de cultivo orgânico (Fig. 4B), permitiu dividir os tempos de fermentação em quatro clusters. Os três clusters presentes ao lado direito do valor 0 no eixo X, compreende os grupos com os maiores valores para os parâmetros analisados (Fig. S1). O cluster delimitado pela linha tracejada verde, incluindo os chás FCO FL 48h e FCO FB 48h, reúne amostras com elevado potencial antioxidante, em especial pelo método de ABTS. O cluster delimitado pela linha tracejada vermelha, incluindo os chás FCO FC 0h, FCO F 48h e FCO FB+L 96h, reúne amostras com elevado teor de compostos fenólicos totais. O cluster delimitado pela linha tracejada azul, incluindo os chás FCO FB+L 48h, FCO FB 96h e FCO FL 96 h, apresentam potencial antioxidante intermediário e menores valores dos compostos bioativos comparado aos clusters previamente apresentados. O cluster delimitado pela linha tracejada laranja, apresenta as amostras com menores valores nos parâmetros analisados.

Para as folhas de chás provenientes do cultivo convencional, a ACH com 75% de similaridade possibilitou a divisão em três clusters (Fig. 5B). A contribuição dos parâmetros analisados para a divisão das folhas de café provenientes de cultivos convencionais em clusters segue a tendência observada nas amostras de cultivo orgânico (Fig. S2). O cluster delimitado pela linha tracejada verde, incluindo as amostras FCC FB 48h e 96h, FCC FL 48 e 48h com teores elevados de potencial antioxidante (ABTS), são os tempos indicados para o desenvolvimento da bebida com vantagens funcionais e por apresentarem similares nesse parâmetro, recomenda-se a avaliação do custo das culturas iniciadoras, assim como a determinação de outras propriedades funcionais em potencial, a fim de auxiliar na escolha da cultura iniciadora. O cluster delimitado pela linha tracejada vermelha, incluindo as amostras FCC FB+L 48h, FCC FB+L 96h e FCC F48 h, com valores elevados para potencial antioxidante (DPPH) e/ou elevados teores de flavonoides totais. O cluster envolvendo o maior número de amostras, delimitado pela linha tracejada azul, apresenta os chás com menores valores nos parâmetros analisados, por estarem localizados nos quadrantes à esquerda do valor 0, do eixo X.

Dessa forma, os dendrogramas (5A e 5B) auxiliam na caracterização dos tempos de fermentação com potencial contribuição para o desenvolvimento de chás com maiores teores de compostos bioativos e/ou com maiores valores de potencial

antioxidante.

Considerações Finais

A busca por compostos bioativos a partir das folhas de café, orgânica e convencional, processadas por meio da fermentação em estado sólido apresentou variações nos teores de flavonoides e compostos fenólicos, bem como no potencial antioxidante dependente do tempo e da inoculação das folhas. Apesar disso, a fermentação natural se apresentou vantajosa considerando os teores de compostos fenólicos e flavonoides, podendo ser relevante à agroindústria por reduzir os custos de produção dos chás fermentado por 48 h.

A adição de cultura iniciadora de micro-organismos probióticos nas folhas de café permitiu aumento do potencial antioxidante ao final de 48 h. Podendo se apresentar como estratégia ao desenvolvimento de bebida funcional, considerando a forma adotada para a estabilização das folhas e preparo dos chás.

As culturas, orgânica e convencional, apresentaram comportamentos semelhantes referentes as propriedades funcionais e, a fim de se buscar um produto sustentável, recomendam-se a produção dos chás a partir de culturas orgânicas, para reduzir o risco de exposição aos resíduos de pesticidas. Foram detectados resíduos de pesticidas organofosforados e triazólicos em infusões de folha de café provenientes de cultivos convencionais (Capítulo III), acima dos Limites Máximos de Resíduos (EC, 2021).

Referências

AHMED, Maruf et al. Effects of ultrasonication, agitation and stirring extraction techniques on the physicochemical properties, health-promoting phytochemicals and structure of cold-brewed coffee. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s.i]. v. 99, n. 1, p. 290-301, 2019.

ARTÊNCIO, Mateus Manfrin; GIRALDI, Janaina de Moura Engracia; DE OLIVEIRA, Jorge Henrique Caldeira. A cup of black coffee with GI, please! Evidence of geographical indication influence on a coffee tasting experiment. **Physiology & Behavior**, Zurich, Switzerland. v. 245, p. 113671, 2022.

AOAC. Official methods of analysis. Arlughton VA, USA: **Association of Official Analytical Chemists**, Rockville, Maryland. 2016.

BARUS, Tati et al. Tempeh antioxidant activity using DPPH method: effects of fermentation, processing, and microorganisms. **Journal of Food Engineering and Technology**, [s.l.]. v. 8, n. 2, p. 75-80, 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. **Sumário Executivo Café**, Brazil. Agosto, 2021, p.12. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/informe_estatistico/Sumario_Cafe_a_gosto_2021.pdf. Acesso em: 02 nov. 2022.

CARVALHO, André Cutrim et al. Panorama e importância econômica do café no mercado internacional de commodities agrícolas: uma análise espectral. **Revista Agroecossistemas**, Brazil. v. 9, n. 2, p. 223-249, 2018.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de café, Brasília, DF, v.9 safra 2022, n. 1, primeiro levantamento janeiro, 2022. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>

CHEN, Xiumin. A review on coffee leaves: Phytochemicals, bioactivities and applications. **Critical reviews in food science and nutrition**, United Kingdom. v. 59, n. 6, p. 1008-1025, 2019.

CHENG, Lizeng et al. Distinct changes of metabolic profile and sensory quality during Qingzhuan tea processing revealed by LC-MS-based metabolomics. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC. v. 68, n. 17, p. 4955-4965, 2020.

CHILAKAMARRY, Chaitanya Reddy et al. Advances in solid-state fermentation for bioconversion of agricultural wastes to value-added products: Opportunities and challenges. **Bioresource technology**, [s.l.]. v. 343, p. 126065, 2022.

DALA-PAULA, Bruno Martins et al. Domestic processing and storage on the physical-chemical characteristics of acerola juice (*Malpighia glabra* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Brazil. v. 43, 2019.

DURAZZO, Alessandra et al. Polyphenols: A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health. **Phytotherapy Research**, Paramount, CA. v. 33, n. 9, p. 2221-2243, 2019.

EUROPEAN COMMISSION - EC, 2021. Analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed. Sante/11312/2021. https://www.eurlpesticides.eu/userfiles/file/EurlALL/SANTE_11312_2021.pdf. Accessed: 15 September 2022.

EKMEKCIOGLU, Cem. Nutrition and longevity—From mechanisms to uncertainties. **Critical reviews in food science and nutrition**, London. v. 60, n. 18, p. 3063-3082, 2020. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1676698>.

ESCOBAR, K. A.; COLE, N. H.; MERMIER, C. M.; van DUSSELDORP, T. A. Autophagy and aging: Maintaining the proteome through exercise and caloric

restriction. **Aging Cell**, [s.l.]. v. 18, n. 1, e12876, 2019. doi:10.1111/accel.12876.

FEITOSA, Paula Ribeiro Buarque et al. Solid-state fermentation with *Aspergillus niger* for the bio-enrichment of bioactive compounds in *Moringa oleifera* (moringa) leaves. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Illinois. v. 27, p. 101709, 2020.

GUO, Na et al. Improvement of flavonoid aglycone and biological activity of mulberry leaves by solid-state fermentation. **Industrial crops and products**, Montana, USA., v. 148, p. 112287, 2020.

HAWASHI, Mohamed et al. Optimization of process conditions for tannin content reduction in cassava leaves during solid state fermentation using *Saccharomyces cerevisiae*. **Heliyon**, [s.l.]. v. 5, n. 8, p. e02298, 2019.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Trade Statistics Tables**, London, 2021. Disponível em: <https://www.ico.org/prices/po-production.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2022.

INTASIT, Rawitsara , Benjamas Cheirsilp, Yasmi Louhasakul, Piyarat Boonsawang, Sumate Chaiprapat, Jarucha Yeesang. Valorization of palm biomass wastes for biodiesel feedstock and clean solid biofuel through non-sterile repeated solid-state fermentation. **Bioresource Technology**, Lucknow, India. v. 298, p.122551, 2020. doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122551

JANDA, Katarzyna et al. Mineral composition and antioxidant potential of coffee beverages depending on the brewing method. **Foods**, Basel, Switzerland. v. 9, n. 2, p. 121, 2020.

KOCHMAN, Janda, Jakubczyk K, Antoniewicz J, Mruk H, Janda K. Health Benefits and Chemical Composition of Matcha Green Tea: A Review. **Molecules**. Basel, Switzerland. v.26, n.1, p. 85, 2020.

KUMAR, Vinod et al. Recent developments on solid-state fermentation for production of microbial secondary metabolites: Challenges and solutions. **Bioresource Technology**, Lucknow, India. v. 323, p. 124566, 2021.

LI, Qin et al. Biochemical components associated with microbial community shift during the pile-fermentation of primary dark tea. **Frontiers in microbiology**, Switzerland. v. 9, p. 1509, 2018.

LIMA, Anna C. et al. β -Mannanase production by *Penicillium citrinum* through solid-state fermentation using açai residual biomass (*Euterpe oleracea*). **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, [s.l.]. v. 96, n. 10, p. 2744-2754, 2021.

LIN, Haiyu et al. Exploring the bacterial community and fermentation characteristics during silage fermentation of abandoned fresh tea leaves. **Chemosphere**, Amsterdam, Netherlands. v. 283, p. 131234, 2021.

LIU, Zhibin et al. The modulatory effect of infusions of green tea, oolong tea, and black tea on gut microbiota in high-fat-induced obese mice. **Food & Function**, [s.l.]. v. 7, n.

12, p. 4869-4879, 2016.

MARGRAF, R; GRANATO, D. Antocianin content and antioxidant capacity of fruit and vegetable extracts determined by ABTS assay. **Journal of food science and technology**, Switzerland. v. 53, n. 9, p. 3230-3237, 2016.

MARQUES, Danilo Medeiros; BERNARDO, Maria Helena. Marketing sensorial e a influência no comportamento do consumidor. **Bioenergia em Revista: Diálogos (ISSN: 2236-9171)**, Brazil. v. 11, n. 1, p. 178-199, 2021.

MONTEIRO, Ângelo et al. Dietary antioxidants in coffee leaves: Impact of botanical origin and maturity on chlorogenic acids and xanthones. **Antioxidants**, Basel, Switzerland. v. 9, n. 1, p. 6, 2019.

MUNIANDY, Premalatha, Amal Bakr Shori, Ahmad Salihin Baba. Comparison of the effect of green, white and black tea on *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus* spp. in yogurt during refrigerated storage. **Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences**, Bahrain. v. 22, p. 26-30, 2017.

NAGAOKA, Seiji Yogurt Production. *Methods Mol Biol.* 2019;1887:45-54. Park Sung-Hyun, Jo Ara, Lee Kwang-Geun. Effect of various roasting, extraction and drinking conditions on furan and 5-hydroxymethylfurfural levels in coffee. **Food Chemistry**, Norwich, United Kingdom. v.358, p.129806, 2021.

NOUGADÈRE, Alexandre et al. Dietary exposure to pesticide residues and associated health risks in infants and young children—results of the French infant total diet study. **Environment international**, [s.l.]. v. 137, p. 105529, 2020.

PATAY, E. B., BENCSIK, T., PAPP, N. . Phytochemical overview and medicinal importance of *Coffea* species from the past until now. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, Hainan, China. v.9, n.12, 2016.

RANI, Alka et al. Microorganisms: A potential source of bioactive molecules for antioxidant applications. **Molecules**, Basel, Switzerland. v. 26, n. 4, p. 1142, 2021.

SANAR. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Café: manejo de podas, desbrotas, irrigação e nutrição do cafeeiro**, Brazil, 2016.

Siesto, G.; Pietrafesa, R.; Infantino, V.; Thanh, C.; Pappalardo, I.; Romano, P.; Capece, A. In Vitro Study of Probiotic, Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities among Indigenous *Saccharomyces cerevisiae* Strains. **Foods**, Basel, Switzerland. v.11, p. 1342, 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11091342>

SILVA, Lucas Rodolfo Inácio et al. Solid-state fermentation in brewer's spent grains by *Fusarium fujikuroi* for gibberellic acid production. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, [s.l.]. v. 11, p. 13042-13052, 2021.

ZHAO, Cai-Ning et al. Phenolic profiles and antioxidant activities of 30 tea infusions from green, black, oolong, white, yellow and dark teas. **Antioxidants**, Basel,

Switzerland. v. 8, n. 7, p. 215, 2019.

SHIN, Kwang-Soon. The Chemical Characteristics and Immune-Modulating Activity of Polysaccharides Isolated from Cold-Brew Coffee. **Preventive Nutrition and Food Science**, [s.l.]. v. 22, n.2, p.100-106, 2017.

SOLOVIEVA, Yulia et al. Indicadores da cadeia de agrotóxicos no brasil entre os anos de 2015 e 2019. **Indicadores da cadeia de agrotóxicos no Brasil entre os anos de 2015 e 2019**, Brazil. v. 4, n. 20, p. 312-331, 2022.

TRAN, Duc; GOTO, Daisaku. Impacts of sustainability certification on farm income: Evidence from small-scale specialty green tea farmers in Vietnam. **Food Policy**, [s.l.]. v. 83, p. 70-82, 2019.

TRIPATHI, Vikash Chandra et al. The discovery of antioxidants in marine microorganisms and their protective effects on the hepatic cells from chemical-induced oxidative stress. **Free Radical Research**, [s.l.]. v. 54, n. 2-3, p. 150-161, 2020.

VEEN, G. F. et al. Relationships between fungal community composition in decomposing leaf litter and home-field advantage effects. **Functional Ecology**, [s.l.]. v. 33, n. 8, p. 1524-1535, 2019.

WANG, Zhi-hui; YUE, Cui-nan; TONG, Hua-rong. Analysis of taste characteristics and identification of key chemical components of fifteen Chinese yellow tea samples. **Journal of Food Science and Technology**, Switzerland. v. 58, n. 4, p. 1378-1388, 2021.

XIAO, Yue et al. The effect of Eurotium cristatum (MF800948) fermentation on the quality of autumn green tea. **Food Chemistry**, Norwich, United Kingdom. v. 358, p. 129848, 2021.

YU, Jieyao et al. Effect of brewing conditions on phytochemicals and sensory profiles of black tea infusions: A primary study on the effects of geraniol and β -ionone on taste perception of black tea infusions. **Food Chemistry**, Norwich, United Kingdom. v. 354, p. 129504, 2021.

ŻAKOWSKA-BIEMANS, Sylwia et al. Searching for a measure integrating sustainable and healthy eating behaviors. **Nutrients**, Basel. v. 11, n. 1, p. 95, 2019.

ZHANG, Y. X. et al. The effect of *Pediococcus acidilactici* J17 with high-antioxidant activity on antioxidant, α -tocopherol, β -carotene, fatty acids, and fermentation profiles of alfalfa silage ensiled at two different dry matter contents. **Animal Feed Science and Technology**, Thessaloniki, Greece. v. 268, p. 114614, 2020.

ZHANG, Duqin; YE, Yanjun; TAN, Bin. Comparative study of solid-state fermentation with different microbial strains on the bioactive compounds and microstructure of brown rice. **Food Chemistry**, Norwich, United Kingdom. v. 397, p. 133735, 2022.

ZHAO, Cai-Ning et al. Phenolic profiles and antioxidant activities of 30 tea infusions from green, black, oolong, white, yellow and dark teas. **Antioxidants**, Basel,

Switzerland v. 8, n. 7, p. 215, 2019.

Materiais suplementares

Tabela S1 - Cinética do potencial antioxidante (ABTS e DPPH), fenólicos e flavonoides totais (em base seca) de chás de folhas de cafeeiros provenientes de cultivos orgânico, coletadas no município de Paraguaçu, MG, em julho de 2022, ao longo de 240 h de fermentação em fase sólida natural ou com diferentes culturas iniciadoras.

Amostras	Flavonoides (EC mg.g ⁻¹)	Fenólicos (EAG mg.g ⁻¹)	Potencial antioxidante (ET µmol.g ⁻¹)	
			ABTS	DPPH
FCO FC 0h	19,87 ± 0,28 ^b	28,73 ± 0,17 ^e	121,95 ± 2,98 ^f	35,33 ± 0,60 ⁿ
FCO F 48h	21,03 ± 0,12 ^a	39,26 ± 0,15 ^a	109,68 ± 3,77 ^g	59,65 ± 0,31 ^g
FCO FB 48h	12,95 ± 0,18 ^f	30,67 ± 0,14 ^d	206,25 ± 1,02 ^a	79,63 ± 0,33 ^b
FCO FL 48h	18,00 ± 0,14 ^c	34,32 ± 0,12 ^b	196,42 ± 0,99 ^b	73,44 ± 0,37 ^d
FCO FB+L 48h	11,89 ± 0,18 ^g	27,08 ± 0,09 ^f	145,88 ± 0,88 ^e	88,31 ± 0,44 ^a
FCO F 96h	9,73 ± 0,07 ^h	17,06 ± 0,08 ^k	53,77 ± 0,24 ^o	28,77 ± 0,17 ^q
FCO FB 96h	15,12 ± 0,20 ^d	24,86 ± 0,15 ^g	178,04 ± 1,19 ^c	77,41 ± 0,40 ^c
FCO FL 96h	14,00 ± 0,16 ^e	30,69 ± 0,09 ^d	157,25 ± 0,81 ^d	68,00 ± 0,37 ^f
FCO FB+L 96h	9,57 ± 0,11 ^h	32,88 ± 0,11 ^c	106,95 ± 1,02 ^h	70,23 ± 0,28 ^e
FCO F 144h	9,27 ± 0,06 ⁱ	15,23 ± 0,08 ^m	59,98 ± 0,35 ^{l, m}	31,53 ± 0,08 ^o
FCO FB 144h	7,63 ± 0,09 ^k	13,06 ± 0,05 ⁿ	92,56 ± 1,21 ⁱ	39,48 ± 0,17 ^k
FCO FL 144h	8,26 ± 0,06 ^j	16,17 ± 0,03 ^l	80,30 ± 0,28 ^j	36,16 ± 0,13 ^m
FCO FB+L 144h	5,18 ± 0,06 ^o	18,02 ± 0,06 ^{h, i}	74,24 ± 0,91 ^k	38,09 ± 0,15 ^l
FCO F 240h	7,02 ± 0,03 ^{l, m}	11,65 ± 0,03 ^p	47,04 ± 0,47 ^q	22,65 ± 0,06 ^t
FCO FB 240h	5,28 ± 0,05 ^o	10,31 ± 0,02 ^q	61,95 ± 0,26 ^l	27,53 ± 0,07 ^r
FCO FL 240h	6,94 ± 0,05 ^m	11,79 ± 0,03 ^p	59,70 ± 0,14 ^m	29,31 ± 0,18 ^p
FCO FB+L 240h	3,66 ± 0,04 ^p	12,12 ± 0,05 ^o	49,54 ± 0,22 ^p	26,18 ± 0,21 ^s
FCO F Fin.	7,01 ± 0,08 ^{l, m}	18,09 ± 0,15 ^h	57,31 ± 0,46 ⁿ	50,25 ± 0,36 ^j
FCO FB Fin.	5,58 ± 0,09 ⁿ	16,97 ± 0,06 ^k	73,51 ± 0,40 ^k	56,20 ± 0,23 ^h
FCO FL Fin.	7,18 ± 0,04 ^l	17,59 ± 0,06 ^j	81,64 ± 0,32 ^j	55,98 ± 0,26 ^h
FCO FB+L Fin.	3,80 ± 0,04 ^p	17,90 ± 0,14 ⁱ	49,76 ± 0,76 ^p	49,17 ± 0,07 ^j

Nota: Resultados expressos em média ± desvio padrão; n=9 (3 replicatas para cada uma de 3 repetições independentes do processo de fermentação). Valores em uma mesma coluna seguidos de letras iguais não diferem entre si pela Análise de Variância (P≤0,05), seguido do teste de Tukey (P≤0,05). Legenda: ET: equivalente de trolox; EAG: equivalente de ácido gálico; EC: equivalente de catequina; FCO: folhas de cafeeiro provenientes de cultivo orgânico; F: fermentação controle; FB: fermentação com inóculo de BioRich®; L: fermentação com inóculo de *Saccharomyces cerevisiae*; FB+L: Inóculo misto de BioRich® e *Saccharomyces cerevisiae*; Fin: processo finalizado com

secagem a 50 °C/24 h.

Tabela S2 - Cinética do potencial antioxidante (ABTS e DPPH), fenólicos e flavonoides totais (em base seca) de chás de folhas de cafeeiros provenientes de cultivos convencional, coletadas no município de Paraguaçu, MG, em julho de 2022, ao longo de 240 h de fermentação em fase sólida natural ou com diferentes culturas iniciadoras.

Amostras	Flavonoides (EC mg.g ⁻¹)	Fenólicos (EAG mg.g ⁻¹)	Potencial antioxidante (ET µmol.g ⁻¹)	
			ABTS	DPPH
FCC F 0h	22,12 ± 0,15 ^a	31,83 ± 0,13 ^d	159,06 ± 1,48 ^d	32,72 ± 0,77 ^j
FCC F 48h	19,80 ± 0,21 ^b	36,74 ± 0,11 ^a	106,27 ± 0,66 ^f	56,07 ± 0,40 ^f
FCC FB 48h	13,08 ± 0,14 ^f	31,21 ± 0,20 ^e	207,08 ± 15,81 ^a	88,05 ± 0,58 ^a
FCC FL 48h	17,04 ± 0,19 ^c	32,71 ± 0,11 ^c	172,75 ± 3,40 ^c	69,13 ± 0,55 ^e
FCC FB+L 48h	10,74 ± 0,13 ^g	24,29 ± 0,11 ^g	131,14 ± 0,47 ^e	79,10 ± 0,24 ^b
FCC F 96h	9,88 ± 0,06 ^h	17,38 ± 0,05 ^k	57,82 ± 0,69 ^k	29,41 ± 0,24 ^l
FCC FB 96h	15,37 ± 0,12 ^d	25,25 ± 0,10 ^f	189,43 ± 1,11 ^b	78,25 ± 0,67 ^c
FCC FL 96h	14,26 ± 0,24 ^e	31,29 ± 0,16 ^e	157,88 ± 0,84 ^d	69,60 ± 0,37 ^{d, e}
FCC FB+L 96h	9,76 ± 0,09 ^h	32,97 ± 0,09 ^b	105,89 ± 0,82 ^f	69,75 ± 0,29 ^d
FCC F 144h	9,38 ± 0,05 ⁱ	15,46 ± 0,04 ⁿ	66,52 ± 0,48 ^j	31,72 ± 0,27 ^k
FCC FB 144h	7,52 ± 0,07 ^k	12,82 ± 0,05 ^o	85,18 ± 0,60 ^g	38,86 ± 0,13 ^h
FCC FL 144h	8,31 ± 0,06 ^j	16,43 ± 0,04 ^m	76,46 ± 0,47 ^{h, i}	36,83 ± 0,07 ⁱ
FCC FB+L 144h	5,07 ± 0,09 ^p	17,57 ± 0,08 ^j	74,71 ± 0,75 ^{h, i}	36,76 ± 0,07 ⁱ
FCC F 240h	7,15 ± 0,05 ^{l, m}	11,70 ± 0,05 ^q	47,28 ± 0,39 ^m	22,84 ± 0,06 ^o
FCC FB 240h	5,33 ± 0,05 ^o	10,36 ± 0,03 ^r	60,81 ± 0,21 ^{j, k}	27,55 ± 0,11 ^m
FCC FL 240h	6,97 ± 0,05 ^m	11,77 ± 0,09 ^q	59,74 ± 0,55 ^k	29,37 ± 0,05 ^l
FCC FB+L 240h	3,63 ± 0,05 ^q	12,09 ± 0,03 ^p	49,73 ± 0,22 ^{l, m}	25,19 ± 0,13 ⁿ
FCC F Fin.	7,09 ± 0,04 ^{l, m}	18,16 ± 0,05 ^h	59,16 ± 0,51 ^k	50,16 ± 0,25 ^g
FCC FB Fin.	5,58 ± 0,20 ⁿ	16,83 ± 0,06 ^l	72,78 ± 0,38 ⁱ	56,36 ± 0,25 ^f
FCC FL Fin.	7,21 ± 0,06 ^l	17,63 ± 0,10 ^j	80,82 ± 0,19 ^{g, h}	56,47 ± 0,36 ^f
FCC FB+L Fin.	3,78 ± 0,04 ^q	17,99 ± 0,10 ^j	55,85 ± 0,38 ^{k, l}	50,12 ± 0,17 ^g

Nota: Resultados expressos em média ± desvio padrão; n=9 (3 replicatas para cada uma de 3 repetições independentes do processo de fermentação). Valores em uma mesma coluna seguidos de letras iguais não diferem entre si pela Análise de Variância (P≤0,05), seguido do teste de Tukey (P≤0,05). Legenda: ET: equivalente de trolox; EAG: equivalente de ácido gálico; EC: equivalente de catequina; FCC: folhas de cafeeiro provenientes de cultivo orgânico; F: fermentação controle; FB: fermentação com inóculo de BioRich®; L: fermentação

com inóculo de *Saccharomyces cerevisiae*; FB+L: Inóculo misto de BioRich® e *Saccharomyces cerevisiae*; Fin: processo finalizado com secagem a 50 °C/24 h.

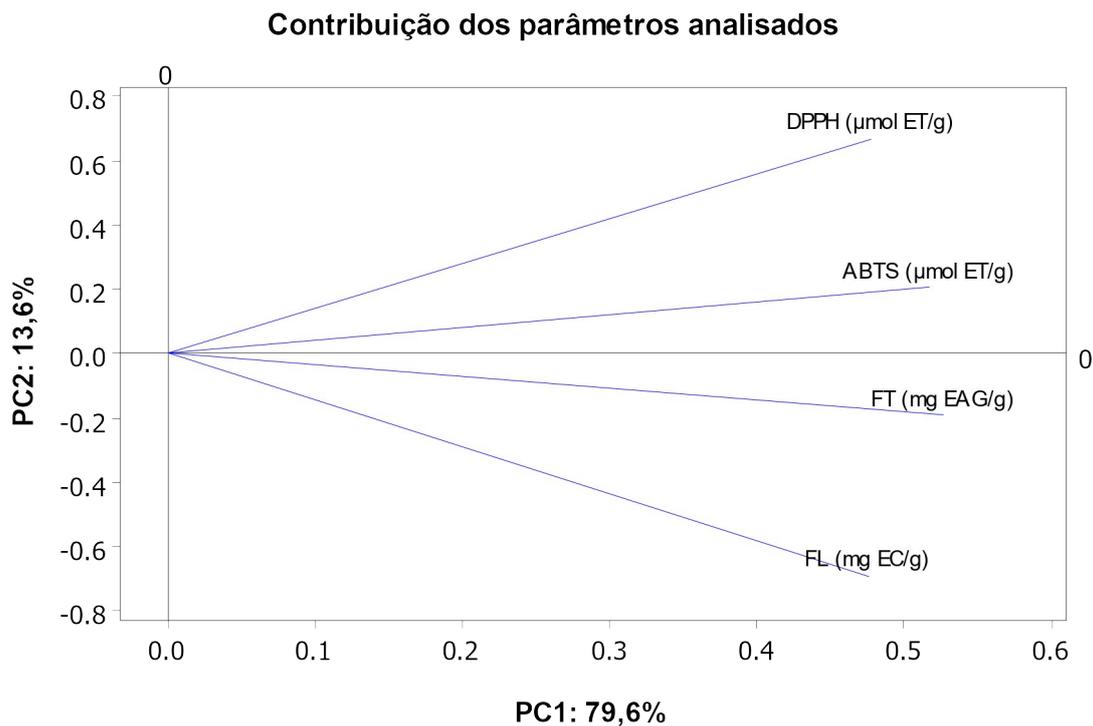


Figura S1 – Contribuição dos teores de flavonoides totais, fenólicos totais e potencial antioxidante (ABTS e DPPH) para a distribuição espacial e agrupamentos das folhas de café provenientes de cultivo orgânico. Leg.: PC: Componente principal.

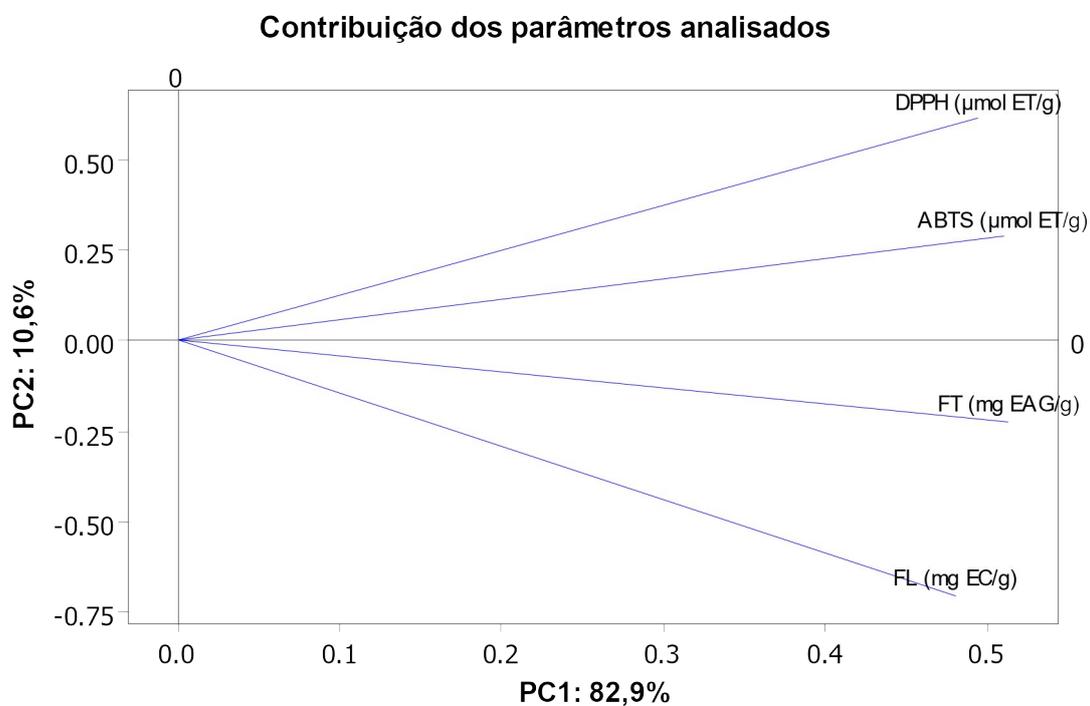


Figura S2 – Contribuição dos teores de flavonoides totais, fenólicos totais e potencial antioxidante (ABTS e DPPH) para a distribuição espacial e agrupamentos das folhas de café provenientes de cultivo convencional. Leg.: PC: Componente principal.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS

O envelhecimento é um caminho para a busca da longevidade e diferentes processos fisiológicos podem ser comprometidos por meio de influências ambientais, genéticas e alimentares o que torna importante conhecer as teorias que levam o corpo à perda de função bem como os meios nutricionais para conter os processos degenerativos. Paralelamente à individualidade do ser humano, influências externas sensoriais acompanham e moldam os comportamentos alimentares. Neste sentido, o marketing sensorial abarca diferentes possibilidades exploratórias que poderão favorecer hábitos saudáveis e sustentáveis tão necessários aos dias atuais. O foco na sustentabilidade de produtos com potenciais benefícios à saúde tem aumentado nos últimos tempos, especialmente relacionados aos produtos residuais de agroindústrias que pedem promover os pilares da sustentabilidade, social, ambiental e econômico.

Neste contexto, em Minas Gerais há uma importante fonte de resíduos a partir da desbrota de plantações de café, com potencial aplicação como matéria-prima para a formulação de novos produtos, geração de renda e benefícios à saúde, considerando cultivos orgânicos. Apesar de cultivos convencionais representarem a maior parte das plantações de café, os limites de resíduos superaram seus benefícios, tornando-se importante a obtenção de métodos analíticos para analisar e quantificar os resíduos. Sabendo-se que as pulverizações são planejadas em períodos específicos, considerar as estações chuvosas e os períodos de colheita das folhas pode ser uma forma de verificar e quantificar resíduos dentro dos limites aceitáveis.

Avaliar as possibilidades de se desenvolver chás de folhas de café, conhecidamente ricas em compostos bioativos benéficos à saúde torna-se interessante por constituir uma forma acessível de alimentação saudável. Os chás, preparados a partir da planta *Camellia sinensis*, são desenvolvidos por diferentes processamentos que conferem aromas e sabores especiais para além dos benefícios à saúde sendo extensamente estudados e apresentados na literatura. Neste contexto empregar técnicas de processamento semelhantes poderá agregar valor aos chás das folhas de café compondo estratégias para a nutrição saudável e divulgação por meio do marketing sensorial, viabilizando uma nova cultura

saudável e sustentável na região.

Além dos preparos tradicionais técnicas biotecnológicas podem acrescentar valores nutricionais às folhas por meio de fermentação com probióticos que podem complementar com a produção de novos compostos passíveis de serem extraídos na bebida. Ainda, como possibilidades futuras de estudos, podem ser utilizados como produtos para suplementação ou em bebidas frias agregando os componentes probióticos em situações de desequilíbrios gastrointestinais, tão comuns nos dias atuais.

REFERÊNCIAS GERAIS

ALFONSI, Waldenilza Monteiro Vital et al. Período de incubação da ferrugem do cafeeiro. **Summa Phytopathologica**, Brazil. v. 45, p. 134-140, 2019.

ARTÊNCIO M. M.; GIRALDI, J. M. E.; de OLIVEIRA, J.H.C. A cup of black coffeewith GI, please! Evidence of geographical indication influence on a coffee tasting experiment. **Physiology & Behavior**, Zurich, Switzerland. v.245, p. 113671, 2022.

ASSIS DE OLIVEIRA, A.; YURI COELHO, K.; NASSER BRUMANO, M. H.; CARDOSO FIDELIS, P. Efeito do tempo e da luz nos compostos fenólicos totais e na capacidade antioxidante de bebidas de chá mate e branco prontas para o consumo. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 18, n. 3, 2022.

BELAYNEH, A., BUSSA, N.F. Ethnomedicinal plants used to treat human ailments in the prehistoric place of Harla and Dengego valleys, eastern Ethiopia. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, California. v. 10, n. 18, 2014. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-18>.

BERČÍK, J.; NEOMÁNIOVÁ, K.; MRAVCOVÁ, A.; GÁLOVÁ, J. Review of the Potential of Consumer Neuroscience for Aroma Marketing and Its Importance in Various Segments of Services. **Applied Sciences**, Basel, Switzerland. v. 11, n. 16, p. 7636, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. **Sumário Executivo Café**, Brazil. Agosto, 2021, 12 p. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/informe_estatistico/Sumario_Cafe_agosto_2021.pdf. Acesso em: 02 nov. 2022.

CAMANDOLA, Simonetta, Natalie Plick, Mark P. Mattson. Impact of Coffee and Cacao Purine Metabolites on Neuroplasticity and Neurodegenerative Disease. **Neurochemical Research**, Switzerland. v. 44, n.1, p.214-227, 2018.

CAMPA, C., MONDOLOT, L., RAKOTONDRAVAO, A., BIDEL, L. P. R., GARGADENNEC, A., COUTURON, E., LA FISCA, P., RAKOTOMALA, J.J., JAY-ALLEMAND, C., DAVIS, A. P. A survey of mangiferin and hydroxycinnamic acid ester accumulation in coffee (*Coffea*) leaves: biological implications and uses. **Annals of Botany**, [s.l.]. v. 110, n. 3, 2012. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs119>.

CAMPA, C., PETITVALLET, A. Beneficial compounds from coffeeleaves. In **Achieving sustainable cultivation of coffee**, London. ed. P. Lashermes. Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2017.

CAO, Yunyun et al. Targeting mTOR Signaling by Dietary Polyphenols in Obesity Prevention. **Nutrients**, Basel. v. 14, n. 23, p. 5171, 2022.

CARNEIRO, F. F. et al. Segurança Alimentar e nutricional e saúde. Parte 1. In CARNEIRO, F. F. et al. (org.) **Dossiê ABRASCO**: um alerta sobre os impactos dos

agrotóxicos na saúde. Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão Popular, 2015. Disponível em: Acesso: 15 ago. 2017.

CETIN, Ahmet; GEÇIBESLER, Ibrahim Halil. Evaluation as antioxidant agents of 1, 2, 4-triazole derivatives: effects of essential functional groups. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, [s.l.]. v. 5, n. 6, p. 120-126, 2015.

CHARON, Mathilde; ROBIN, Diane; MARCHAND, Patrice A. The major interest for crop protection of agrochemical substances without maximum residue limit (MRL). **BASE**, [s.l.], 2019.

CHEN, Han *et al.* Fast-Evolving Human-Specific Neural Enhancers Are Associated with Aging-Related Diseases. **Cell Systems**, Maryland Heights, v. 6, n. 5, p.604-611, 2018.

CHEN, X. A review on coffee leaves: Phytochemicals, bioactivities and applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London. v. 59, n. 6, 2019. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1546667>.

CHRISTENSEN, K., G. Doblhammer, R. Rau, and J. W. Vaupel. Ageing populations: The challenges ahead. **The Lancet**, United Kingdom. v.374, n.9696, p. 1196–208, 2009. doi: 10.1016/S0140-6736(09)61460-4.

CONKOVA, Nina, et al. The Experience of Aging and Perceptions of “aging Well” among Older Migrants in the Netherlands. **The Gerontologist**, [S.I.], v. 60, n. 2, p.270–278, 2020.

CONÉJÉRO, G., NOIROT, M., TALAMOND, P., VERDEIL, J.L. . Spectral analysis combined with advanced linear unmixing allows for histolocalization of phenolics in leaves of coffee trees. **Frontiers in Plant Science**, China. v. 18; n. 5, 2014. doi: 10.3389/fpls.2014.00039.

CRUZ, L. De Ponto em Ponto: Histórias de Envelhecimento Ativo que encantam, **Universidade de Lisboa Instituto de Educação**, Portugal, 2020.

DALA-PAULA, B. M.; dos SANTOS, T. P.; ARAÚJO, L. de S.; BASTOS, R. R. S.; MORAES, J. de O.; CARBONERA, N. Domestic processing and storage on the physical-chemical characteristics of acerola juice (*Malpighia glabra* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Brazil. v. 43, n. e021519, pp. 1-8, 2019.

DONG, Z.; SINHA, R.; RICHIE JR, J. P. Disease prevention and delayed aging by dietary sulfur amino acid restriction: Translational implications. **Annals of the New York Academy of Sciences**, New York. v. 1418, n. 1, pp. 44–55, 2018. doi: 10.1111/nyas.13584.

DOURADO, C. S. et al. Adesão ao tratamento de idosos com hipertensão em uma unidade básica de saúde de João Pessoa, Estado da Paraíba. **Acta Scientiarum Health Sciences**. Maringá, 2011, v.33, n.1, p.9-17.

DURAZZO A, LUCARINI M, SOUTO EB, CICALA C, CAIAZZO E, IZZO AA, NOVELLINO E, SANTINI A. Polyphenols: A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health. **Phytotherapy Research**, Paramount, CA. v. 33, n.9, p.2221-2243, 2019.

EKMEKCIOGLU, C. Nutrition and longevity – From mechanisms to uncertainties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London. p. 1-20, 2019. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1676698>.

ESCOBAR, K. A.; COLE, N. H.; MERMIER, C. M.; van DUSSELDORP, T. A. Autophagy and aging: Maintaining the proteome through exercise and caloric restriction. **Aging Cell**, [s.l.]. v. 18, n. 1, e12876, 2019. doi:10.1111/ace1.12876.

FALK EB, BERKMAN ET, LIEBERMAN MD. From neural responses to population behavior: neural focus group predicts population-level media effects. **Psychological Science**, [s.l.]. v 23, n.5, p.439-45, 2012.

FEITOSA, Paula Ribeiro Buarque et al. Solid-state fermentation with *Aspergillus niger* for the bio-enrichment of bioactive compounds in *Moringa oleifera* (moringa) leaves. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Illinois, USA. v. 27, p. 101709, 2020.

FERNANDES, André Luís et al. Condução das podas do cafeeiro irrigado por gotejamento cultivado no cerrado de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, Brazil. v. 8, n. 15, 2012.

FINCH, Caleb, E.; CRIMMINS, Eileen, M. Inflammatory exposure and historical changes in human life-spans. **Science**, Washington, v. 305, n. 5691, p.1736-1739, 2004.

GOMES, Hiago de O. et al. A socio-environmental perspective on pesticide use and food production. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s.l.]. v. 197, p. 110627, 2020.

GOMES, Beatriz Saraiva. Resíduos de praguicidas em alimentos: **uma revisão**. Brazil, 2021.

GREEN, Sara; HILLERSDAL, Line. Aging biomarkers and the measurement of health and risk. **History and Philosophy of the Life Sciences**, [s.l.]. v. 43, p. 1-23, 2021.

HUANG, Yifeng et al. Development of simple identification models for our main catechins and caffeine in fresh green tea leaf based on visible and near-infrared spectroscopy. **Computers and Electronics In Agriculture**, [s.l.]. v. 173, p. 105388, 2020.

HUEBRA, Matheus Soti; TEIXEIRA, Débora Amorim; MOREIRA, Ana Paula Boroni. EPIGALOCATEQUINA-3-GALATO DO CHÁ VERDE EM MODELOS EXPERIMENTAIS DE DEMÊNCIA VASCULAR: UMA REVISÃO DE LITERATURA.

Revista Multidisciplinar em Saúde, Brazil. p. 209-223, 2022.

HUNT, L., KLEM, K., LHOTÁKOVÁ, Z., VOSOLSOBE, S., ORAVEC, M., URBAN, O., ŠPUNDA, V., ALBRECHTOVÁ, J. . Light and CO₂ Modulate the Accumulation and Localization of Phenolic Compounds in Barley Leaves. **Antioxidants**, Basel. Mar 5; v.10, n. 3, p 385, 2021. doi:10.3390/antiox10030385.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística divulga estimativa da população dos municípios para 2020. Brazil. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/28668-ibge-divulga-estimativa-da-populacao-dos-municipios-para-2020>> Acesso em: 20 de Maio de 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Projeção da População 2018: número de habitantes do país deverá parar de crescer em 2047. Rio de Janeiro: **IBGE**, Brazil, 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/21837-projecao-da-populacao-2018-numero-de-habitantes-do-pais-deve-parar-de-crescer-em-2047>>. Acesso em: 19 de Maio de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER (Brasil). Estômago. In: **INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER**, Brasil, 2021.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Trade Statistics Tables**, London, 2022. Disponível em: <https://www.ico.org/prices/po-production.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2022.

KYRIAZIS, Marios. Ageing Throughout History: The Evolution of Human Lifespan. **Journal of Molecular Evolution**, Switzerland. v. 88, n. 1, p.57-65, 2020.

LEE, Won Jun; ZHU, Bao Ting. Inhibition of DNA methylation by caffeic acid and chlorogenic acid, two common catechol-containing coffee polyphenols. **Carcinogenesis**, Oxford. v. 27, n. 2, p. 269-277, 2006.

LIU, Zhibin et al. The modulatory effect of infusions of green tea, oolong tea, and black tea on gut microbiota in high-fat-induced obese mice. **Food & Function**, [s.l]. v. 7, n. 12, p. 4869-4879, 2016.

LUCENA, Amália de Fátima et al. Modelo multidimensional de envelhecimento bem sucedido e terminologias de enfermagem: semelhanças para aplicação na prática clínica. **Revista Gaúcha de Enfermagem**, Porto Alegre. v. 41, p.1-9, 2020.

MADEO, Frank et al. Caloric restriction mimetics: towards a molecular definition. **Nature reviews Drug discovery**, California. v. 13, n. 10, p. 727-740, 2014.

MAGGI, F.; TANG, F. H. M.; BLACK, A. J.; MARKS, G. B.; McBRATNEY, A. The pesticide health risk index – An application to the world's countries. **Science of the Total Environment**, [s.l]. v. 801, n. 149731, pp. 1-10, 2021.

MALERBA, Stefano et al. A meta-analysis of prospective studies of coffee

consumption and mortality for all causes, cancers and cardiovascular diseases. **European Journal of Epidemiology**, [S.l.], v. 28, n. 7, p.527-39, 2013.

MARQUES, D. M.; BERNARDO, M. H. Marketing sensorial e a influência no comportamento do consumidor. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, Brazil. v. 11, n. 1, p. 178-199, 2021.

MARQUES, Raizza Zorman et al. Crop irrigation (soybean, bean, and corn) with enrofloxacin-contaminated water leads to yield reductions and antibiotic accumulation. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Plymouth, United Kingdom. v. 216, p. 112193, 2021.

MARTEL Jan, et al. Hormetic Effects of Phytochemicals on Health and Longevity. **Trends in Endocrinology and Metabolism**, Maryland Heights, v. 30, n. 6, p.335-346, 2019.

MARTINS, Ernesto Candeias. Educar a los adultos mayores en el área de la educación social: la intergeracionalidad en una sociedad para todas las edades. **Inter Ação**, Brazil. v. 40, n. 3, p. 661-680, 2015.

MARTINS, Samuel CV et al. In high-light-acclimated coffee plants the metabolic machinery is adjusted to avoid oxidative stress rather than to benefit from extra light enhancement in photosynthetic yield. **PLoS One**, USA. v. 9, n. 4, p. e94862, 2014.

MONTEIRO, Â., COLOMBAN, S., AZINHEIRA, H. G., GUERRA-GUIMARÃES, L., DO CÉU SILVA, M., NAVARINI, L., RESMINI, M. Dietary Antioxidants in Coffee Leaves: Impact of Botanical Origin and Maturity on Chlorogenic Acids and Xanthones. **Antioxidants**, Basel. v. 9, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.3390/antiox9010006>.

MORITZ, Bettina; TRAMONTE, Vera Lúcia Cardoso. Biodisponibilidade do licopeno. **Revista de Nutrição**, Brazil. v. 19, p. 265-273, 2006.

NEHRA, Monika et al. Emerging nanobiotechnology in agriculture for the management of pesticide residues. **Journal of Hazardous Materials**, [s.l.]. v. 401, p. 123369, 2021.

NGAMSUK, S., HUANG, T.C., HSU, J.L. Determination of Phenolic Compounds, Procyanidins, and Antioxidant Activity in Processed *Coffea arabica* L. Leaves. **Foods**, Basel, Switzerland. Sep 4; v. 8, n. 9, p.:389, 2019. doi: 10.3390/foods8090389.

NOUGADÉRE, A.; SIROT, V.; CRAVEDI, J.-P.; VASSEUR, P.; FEIDT, C.; FUSSELL, R. J.; HU, R.; LEBLANC, J.-C.; JEAN, J.; RIVIÈRE, G.; SARDA, X.; MERLO, M.; HULIN, M. Dietary exposure to pesticide residues and associated health risks in infants and young children – Results of the French infant total diet study. **Environment International**, [s.l.]. v. 137, n. 105529, 2020.

OFSTEHAGE, Andrew; NEHRING, Ryan. No-till agriculture and the deception of

sustainability in Brazil. **International Journal of Agricultural Sustainability**, London. v. 19, n. 3-4, p. 335-348, 2021.

OLSHANSKY, S. Jay. Aging Like Struldbruggs, Dorian Gray or Peter Pan. **Nature Aging**, California. v. 1, n. 7, p. 576-578, 2021.

PATAY, E. B., BENCSIK, T., PAPP, N. . Phytochemical overview and medicinal importance of Coffea species from the past until now. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, Hainan, China v.9, n.12, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2016.11.008>.

PATIL, Siddhi; VEDASHREE, M.; MURTHY, Pushpa S. Valorization of coffee leaves as a potential agri-food resource: bio-active compounds, applications and future prospective. **Planta**, Germany. v. 255, n. 3, p. 1-17, 2022.

PERISSÉ C, Marli M. Idosos indicam caminhos para uma melhor idade. **Revista Retratos**, Brazil. 19 de março de 2019. Available from: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/-agencia-de-noticias/noticias/24036-idosos-indicam-caminhos-para-uma-melhor-idade>

PICO, Yolanda; ALFARHAN, Ahmed H.; BARCELO, Damia. How recent innovations in gas chromatography-mass spectrometry have improved pesticide residue determination: An alternative technique to be in your radar. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, Ontario, Canada. v. 122, p. 115720, 2020.

PIGNOLO, R. J. Exceptional human longevity. **Mayo Clinic Proceedings**, [s.l]. 94 (1):110–24, 2019. doi: 10.1016/j.mayocp.2018.10.005.

QUEZADA-FERNÁNDEZ, Patricia et al. Effect of green tea extract on arterial stiffness, lipid profile and sRAGE in patients with type 2 diabetes mellitus: a randomised, double-blind, placebo-controlled trial. **International journal of food sciences and nutrition**, [s.l]. v. 70, n. 8, p. 977-985, 2019.

RATANAMARNO SUJITRA, SURBKAR SUNATE. Caffeine and catechins in fresh coffee leaf (*Coffea arabica*) and coffee leaf tea. **Maejo International Journal of Science and Technology**; Chiang Mai v. 11, Ed. 3, (Sep/Dec): 211-218, 2017.

RISTOW, Michael, ZARSE, Kim. How increased oxidative stress promotes longevity and metabolic health: The concept of mitochondrial hormesis (mitohormesis). **Experimental Gerontology**, Washington, v. 45, n. 6, p.410-408, 2010.

RÓDIO, Graziela Rodrigues; ROSSET, Isac George; BRANDALIZE, Ana Paula Carneiro. Exposição a agrotóxicos e suas consequências para a saúde humana. **Research, Society and Development**, Brazil. v. 10, n. 8, p. e43010817526-e43010817526, 2021.

ROSA, Maria João Valente (2020). Demographic Ageing in COVID-19 Phase. **Revista de Medicina Interna SPMI**, Portugal. PT <https://orcid.org/0000-0002->

5665-0358. DOI: 10.24950/rspmi/COVID19/M.Joao V.Rosa/

ROSS, I. A. Medicinal plants of the world. Chemical Constituents, Traditional and Modern Medicinal Uses. **Journal of Medicinal Chemistry**, Washington, DC. v.49, n. 13, p. 3998, 2005.

ROS, Manuel; CARRASCOSA José María. Current nutritional and pharmacological anti-aging interventions. **Biochimica et Biophysica Acta Molecular Basis of Disease**, [S.l.], v. 1866, n. 3, 2020.

SANAR. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Café: manejo de podas, desbrotas, irrigação e nutrição do cafeeiro**, Brazil, 2016.

SANTOS, J.C.F. Desbrota e poda do cafeeiro. **Revista cafeicultura**, Brazil, 2005. <https://revistacafeicultura.com.br/?mat=3686>

SILVA, Ayla Winnie Ramos; BIEGELMEYER, Renata. Curcuma longa L.(Zingiberaceae): desenvolvimento tecnológico para aplicação como agente terapêutico auxiliar no tratamento de pacientes portadores da Doença de Alzheimer. **Revista Fitos**, Brazil. v. 14, n. 2, p. 249-258, 2020.

SILVA, Lucas F. et al. POTENCIAL DOS FUNGICIDAS DO GRUPO DOS DITIOCARBIMATOS NO CONTROLE DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO. **X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Brazil, 2019.

SILVA Souza, N.R., Navickiene, S. Multiresidue determination of carbamate, organophosphate, neonicotinoid, and triazole pesticides in roasted coffee using ultrasonic solvent extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Journal of AOAC International**, Oxford. v. 102, pp. 33–37, 2019.

SPANN, Stephan J. e OTTINGER Mary Ann. Longevity, Metabolic Disease, and Community Health. **Progress in Molecular Biology and Translational Science**, Los Angeles. v. 155, p.1-9, 2018.

SWINBURN, B. A.; KRAAK, V. I.; ALLENDER, S.; ATKINS, V. J.; BAKER, P. I.; BOGARD, J. R.; DIETZ, W. H. The global syndemic of obesity, undernutrition, and climate change: the Lancet Commission report. **The lancet**, United kingdom. v. 393, n. 10173, p. 791-846, 2019.

TABUTI, J. R. S., C. B. KUKUNDA, P. J. WAAKO. Medicinal plants used by traditional medicine practitioners in the treatment of tuberculosis and related ailments in Uganda. **Journal of Ethnopharmacology**, [s.l.]. v. 127, n. 1, pp.130–136, 2010.

TORRES-LEÓN, C., Ramirez-Guzman, N., Ascacio-Valdes, J., Serna-Cock, L.,

dos Santos Correia, M.T., Contreras-Esquivel, J.C., Aguilar, C.N. Solid-state fermentation with *Aspergillus niger* to enhance the phenolic contents and antioxidative activity of Mexican mango seed: A promising source of natural antioxidants. **LWT - Food Science and Technology**, Georgia, USA. v. 112, 108236, 2019.

TRAN, D.; GOTO, D. Impacts of sustainability certification on farm income: Evidence of from small-scale specialty green tea farmers in Vietnam. **Food Policy**, [s.l.]. v. 83, pp. 70-82, 2019.

VAN Wyk, B.E. A review of commercially important African medicinal plants. **Journal of ethnopharmacology**, [s.l.]. v. 176, p. 118-134, 2015.

WILLETT, W.; ROCKSTRÖM, J.; LOKEN, B.; SPRINGMANN, M.; LANG, T.; VERMEULEN, S.; MURRAY, C. J. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. **The Lancet**, United Kingdom. v. 393, n. 10170, p. 447-492, 2019.

WILHELM, Thomas e RICHLY, Holger. Autophagy during ageing - from Dr Jekyll to Mr Hyde. **The FEBS Journal**, Dublin. v. 285, n. 13, p.2367-2376, 2018.

WILLIAMSON, Gary; DIONISI, Fabiola; RENOUF, Mathieu. Flavanols from green tea and phenolic acids from coffee: critical quantitative evaluation of the pharmacokinetic data in humans after consumption of single doses of beverages. **Molecular nutrition & food research**, [s.l.]. v. 55, n. 6, p. 864-873, 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. World reporto in ageing and health. **World Health Organization**. Switzerland, 2015. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/186463>.

WU, Haobo et al. Co-metabolic enhancement of 1H-1, 2, 4-triazole biodegradation through nitrification. **Bioresource technology**, Lucknow, India. v. 271, p. 236-243, 2019.

ŽAKOWSKA-BIEMANS, S.; PIENIAK, Z.; KOSTYRA, E.; GUTKOWSKA, K. Searching for a measure integrating sustainable and healthy eating behaviors. **Nutrients**, Basel. v. 11, n. 1, p. 95, 2019.

ZHAO, C.-N.; TANG, G.-Y.; CAO, S.-Y.; XU, X.-Y.; GAN, R.-Y.; LIU, Q.; MAO, Q.-Q.; SHANG, A.; LI, H.-B. Phenolic profiles and antioxidant activities of 30 tea infusions from green, black, oolong, white, yellow and dark teas. **Antioxidants**, Basel, Switzerland. v. 8, n. 215, 2019. <https://doi.org/10.3390/antiox8070215>.

ZHANG, Chenyu et al. Biochemical components and fungal community dynamics during the flowering process of Moringa-Fu brick tea, a novel microbially fermented blended tea **LWT - Food Science and Technology**, Georgia, USA. v. 140, p. 110822, 2021.

ANEXO A - TECNOLOGIA DE CHÁS

Publicado como capítulo de livro em: DALA-PAULA, B. M.; CLERICI, M. T. P. S. (Org.) Bioquímica e Tecnologia de Alimentos: Produtos de Origem Vegetal – Volume I, 1ª edição, Alfenas: Editora Universidade de Alfenas, 2022, 268 p.

Disponível em: <https://www.unifal-mg.edu.br/bibliotecas/wp-content/uploads/sites/125/2022/06/Bioquimica-e-tecnologia-de-alimentos-produtos-de-origem-vegetal.pdf>.

Kamila Leite Rodrigues & Bruno Martins Dala-Paula

O chá é uma bebida produzida a partir da planta *Camellia Sinensis*, ao contrário dos chás de ervas que são infusões de plantas que têm outras características, chamadas *tisanas*. Citações de infusões de outras plantas, deve-se seguir o nome da planta após a palavra chá, como por exemplo: chá de camomila, chá de alcaçuz, chá de lavanda, entre outros. O chá é a bebida mais consumida no mundo, depois da água e desempenha um papel significativo em muitos países, sendo mais que uma bebida, uma tradição milenar, única para cada cultura.

1 INTRODUÇÃO

Acredita-se que o chá tenha se originado no nordeste da Índia, norte de Mianmar (Birmânia) e sudoeste da China, mas o local exato onde a planta cresceu não é conhecido. Há evidências de que o chá foi consumido na China há cerca de 5.000 anos e, a história do chá, traz consigo lendas que são contadas sobre sua origem enfatizando as propriedades mágicas e a relação com personagens históricas de relevância (HASIMOTO, 2001; SHUAI et al., 2022).

O chá surgiu no ano de 2.737 a.C, de maneira acidental quando folhas de *Camellia sinensis* caíram em sua xícara com água quente fazendo com que o imperador Shen Nong se sentisse revigorado. A primeira referência documentada sobre o chá, com citações acerca de suas propriedades medicinais surgiu na dinastia Han (206 a.C.–220 d.C.), na China. Nesse período, monges budistas utilizavam o chá para se manterem acordados durante períodos de vigília.

O consumo de chá, durante a dinastia Tang (618–907), deixou as salas de meditação e conquistou a aristocracia e, por fim, se popularizou entre os chineses, representando um período de grande progresso no consumo e estudo sobre o chá. Essa expansão do chá teve forte influência de Lu Yu, autor do primeiro livro sobre o tema

chamado *The Classic of Tea*, onde foi descrito os ingredientes fundamentais para o preparo e degustação de um bom chá, desde a escolha do terreno para o plantio até a qualidade da água necessária à infusão (SILVA, 2014).

Durante a dinastia Song (960-1279), surgiu maior controle da produção do chá através do imperador, estabelecendo-se uma forma de classificação da qualidade das folhas além de reservar alguns tipos de chá para elite da sociedade. Nesse período surgiu um novo modo de processar as folhas, em que elas eram moídas até se tornarem um pó bem fino, o que conhecemos hoje como “Matcha”. Esse pó, quando misturado à água fervida, com auxílio de um batedor de bambu conduzia a um maior refinamento na apresentação e forma de consumo.

O novo processamento do chá, transformou os utensílios quando o imperador Huizong (1082-1135) ordenou que fossem criadas novas tigelas de cerâmica, mais elegantes e que aguentassem maiores temperaturas além de complementar a estética do vívido verde da espuma. Esse novo estilo de tigelas não só aumentou o prazer do consumo como a admiração pelo chá além do valor artístico dos objetos. Nesse período, surgiram muitas casas de chá com importância social, onde as pessoas podiam negociar, jogar, ouvir poesias e partilhar histórias.

Na dinastia Yuan (1271-1368), governada pelos mongóis, o processamento do chá escuro, que o tornava seu gosto mais forte a partir da prensagem com tijolo foi o mais difundido, além de aceitarem também o chá com as folhas soltas, mas desprezando o chá em pó que caiu em desuso.

Por meio de experimentações, os mongóis desenvolveram uma nova técnica para o processamento do chá. As folhas soltas eram colocadas em tachos e secas ao calor do fogo onde apresentavam-se menos ressecadas e menos queimadas, ficando esse processamento bem próximo da descoberta da técnica para produção do chá verde.

Entre o período de 1368–1644, na dinastia Ming, um dos primeiros e mais lógicos sistemas de identificação do chá foram desenvolvidos onde especialistas em chá o identificavam pela cor da bebida fabricada. Assim, eles usaram as designações de branco, amarelo, verde, azul, vermelho e preto para diferenciar as várias classes de chá. Com o tempo, alguns desses nomes mudaram, mas suas características não. Ainda nesse período, os segredos da oxidação foram descobertos. Como o chá era transportado em navios para outras regiões como Tibete e Mongólia e chegavam com características sensoriais alteradas, devido a fácil oxidação e fermentação que ocorria ao longo do trajeto, viu-se a necessidade de desenvolver um processamento adequado, a fim de garantir a estabilidade do produto. Apesar do chá preto ser visto como rude, adequado apenas aos bárbaros e estrangeiros, as condições de exportação para outras regiões foram aperfeiçoadas (HEISS; HEISS, 2007; GRACINDO, 2013; SILVA, 2014).

Sua difusão ao redor do mundo, iniciou-se apenas no século VI iniciando pelo Japão e, no século XVII, atingindo a Europa por meio de Portugal. No período das navegações exploratórias, os portugueses tiveram seu primeiro contato com a planta *Camellia sinensis* quando chegaram à China e, pelo interesse na bebida feita a partir da infusão das folhas, estabeleceram uma rota de comércio pelo porto de Macau, onde é possível notar a influência arquitetônica de Portugal. A partir de então, grande parte do continente europeu teve acesso ao chá. Nessa travessia de tempos, o chá se transformou de medicamento e tempero a uma sofisticada e desejada bebida com diversas propriedades funcionais que são estudadas e certificadas pela ciência até os dias atuais (HEISS; HEISS, 2007; GRACINDO, 2013).

Como elemento cultural, a tradição secular da Cerimônia do Chá surgiu por meio dos monges budistas como um caminho para a meditação. Na Inglaterra, o famoso Chá das Cinco foi introduzido em 1840 pela Duquesa de Bedford que, para combater a fome no meio da tarde, criou uma leve refeição acompanhada de chá. No Brasil, em 1810, algumas mudas de chá chegaram no porto da Bahia juntamente com mão de obra chinesa para implementação do plantio, colheita e processamento das folhas de *Camellia sinensis*. Tendo como destino final o Jardim Botânico do Rio de Janeiro, estudos e testes de adaptação da planta foram realizados sob a direção de Frei Leandro do Sacramento, que deixou uma obra intitulada Memória Econômica sobre a Plantação, Cultura e Preparação do Chá, publicada em 4 de junho de 1825.

Após a abolição da escravatura em 1888, houve perda de mão de obra para as etapas de produção do chá culminando em declínio da teicultura no Brasil. No entanto, em 1908, com a imigração japonesa no Brasil e permissão para cultivo de outras lavouras que não a de café, Torazo Okamoto reiniciou o cultivo de chá em São Paulo. Esse imigrante foi também responsável por implementar o cultivo da *Camellia sinensis* de variação indiana *assamica*, cujo tamanho e rendimento são maiores que a variação chinesa *sinensis*. Há época, era considerada ideal para produção do chá preto, que estava em ascensão no Brasil, a variação indiana *assamica*, sendo a variação chinesa *sinensis* produzida somente para o chá verde. Tal fato não se aplica mais pois ambas as variações são utilizadas em diferentes processamentos do chá (SACRAMENTO, 1825).

Para além da importância histórica e do profundo significado cultural e econômico do chá ao redor do mundo, a Assembleia Geral das Nações Unidas proclamou o dia 21 de maio como sendo o Dia Internacional do Chá contando com a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) como líder desse movimento. A celebração tem como objetivo promover a produção, consumo e comércio sustentáveis do chá oferecendo uma oportunidade para os produtores em nível global, nacional e regional

garantirem que o setor do chá continue atuando em prol do desenvolvimento e redução da pobreza extrema, combate à fome e proteção de recursos naturais (FAO, 2022).

A produção e o processamento de chá são a principal fonte de subsistência de milhões de famílias, principalmente nos países em desenvolvimento, bem como fonte de manutenção da saúde. A **Figura 2** apresenta a produção de chá preto pelos principais países produtores, com destaque para Índia, Quênia, China, Turquia e Sri Lanka.

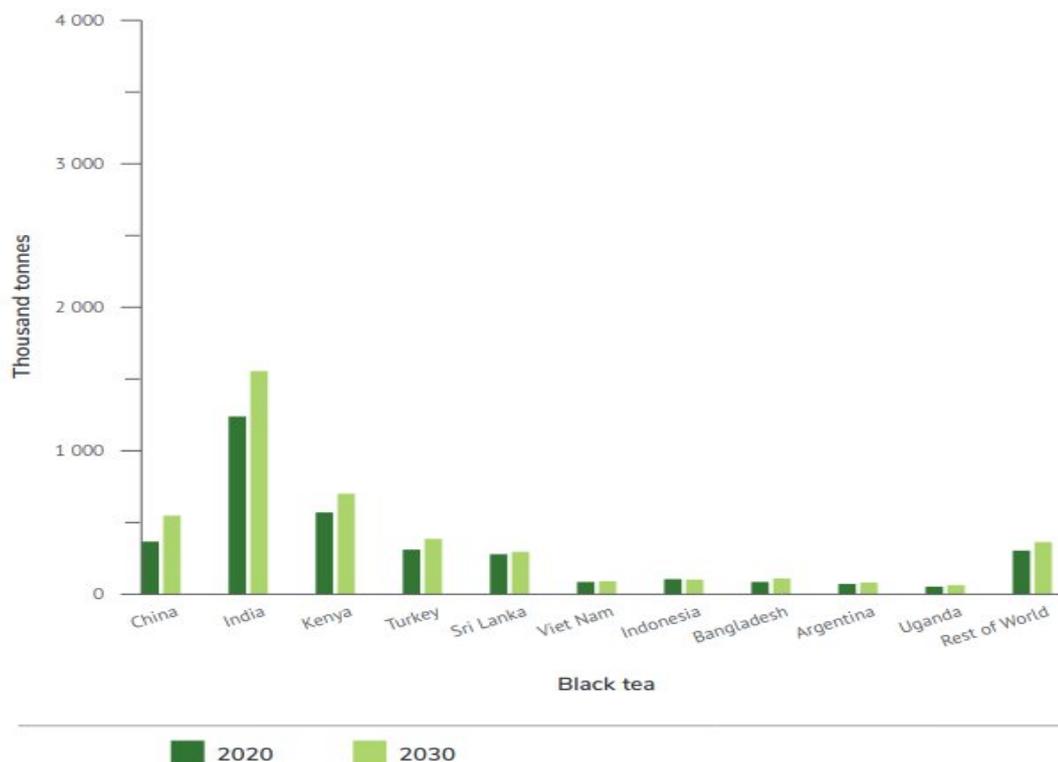


Figura 2 – Produção de chá pelos principais países produtores.

Fonte: FAO/EST (2022).

A FAO reconhece quatro locais como Sistemas de Patrimônio Agrícola Globalmente Importantes (GIAHS) que combinam patrimônio e sustentabilidade no cultivo de chá; 1) Pu'er Traditional Tea Agrosystem na China; 2) Traditional Tea-Grass System em Shizuoka, Japão; 3) Fuzhou Jasmine System na China; 4) Traditional Hadong Tea Agrosystem na Coreia do Sul.

Novas oportunidades de renda e melhora da segurança alimentar nos países produtores de chá são esperadas, de acordo com o relatório da FAO (2022b). Há previsão de que o consumo e a produção global de chá continuem aumentando ao longo da próxima década, impulsionados pela alta demanda em países emergentes (**Figura 3**).

O relatório da FAO sugere que o aumento do consumo de chá tenha sido impulsionado também pela maior conscientização a respeito dos efeitos benéficos à saúde,

como os efeitos anti-inflamatórios, antioxidantes e no auxílio à perda de peso corpóreo. Os benefícios de saúde e bem-estar são apontados como os principais fatores de crescimento do consumo nas próximas décadas.

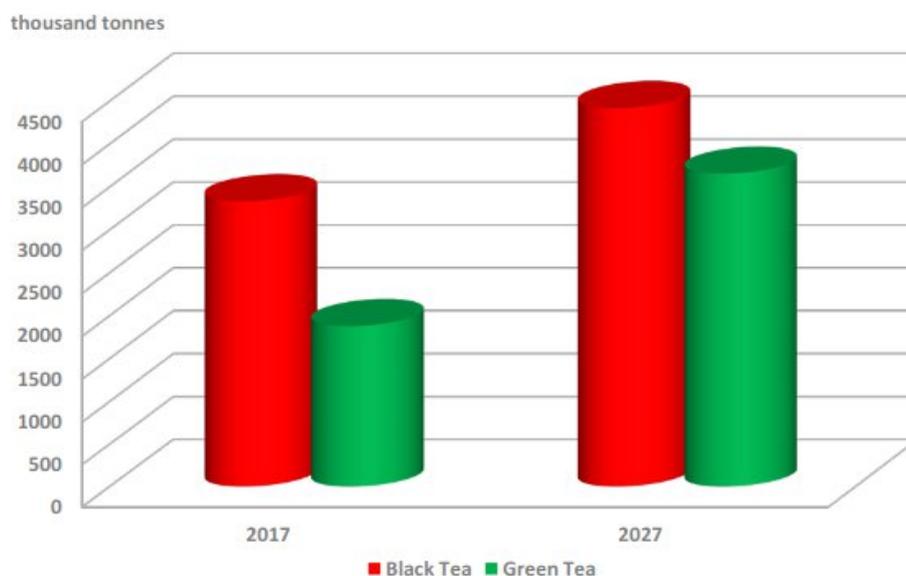


Figura 3 – Produção atual e projetada para os chás preto e verde.

Fonte: FAO IGG/Tea Secretaria (2018).

A promoção dos benefícios do chá como estratégia de venda se torna eficaz em diversos mercados, juntamente com o crescente investimento em educação sobre o chá. Assim, a chegada de novos clientes com interesse em conhecer mais sobre o chá, onde é obtido, os benefícios do consumo e a forma adequada de prepará-lo. O aumento do consumo de chá de folhas soltas nos Estados Unidos, por exemplo, é resultado da maior conscientização da saúde pública (FAO, 2022).

Para além do consumo tradicional, há uma crescente demanda global por produtos modernos para jovens consumidores urbanos, principalmente na China e Índia. Chás especiais, qualidade *gourmet*, processamentos diferenciados e a forma de produção em geral; qualidade, origem e contribuição para o desenvolvimento sustentável bem como o consumo em ambientes sofisticados de casas de chás especiais, restaurantes, hotéis e cafés são os atrativos para essa nova classe de consumidores (FAO, 2018).

Neste contexto de elevada demanda, o setor de varejo atende às novas preferências por meio de uma variedade de chás com diferentes origens, sabores diferenciados com combinações inusitadas e variedades personalizadas. Formas mais rápidas do preparo do chá são oferecidas por *gadgets* de consumo e embalagens como alternativas ao saquinho tradicional; chás instantâneos, cápsulas para máquinas de café,

chás experimentais e novos sabores. Assim, promover o desenvolvimento do mercado como base na cultura do chá bem como na identidade cultural das sociedades ao redor do mundo se torna uma das estratégias para sustentar e expandir o seu consumo.

Entretanto, a produção de chá é sensível a mudanças nas condições de cultivo tendo as alterações climáticas como uma forte preocupação sobre seu impacto nas plantações, qualidade e rendimento dos produtos. Paralelamente, há um crescente reconhecimento das necessidades das empresas produtoras em mitigar as mudanças climáticas por meio da redução das emissões de carbono ao longo da cadeia produtiva, do plantio ao processamento do chá (FAO, 2018). Neste sentido, as questões de sustentabilidade em toda a cadeia de chá são norteadoras para a sua manutenção pelas próximas décadas, abrangendo as dimensões da sustentabilidade econômica, ambiental e social.

Sobre a sustentabilidade econômica, questões interconectadas tais como um excesso de oferta, preços baixos, falta de transparência em leilões, baixos salários e baixa demanda por produtos certificados faz com que o chá vendido no mercado convencional e os produtores não recebam prêmios, apesar de terem investido na certificação de sustentabilidade. Essa discrepância entre a oferta e a demanda por chá certificado é geralmente percebida como uma barreira ao aumento da renda agrícola. Aproximadamente 85% do chá é vendido por multinacionais sendo um quinto controlado por apenas três delas, ficando, os preços do chá, muito baixos.

Sobre a sustentabilidade social, as principais questões do setor são a escassez de mão de obra, por um crescente desinteresse dos jovens pela plantação de chá e uma força de trabalho envelhecida. Além disso, outros fatores distanciam da sustentabilidade da produção, como as condições inadequadas de trabalho e de qualidade de vida nas áreas rurais, baixos salários, longas jornadas de trabalho, exposição a pesticidas e equipamentos de proteção individual insuficientes, além de contratos vulneráveis ou inexistentes. A discriminação, com relatos contra comunidades, migrantes e, em particular, a desigualdade de gênero, reforça a designação das mulheres ao trabalho de campo físico e árduo, muitas vezes, com menos recursos como terra e financiamentos, enquanto os homens atuam em funções de supervisão e gestão (MWANGI et al., 2021).

Sobre a sustentabilidade ambiental, a produção de chá apresenta diversos problemas tais como desmatamento, plantações em áreas de alta biodiversidade associadas à destruição de florestas tropicais. Durante o processo de secagem das folhas, pode-se necessitar de um hectare de madeira para cada três hectares de chá. Elevada erosão e diminuição da fertilidade do solo devido às monoculturas, cultivo em terrenos inclinados e remoção de florestas. Ainda, o uso de agroquímicos e fertilizantes, comum nas plantações de chá, apresentam implicações sociais e ambientais.

Considerando toda a produção de chá, levando em conta a manutenção da cultura, desenvolvimento de novos produtos que atendam as demandas atuais bem como as questões ligadas a sustentabilidade, o processamento torna-se um ponto em comum para abarcar as diferentes necessidades e problemas da cadeia produtiva. Tal fato se refere a importância das diferentes propriedades desenvolvidas e transformadas nas folhas a partir das tecnologias do chá (MONGALE et al., 2020; MWANGI et al, 2021).

2 PLANTA DE CHÁ

A planta de chá, *Camellia sinensis*, **Figura 4**, pertence à família botânica *Theaceae*, sendo catalogada inicialmente pelo botânico sueco Carl Von Lineé no século XVII como *Thea sinensis*.



Figura 4 – *Camellia sinensis*, ramo de folhas verdes com flores.

Fonte: <https://www.publicdomainpictures.net/pt/view-image.php?image=409297&picture=tea-plant-vintage-art>

O gênero *Camellia*, posteriormente aplicado pelo botânico Robert Sweet, possui mais de 250 variedades diferentes. No entanto, tem sua origem geográfica como determinante de suas subespécies utilizadas para produção de chá; (i) *Camellia sinensis* originária do Sul da China, possui folhas pequenas, adaptada ao clima frio e úmido, em altitudes mais elevadas, geralmente cultivada em regiões montanhosas da China, Taiwan e Japão. (ii) *Camellia assamica* proveniente do Norte da Índia, província de Assam, possui folhas de até 20 centímetros, adaptada a regiões tropicais, geralmente cultivada na Índia, Sri Lanka e Quênia (JUNEJA, 2013).

A planta de chá é uma árvore que pode chegar até 30 metros de altura quando livre na natureza, entretanto, nas plantações, não ultrapassam 1,5 metro devido as frequentes podas. Produz folhas verdes que podem variar do tom claro ao escuro com tamanhos de 1 a 20 centímetros, como na variedade *assamica*. Embora raras, a planta produz flores brancas (**Figura 4**), reprodutoras de sementes que, devido às colheitas dos brotos e folhas novas, não apresentam florada, tendo o arbusto um rendimento de até 5 colheitas ao ano.

O cultivo da *Camellia sinensis* necessita de cuidados especiais para produção de folhas e brotos de alta qualidade para os chás. Assim, a maioria das colheitas são manuais e uma pequena parcela das plantações são automatizadas. A qualidade da bebida está diretamente relacionada à colheita que deve ser realizada no horário de maior iluminação e calor, período de maior atividade fisiológica e maior quantidade de fitoquímicos na planta (JUNEJA, 2013). Ainda, é importante destacar que diferentes tipos de chá requerem especificidades da colheita das folhas, sendo um broto e duas ou três folhas enquanto outros, com maior qualidade, um broto e uma folha apenas.

Alguns chás verdes de alta qualidade, como o matcha, são produzidos a partir de folhas de chá cultivadas sob 90% de sombreamento por 2 semanas e 50% de sombreamento por 1 a 2 semanas antes de serem colhidas, o que desempenhará papel fundamental nas características do chá (CHI et al., 2009). A partir da *Camellia sinensis*, variações *sinensis* e *assamica*, são produzidos 6 tipos de chás: branco, amarelo, verde, oolong, preto e escuro, tendo o processamento das folhas o maior impacto nas características sensoriais e de saúde.

3 PROCESSAMENTO DAS FOLHAS DE CHÁ

A obtenção dos diferentes tipos de chás é determinada por meio dos processamentos das folhas e suas diferentes etapas, resumidas na **Figura 5**.



Figura 5 – Etapas do processamento primário de chá em seis diferentes tipos.

Leg.: *Na tecnologia de chás o termo fermentação é comumente utilizado para se referir ao processo de oxidação enzimática, embora ocorra no chá escuro, conferindo sua marca principal. ¹folhas mais alongada (semelhantes a fios finos/penugem); ^{3,4,5}Apesar de serem mencionados na literatura como chás parcialmente fermentados (BORTOLONI et al., 2021; WANG et al., 2019; WU et al., 2012), esta etapa não acontece, com exceção do chá amarelo que a depender das condições do processo de amarelamento, pode apresentar leve fermentação (WEI et al., 2022); ²considerado um chá não oxidado; ⁵Chá completamente oxidado durante o processo de enrolamento pelas enzimas endógenas da planta; ⁶fermentação ocorre simultânea a etapa de oxidação e pós-fermentação na etapa de envelhecimento.

Nota: Na literatura científica existem diferenças na ordem de realização, condições e etapas do processamento de cada tipo de chá (WANG et al., 2019).

Fonte: Modificado de Chi et al. (2009); Bortolini et al. (2021). Imagens disponíveis em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maofeng_green_tea.jpg; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meepitiya-White_tea-Silver_Tips.jpg; https://teapedia.org/en/Yellow_tea; <https://www.curioustea.com/tea-pu-erh/liu-bao-hei-cha/>; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Qi_Lan_Oolong_tea_leaf.jpg; <https://pixabay.com/photos/black-tea-tea-aroma-1649000/>

Antes de se abordar acerca dos diferentes tipos ou estilos de chá, é primeiramente necessário entender que todo processamento de chá tem etapas em comum: **(i) colheita; (ii) transporte; (iii) seleção; (iv) lavagem (higienização); (v) secagem (ao natural ou com ventiladores); (vi) murchamento/secagem primária.** A partir desta etapa, são realizados **(vii) processamentos específicos para os diferentes tipos de chá**, sendo algumas etapas comuns aos diferentes tipos de chás, porém, em momento ou com parâmetros distintos; **(viii) secagem final; (ix) avaliação/amostragem/padronização e; (x) embalagem.** O processo central é o item (vii), que difere e determina a classe à qual o chá finalizado pertence. Existem muitas variações nos parâmetros e na forma em que as etapas do item (vii) são realizadas, sendo encontradas significativas diferenças na literatura científica (BORTOLONI et al., 2021; SATO; IKEDA; KINOSHITA, 2007; WANG et al., 2019; WEI et al., 2022). Além disso, existem inúmeros outros fatores relacionados às condições edafoclimáticas, com as características do clima e solo da região, cultivar da planta e colheita (período do dia, clima, estação e técnica) que interferem nas características sensoriais e funcionais finais do chá. A experiência do mestre de chá ao longo de todo o processamento, também é relevante para a qualidade do produto. Assim, é possível manter uma consistência na fabricação do chá em cada área produtora, mas com particularidades entre os produtores, devido às questões mencionadas anteriormente (HEISS, HEISS, 2007; CHI et al., 2009).

As folhas frescas (e para alguns tipos de chá, mais especificamente são colhidas duas folhas novas e um broto da *Camellia sinensis*, que crescem no topo da planta com período médio de 7 e 15 dias para sua renovação), logo após a **colheita** são **transportadas** de diferentes formas como em cestos de mão, lombo de burro, caçamba, bicicleta, moto, jipe, barco e caminhão. As diferentes condições de transporte interferem na integridade das folhas e, conseqüentemente, em seu teor de umidade e nos níveis de oxidação enzimática. A contenção das folhas, durante o transporte para o local de processamento, deve permitir boa circulação de ar e baixa compressão, pois se inicia nesse momento, inevitavelmente, a etapa de **murchamento**, em que há redução da umidade das folhas.

Uma vez na unidade de processamento, as folhas são **selecionadas e lavadas**, com o objetivo de remover detritos, pedaços de galhos, folhas danificadas por animais ou micro-organismos, plantas estranhas, outras partes da planta diferentes das folhas e demais contaminantes físicos, como poeira, terra etc. A manutenção da uniformidade das folhas bem como a padronização dos lotes é fundamental para a qualidade final da bebida. Considerando o tipo de chá que se deseja produzir, é extremamente recomendado a **higienização** (lavagem + sanitização) das folhas, ao invés de apenas realizar a lavagem, como é tradicionalmente realizado em muitas unidades de fabricação de chá. No entanto,

caso a produção de chá seja realizada no Brasil, deve-se atentar para a escolha de um saneante autorizado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que não interfira significativamente nas características sensoriais e funcionais do produto final.

Na sequência as folhas são **secas** para eliminar o excesso de água, podendo ser mantidas ao ambiente ou expostas em ventilação para acelerar o processo, finalizando esta etapa (**murchamento/ secagem primária**) a critério do mestre de chá. Essa etapa é necessária para reduzir o conteúdo de água das folhas frescas até a faixa de 65-75%, conferindo leveza e maleabilidade; aumentando a proporção de aminoácidos livres em relação aos polifenóis (que iniciaram o processo de oxidação pelas enzimas endógenas dos grupos polifenoloxidase e peroxidase) e iniciando a modificação das características sensoriais dos chás, como sabor, aroma e gosto (BORTOLONI et al., 2021; WANG et al., 2020; YI et al., 2015; ZHU et al., 2020). Na presença de oxigênio, as enzimas do grupo polifenoloxidase, catalisam a hidroxilação de monofenóis, formando *o*-difenóis que são oxidados gerando *o*-quinonas e pigmentos escuros chamados de melanoidinas (BORTOLONI et al., 2021). A ocorrência desta reação de oxidação em diferentes graus, podendo ser favorecida ou inibida por outras etapas envolvidas no beneficiamento da planta chá, são responsáveis pelas características sensoriais e químicas de cada tipos de chá.

Nas unidades de produção, o murchamento pode ser realizado em diferentes condições e subetapas:

- as folhas podem ser espalhadas em tecidos e mantidos a temperatura ambiente ou levemente aquecida, com a possibilidade de serem expostas ou não à luz solar (FARMER LEAF, 2021);
- alguns autores consideram a ocorrência desta etapa apenas durante a colheita e transporte, passando para a etapa de higienização e fixação, quando na unidade de produção (WANG et al., 2019);
- podem ser espalhadas em tecidos, estendidos no piso de salas dotadas de tetos de vidro (ou outra forma de abertura), para permitir a entrada da luz solar entre 15 e 25 minutos, sendo reviradas constantemente, encaminhadas para grandes peneiras de bambu por 6 a 8 horas, sendo reviradas a cada 2 horas, por exemplo e, na sequência transferidas para grandes tambores de palha ou bambu rotatórios, permeáveis ao oxigênio que misturam as folhas e promovem a leve ruptura do tecido vegetal (SCIENCE CHANNEL, 2021), dentre outras formas.

A partir deste ponto, a folha fresca tomará diferentes caminhos na rota que a transformará em seu produto acabado e que, compartilhará novamente a semelhança no processo ao ponto da secagem final, sendo uma etapa muito importante pois, se não for

finalizado corretamente poderá comprometer todo o trabalho feito nas etapas anteriores. Um acabamento inadequado traduz-se por umidade mais elevada, permitindo assim maior atividade de água nas folhas e a presença de fermentação, conferindo *off-flavors*, odor desagradável, como de mofo, além de sabor desagradável.

Finalizada a etapa de murchamento/secagem primária, segue a apresentação com mais riqueza de detalhes acerca das seis classes de chás, priorizando as etapas centrais do processamento [comuns em diferentes unidades de fabricação de chás - item (vii)] que determinam a classe à qual o chá finalizado pertence. Os tipos de chá podem ser visualizados na **Figura 6**.



Figura 6 – Folhas de *Camelia sinensis* processadas em seis tipos tradicionais de chás.
Fonte: Zhu *et al.* (2020)

3.1 Chá Branco

A lenda sobre o chá branco conta que na época dos primeiros imperadores chineses, apenas as virgens usando luvas de seda branca podiam arrancar os botões que se tornariam chá branco. O chá branco é nomeado de agulha de prata por suas características únicas, referentes a cor branca com penugem que o torna prateado e sua forma alongada e fina como agulha.

Para o processamento do chá branco original, na província de Fujian, na costa leste da China, os botões são colhidos antes que tenham a chance de se transformar em folhas. As plantas de chá cultivadas especialmente para esse tipo apresentam um terroir específico, com produção pequena. Entretanto, uma pequena quantidade de chá branco processada de forma tradicional com botões é produzida na província de Anhui e nas regiões de cultivo de chá de Assam, Darjeeling, Nilgiri e Sri Lanka no sul da Ásia. Muitos produtores de chá consideram o chá branco como um processo de fabricação e não como um produto único que é a soma total de terroir, história e experiência (HEISS, HEISS, 2007; GRACINDO, 2013).

Os botões de chá branco são sombreados durante as últimas três semanas antes da colheita. Esses brotos são secos em pavilhões, sendo uma área sombreada e com boa

circulação de ar. Esta técnica evita o desenvolvimento da clorofila pela exposição ao sol e permite que o chá fresco seque rapidamente sem a necessidade de aplicação externa de calor. Como essas variáveis são difíceis de combinar, a produção limitada de chá branco genuíno Fujian tem um preço alto a cada ano.

Geralmente o chá branco é processado com apenas duas etapas, murchamento e **secagem** sendo que ambas as etapas podem acontecer simultaneamente, a exemplo da secagem ao Sol. O método de fabricação mais antigo é a secagem ao Sol, sendo atualmente encontrados diferentes processos como a secagem em tanques com ventilação levemente aquecida (cerca de 40 °C), em telas de bambu ou de palha em temperatura ambiente ou em estufas (BORTOLONI et al., 2021; WANG et al., 2019).

O processamento do chá branco não envolve etapa de fixação (semelhante a um processo de branqueamento a vapor ou cocção direta em panela aquecida), para inativação enzimática após o murchamento, responsável por mais uma ligeira oxidação, entre 8% e 16%, diferindo por exemplo, do processamento do chá verde onde se realiza a etapa de fixação. A depender do período de espera entre as etapas de murchamento e secagem e das condições da secagem, o chá branco pode preservar expressivo conteúdo de fenólicos (BORTOLINI et al., 2021). Com um sabor mais leve e adocicado após o processamento, o chá branco é mais próximo das folhas de chá frescas do que o chá verde, sendo muito diferente das outras variedades de chá (DIAS et al., 2013).

Contudo, Wang et al. (2019) encontraram conteúdo total de catequinas no chá branco, significativamente inferior ao chá verde e amarelo, similar ao conteúdo reduzido encontrado nos chás oolong e escuro. Os menores teores de catequinas foram observados no chá preto. No entanto, é importante destacar que os autores não realizaram a etapa de secagem no chá branco, o que contribui para maiores teores de umidade nas folhas e diluição das catequinas e demais fenólicos, quando comparado aos chás que foram secos.

O chá branco pode ser fabricado na primavera, verão e outono, mas não no inverno. O chá branco de primavera tem qualidade *premium*, o de outono é o segundo e o de verão possui o grau mais baixo de classificação (HEISS, HEISS, 2007).

3.2 Chá Verde

A complexidade, variedade e singularidade do chá verde não tem limites e, cada vez mais, há novas opções de chá verde no mercado. Assim, a melhor maneira de aprender sobre o chá verde é o degustando. Muitas vezes, pode não ser agradável ao paladar pois, seu primeiro gosto pode vir de chá verde de baixa qualidade, infundido a uma temperatura muito elevada ou mantido por muito tempo em infusão. Na China, o chá verde pode ser classificado com base na estação de crescimento, sendo que aqueles de crescimento no verão e outono apresentam forte adstringência e amargor, quando

comparado ao chá de primavera. Essas diferenças são determinantes para a maior venda do chá na primavera, podendo acarretar desperdício do chá e seus recursos em outras estações (WEI et al., 2022).

As características de amargor e adstringência são relacionadas ao conteúdo de cafeína, catequinas e glicosídeos flavonoides, com a cafeína e o galato de epigallocatequina potencializando o amargor e a adstringência (HEISS, HEISS, 2007; YIN et al., 2014; ZHANG et al., 2020). A epigallocatequina-3-galato (EGCG), da classe das catequinas, encontra-se em maior abundância no chá verde, representando cerca de 50 a 90% do total de catequinas no chá (BORTOLINI et al., 2021; YIN et al., 2014).

Neste sentido, há a possibilidade de se buscar o chá verde que melhor agrade o paladar. Os mestres de chá o produzem de diferentes maneiras e, portanto, as descrições sobre o processamento do chá verde se referem ao chá de alta qualidade, feito em folha, não em sachê, que muitas vezes são produzidos com a parte descartada na etapa de classificação das folhas ou por chás de baixa qualidade.

Após a etapa de murchamento (realizada com especificidades em cada unidade produtora), é realizada a etapa de **fixação** (MIYAZAKI, 2008; PAGANINI-COSTA; CARVALHODA-SILVA, 2011), com função semelhante ao branqueamento aplicado em frutas e hortaliças. A fixação pode ser realizada por vapor aquecido (cerca de 220 °C/ 30 min) (WANG et al., 2019); imersão em água quente (menos comum já que ocasiona a lixiviação de compostos hidrossolúveis), além da utilização do aquecimento direto em panela, tachos ou tanques.

A fixação tem função de inativar as enzimas polifenoloxidase, peroxidases, a fim de estabilizar as alterações no conteúdo de compostos fenólicos e de outras enzimas com atuação na clorofila e em outros atributos sensoriais da folha (CHI et al., 2009; JUNEJA, 2013; PHUOC et al., 2020). Esse processamento, quando bem executado, mantém seus constituintes dentro de suas estruturas celulares contribuindo para o sabor, a adstringência e otimiza os efeitos funcionais atribuídos aos polifenóis e catequinas do chá, além de preservar sua cor verde. De acordo com as formas de fixação, o chá verde é subdividido em chá verde cozido no vapor, produzido e consumido principalmente no Japão e chá verde frito, produzido principalmente na China e exportado para o mundo.

Quando as folhas fixadas ficam amolecidas, devido a ação do vapor aquecido ou cozimento, são encaminhadas para o **enrolamento** em máquinas de rolo que trabalham em movimentos rotatórios contrários. Essa etapa é necessária para gerar leves rupturas nas estruturas celulares das folhas, além de moldar suas formas, deixando-as retorcidas e encaracoladas. O objetivo dessa etapa é auxiliar na modulação da liberação de compostos ativos para o sabor e aroma durante a infusão (JUNEJA, 2013).

Em seguida, as folhas são encaminhadas para **secagem** final em estufas elétricas, a carvão ou a gás. Essa etapa é fundamental para ajustar o teor de umidade que deve ser inferior a 6%, garantindo qualidade ao chá, já que as folhas com elevada umidade, podem apresentar elevada atividade de água e favorecer o desenvolvimento microbiológico. Além disso, o conteúdo de fitoquímicos se torna menos concentrado, comprometendo a qualidade sensorial, que reflete na baixa aceitação geral pelos consumidores. As diferenças no perfil sensorial dos chás verdes são decorrentes de variações do processamento das folhas conforme apresentado na **Figura 7**.



Facilitando o entendimento!

Para visualizar o cultivo, colheita e etapas do processamento da *Camelia sinensis* no Brasil, assista ao vídeo: “Colheita de chá verde”, publicado em 2015 no canal “Negócios da Terra”. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=oj30EY3rg_8.



O vídeo intitulado: “*How it's made: Tea*”, publicado em 2021 pelo canal “Science Channel” apresenta as etapas de produção do chá verde na Tailândia. O vídeo é narrado em inglês, com a possibilidade de ativação da legenda, no mesmo idioma. O processamento demonstrado, considera um curto período de exposição das folhas às condições ambientais, seguido de etapa de “desrupção”, que favorecerá o contato do oxigênio às folhas. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Yx8EmMuMjgM>





Figura 7 – Diferenças nas etapas do processamento do chá verde apresentando perfis sensorial distintos.

Leg.: ¹Chá com frescor e suave gosto umami; ²Chá verde de alta qualidade e menos amargo, com gosto umami predominante; ³Chá de coloração verde brilhante e combinação de amargor típico com gosto umami; ⁴Chá verde comum, com amargor típico; ⁵Chá de coloração marrom clara a vermelho, com sabor de torrado; ⁶Chá ligeiramente amargo, com gosto doce e sabor levemente de torrado.

Fonte: Adaptado de Chi et al. (2009). Figuras disponíveis em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Matcha_Green_Tea_Latte_\(35487991553\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Matcha_Green_Tea_Latte_(35487991553).jpg); https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2017_Kagoshima_sencha_-_second_infusion.jpg; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Green_tea_kabusecha.jpg; <https://www.flickr.com/photos/deep-resonance/39781366892/>; <https://pxhere.com/en/photo/1553579>; https://www.flickr.com/photos/kiri_no_hana/8553624681/in/photostream/

3.3 Chá Amarelo

O chá amarelo, desde a antiguidade até os dias atuais, é conhecido como um dos mais raros e ganhou popularidade nos últimos anos devido ao seu sabor agradável e suave além dos conhecidos benefícios para a saúde. Ele é produzido em pequena quantidade por apresentar um trabalho extra envolvido e em poucas localidades na China, como em Huangshan, que significa Montanha Amarela. Tem muito em comum com os chás verdes colhidos no início da primavera onde apresentam maior frescor. É produzido a partir dos brotos de primavera e processados de forma semelhante ao chá verde até o ponto da fixação.

Após a **secagem inicial a fixação** é um procedimento importante no processamento do chá amarelo, que ajuda a reduzir a atividade enzimática, mas que pode promover transformações químicas como a autooxidação e isomerização de polifenóis; a hidroxilação parcial do amido em açúcares simples; a decomposição parcial de proteínas em aminoácidos e; a oxidação e degradação da clorofila. Ainda, auxilia na evaporação da água e reduz o sabor adstringente. Desempenha um papel importante na mudança e na qualidade dos produtos de chá amarelo (HEISS, HEISS, 2007; ZHU *et al.*, 2020).

Comparado ao chá verde, os chás amarelos utilizam mais folhas frescas, temperatura mais baixa e maior tempo para o processo de fixação. Dessa forma, o binômio “tempo x temperatura” deve ser adequadamente estabelecido e implementado para no processamento deste chá, para inativar completamente a atividade enzimática (XU *et al.*, 2018; WEI *et al.*, 2021).

Após a fixação as folhas são submetidas ao processo de **enrolamento**, que provocará leve desestruturação do tecido vegetal, facilitando a saída de compostos retidos em organelas e vacúolos celulares. Na etapa adicional chamada **amarelamento** (Men Huan), as folhas enroladas são cobertas em um pano úmido (geralmente de algodão), com a manutenção da temperatura de 30 °C, umidade relativa de 90% ao longo de 24 h (WEI *et al.*, 2022). Durante essa etapa, a clorofila e os polifenóis contidos nas folhas frescas sofrem leve oxidação, sob os efeitos do calor e da umidade resultando na aparência amarela. A depender das condições é possível a ocorrência de fermentação microbológica das folhas, com hidrólise de epigallocatequinas. Essas catequinas presentes nas folhas frescas são significativamente reduzidas devido à oxidação e transformação, de modo que o sabor se torna suave pela remoção do cheiro característico de grama associado ao chá verde, preservando sua saúde e benefícios (WEI *et al.*, 2021).

O chá amarelo tem um teor de aminoácidos livres maior que o chá verde e, nesse processo, conferem sabor adocicado e limpo. Esta cobertura úmida pode durar várias horas ou até vários dias, durante os quais a fragrância e a doçura aumentam. A adstringência é rara devido a oxidação que transforma as catequinas em novos compostos. Após esta etapa extra,

a fabricação do chá amarelo retoma o curso idêntico ao do chá verde seguindo a fixação, enrolamento e secagem final. (WEI et al., 2020). Uma pesquisa desenvolvida para verificar os efeitos do processo de amarelamento demonstrou redução nos teores de compostos responsáveis pelos aromas de grama, floral e frutado, em contrapartida, aumentou os teores de compostos responsáveis pelo gosto doce e sabor de cogumelo, o que contribui com o aumento da aceitação geral do chá (WEI et al., 2022).

3.4 Chá Oolong

O nome chá oolong (em chinês, chá do dragão preto) é também chamado de chá azul. Há uma explicação amplamente aceita sobre a origem do nome chinês. O nome original não se relacionava aos dragões, mas sim em homenagem a Wu Long, que descobriu o chá oolong por acidente quando se distraiu caçando e deixou que as folhas de chá recém colhidas iniciassem a oxidação. Entretanto, não queria desperdiçar o chá e terminou o seu processamento. Surpreendentemente, este chá era suave e aromático, diferente de qualquer chá que já havia provado antes. Em pouco tempo, o chá de Wu Long era conhecido em toda a província e começou a usar um nome oolong (NG et al., 2018).

Os chás oolong são feitos de grandes folhas de chá e o chá acabado varia de castanho a cinza esverdeado. Na maioria dos casos, oolongs finos requerem várias infusões sucessivas para que as folhas se desdobrem em toda a sua extensão. Este chá apresenta a combinação do frescor do chá verde com a fragrância do chá preto devido ao seu processamento especial onde há maior oxidação nas bordas das folhas (CHI et al., 2009).

No processamento do chá oolong as folhas **colhidas** e adequadamente **higienizadas**, são submetidas à etapa de **murchamento**, podendo ser executada da seguinte forma: são espalhadas e secas em presença ou ao abrigo do Sol em telas de ventilação por várias horas sendo **viradas** periodicamente para permitir uma secagem uniforme. Na sequência são transferidas para grandes peneiras e **agitadas** constantemente, onde se inicia um **processo de oxidação (parcial)** das folhas. Após 4 ciclos de descanso por 2 h acompanhados de agitação (manual ou em equipamentos próprios) por alguns segundos (totalizando aproximadamente 8 h), as folhas são transferidas para tambores rotatórios para continuar a mistura e aeração das folhas, favorecendo a **oxidação enzimática** de metabólitos secundários. Assim, as folhas verdes são levemente machucadas nas bordas por agitação e vibração mecânica (sendo também realizada de forma manual), conferindo bordas avermelhadas à folha, após a oxidação induzida (entre 17% e 85%) de redução do conteúdo de fenólicos quando comparado ao chá verde (BORTOLONI et al., 2021) com o centro da folha ainda verde.

Quando se atinge a taxa de oxidação adequada e desejada pelo mestre de chá, as folhas são transferidas para a etapa de **fixação** onde são aquecidas, geralmente por ar quente, em grandes tambores, para interromper o processo de oxidação. Essa etapa mantém uma temperatura mais elevada a fim de inativar as enzimas oxidativas. Com o calor interno gerado durante essa etapa de fixação, as folhas são conduzidas para a etapa de **enrolamento**. É importante que as folhas ainda estejam levemente aquecidas, para que permaneçam maleáveis, do contrário, esfriarão e poderão se tornar quebradiças, inviabilizando a etapa de rolagem. O processo de enrolamento das folhas, acompanhado do pressionamento das folhas é realizado durante cerca de 7 a 9 h. Esse processo permite que haja liberação de aminoácidos pelas proteínas degradadas e aumenta a liberação de cafeína, conferindo o sabor diferenciado do chá (CHEN et al, 2010; NG et al, 2018). Ao longo da etapa de enrolamento, pode ser necessário o leve aquecimento das folhas e a continuação do processo. Essa etapa é eficaz para remover a camada de cera na superfície das folhas de chá e permitir que a seiva da folha interaja com o ambiente externo (FARMER LEAF, 2021).

A ação de rolagem é a mais crítica no longo processo do chá oolong e é chamada de *shaqing*, que significa “matar a floração”. O rolagem rompe as paredes celulares e permite a comunicação entre diferentes substâncias químicas nas folhas como a clorofila, os polifenóis, os carboidratos e as enzimas.

Durante a rolagem, o sabor e outros atributos sensoriais do chá são determinados, por isso é fundamental acompanhamento criterioso dos mestres de chá, com monitoramento e avaliação constantes do seu trabalho manual ao longo deste processo de oxidação parcial. Finalizada essa etapa o chá oolong segue para a **secagem** final em baixa temperatura, ao redor de 40 °C, para reduzir a sua atividade de água e aumentar a sua vida útil (FARMER LEAF, 2021; NG et al., 2018; YI et al., 2015).



Facilitando o entendimento!

Para acompanhar todas as etapas de produção do chá oolong, não deixe de conferir o vídeo intitulado: “*High mountain oolong tea processing explained*”, publicado em 2021 no Canal: “Farmer Leaf”. O vídeo foi produzido em inglês, com a possibilidade da utilização de legendas no mesmo idioma pelo YouTube. Os equipamentos e as etapas de produção são demonstrados de forma detalhada, possibilitando melhor compreensão das etapas de fabricação.



Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZyTYnm-khCQ>.

3.5 Chá Preto

O chá preto é a classe de chá mais popular, correspondendo por cerca de 85% do consumo global de chá, seguido pelo chá verde com 20% e chá oolong com 2% (HUAN et al, 2019). Popularmente, pode ser consumido com açúcar, leite, bergamota, limão ou especiarias. É um chá totalmente oxidado com aparência escura, sabor forte, teor de cafeína geralmente elevado, mas inferior ao chá escuro em comparação com os outros tipos. Assim como mencionado em nota da **Figura 5**, é comum encontrar na literatura popular ou mesmo científica, a utilização do termo “fermentação” como sinônimo da “oxidação enzimática”, que é marcante neste tipo de chá, em especial, considerado completamente oxidado (BORTOLONI et al., 2021).

O processamento se inicia na colheita seletiva de brotos uniformes a fim de favorecer um murchamento homogêneo e a oxidação lenta e controlada. Embora os métodos de processamento variem de acordo com as regiões produtoras, sendo as etapas principais descritas da **Figura 5**.

Ao contrário do chá verde que é submetido à etapa de inativação enzimática, o que o torna a principal fonte de EGCG dentre os seis tipos de chá, no preto a oxidação enzimática é desejada e estimulada, reduzindo drasticamente os seus teores. Sendo assim, após a etapa de murchamento, as folhas são submetidas à etapa de enrolamento, onde inicia o processo de oxidação enzimática. A oxidação é favorecida pelas condições do enrolamento, como pressão, duração e movimentos. Além disso, um ambiente úmido e rico em oxigênio é necessário para favorecer a oxidação. Salas ou câmaras de oxidação para produção do chá devem ter quinze a vinte trocas de ar umidificado por hora para garantir a oxidação completa (TANAKA et al., 2003; HUAN et al, 2019).

Durante a produção do chá preto as catequinas, compostos incolores e hidrossolúveis, são oxidadas e iniciam uma série de reações químicas que produzirão os compostos responsáveis pela cor e sabor característicos, as teaflavinas, teasinensinas e tearubiginas. Oxidações entre epicatequinas e epigalocatequinas produzem os polifenóis secundários chamados teaflavinas que conferem coloração vermelho-alaranja. As epigalocatequinas e as EGCG originam as tearubiginas, estruturas complexas com coloração marrom acobreado (HASHIMOTO et al., 1988; TANAKA; KOUNO, 2003; TAKEMOTO et al., 2018).

Durante a primeira e mais importante das oxidações enzimáticas, as folhas são trituradas para que as enzimas polifenoloxidase e peroxidase, presentes nos cloroplastos das células, atuem sobre catequinas para produzir teaflavinas. As teaflavinas reagem com outros polifenóis para produzir tearrubiginas, os produtos químicos responsáveis por alterar a cor da folha de verde para dourado, acobreado ou marrom chocolate. Enquanto isso, as tearrubiginas também reagem com aminoácidos e açúcares da folha para criar componentes de sabor. Em geral, as teaflavinas contribuem para o sabor forte do chá preto, enquanto as tearrubiginas são as que fornecem o corpo e cor ao chá.

A troca de calor expulsa o dióxido de carbono da folha e, se a temperatura subir muito, a oxidação aumenta e pode-se perder o controle ou, se a temperatura diminuir muito, a oxidação reduzirá. O período de oxidação requer duas a quatro horas e é controlada pela experiência do mestre de chá, mais que pela ciência. Embora existam marcadores técnicos para determinar um final do processo, há tantas variáveis que o melhor método para acabar com a oxidação é o nariz e os olhos do especialista que monitora o processamento. O mestre de chá deve controlar a espessura e a inclinação da folha, o que determina a exposição da área da superfície ao ar com uma temperatura ambiente ideal de 29 °C e umidade relativa de 98% com ventilação contínua (STODT et al., 2014; TAKEMOTO et al., 2018).

Quando o mestre do chá determina que a folha está oxidado até o nível desejado, segue-se à **secagem**, uma etapa mais rápida, de quinze a vinte minutos, porém crítica do processamento do chá preto. Com o objetivo de interromper toda a atividade enzimática bioquímica, a oxidação, as folhas são expostas ao ar quente de 54 °C, reduzindo o teor de umidade de 60% para 3%. Nessa etapa do processamento, os açúcares residuais são caramelizados mudando a cor da folha de vermelho acobreado para marrom-preto. A secagem final pode ser feita em grandes painéis ou cestos sobre o fogo ou carvão mas, praticamente todo o chá preto hoje é seco usando ar quente forçado mecanicamente. Após essa etapa, o chá preto é resfriado rapidamente para evitar o super aquecimento e a perda de sabor.

3.6 Chá Escuro

O chá escuro, também denominado de *Dark Tea*, chá vermelho, é um chá fermentado e pós-fermentado, uma vez que durante o seu beneficiamento ocorre fermentação por microorganismos nativos da folha e do ambiente, que desempenham papel fundamental em sua fabricação. As folhas utilizadas são particularmente grandes, podendo ser oxidadas pelo cozimento (**fixação**) ou cruas (ao natural). Pu-erh é o chá mais famoso dos tipos de chá escuro e possui o nome em referência a cidade em que é produzido, no condado de Pu'er em Yunnan, na China. O chá escuro pode ser envelhecido de maneira acelerada por meio do cozimento ou de forma lenta e natural, podendo levar anos. Assim, esse tipo de chá pode ser classificado de forma semelhante aos vinhos, por seu ano de produção, sendo muito valorizados no mercado dos chás (HEISS, HEISS, 2007; ZHU et al., 2020). Pode ser vendido em folhas soltas ou compactado nos tradicionais bolos redondos conhecidos como *beng cha* bem como em outros formatos como cogumelos, esferas, cubos, pirâmides, moedas.

Pu-erh, conhecido em chinês antigo como “chá preto”, pois o método tradicional de classificação dos chás era pela coloração do líquido e não das folhas, é o chá que sofre o processo de fermentação microbiológica de forma mais pronunciada e evidente. Dependendo do tipo de chá escuro que está sendo fabricado, as folhas podem ou não passar pela etapa de oxidação, no entanto, sempre haverá atividade fermentativa proporcionada pelos microorganismos naturalmente presentes nas folhas. Este processo é considerado como fermentação em estado sólido (ZHU et al., 2020).

Após as etapas iniciais, comuns aos demais chás, as folhas podem ser levemente secas ao ar por um breve período, podendo em seguida ser transferidas para equipamentos específicos, a fim de padronizar do teor de umidade, onde é realizada uma complementação da secagem de forma rápida, apenas para remover o excesso de umidade da superfície (etapa opcional e não mencionada na Figura 5). A realização desta etapa de forma inadequada pode comprometer o processo fermentativo, que necessita de parte do seu conteúdo de umidade das folhas, já que baixos valores de atividade de água inibem a sua ocorrência (DALA-PAULA, 2021).

As folhas são **fixadas** para interromper a oxidação enzimática, em seguida as folhas são misturadas regularmente a fim de aumentar a oxigenação entre elas e contribuir com a **fermentação** em grandes pilhas, o que favorecendo o aquecimento necessário à atividade microbiana. Dessa forma, na porção externa da pilha há predomínio de fermentação aeróbica, favorecida pela maior disponibilidade de oxigênio, enquanto no núcleo da pilha há predomínio da fermentação anaeróbia, devido a privação do oxigênio e maior temperatura (TESHOME, 2019; LI et al., 2020).

Diferentes micro-organismos foram reconhecidos ao longo dos processos fermentativos de diferentes tipos de chá escuro sendo, o *Aspergillus niger*, o fungo de maior prevalência nos estilos comerciais Pu-erh. Em comparação aos fungos, a população bacteriana apresenta-se altamente diversificada nos chás escuros representada por proteobactérias incluindo: *pseudomonas*, *enterobacterias*, *acromobacteria*, *acinetobacteria*, *brevibacteria*, *bacillus subtilis*, *coagulans*, *licheniformes*, *pediococcus*, *erwinia*, *enterobacter* e *Klebsiella* seguida por *firmicutes*, *actinobacteria*, *cyanobacteria* e *Bacteroidetes* (YAO et al., 2013; ZHAO et al., 2015).

As alterações derivadas das mudanças dos constituintes químicos do chá escuro são associadas a diferentes reações como degradação, oxidação, condensação, modificação estrutural, metilação e glicosilação e relacionadas aos processos fermentativos (ZHU et al., 2020). Após a ocorrência da fermentação, as folhas passam pela **secagem** a fim de reduzir a atividade de água, inibindo a ocorrência da fermentação, ampliando a vida útil do chá e garantindo a segurança do consumidor.

O chá escuro apresenta aparência preto-acastanhado com infusão vermelha-alaranjada, um aroma envelhecido e fúngico e sabor suave e adocicado com baixos níveis de amargor e adstringência. A fermentação é considerada o principal fator responsável pela formação dos atributos sensoriais especiais (LI, et al., 2017; LI, et al., 2018).

3.7 Chá Perfumado

Os chás perfumados com flores são exclusividades dos chineses. Como a China é a origem histórica de muitas variedades de frutas distintas e flores aromáticas, os primeiros mestres de chá chineses experimentaram e depois se destacaram na produção de chás perfumados que tiveram boa aceitação em todo o mundo.

O chá de jasmim perfumado com flores de jasmim era especialmente apreciado pelos imperadores, então durante os reinados, continuando ainda hoje, o chá de jasmim foi oferecido como presente aos visitantes à China. A ampla exposição resultante ao novo sabor exótico combinada com o movimento de mercadorias igualmente misteriosas ao longo das primeiras rotas comerciais, foi diretamente responsável pela popularidade dos chás perfumados chineses misturados com maestria e que se tornaram fontes de inspiração para diferentes chás perfumados.

Com o tempo, à medida que a popularidade do chá perfumado se espalhava pelo mundo, flores, especiarias, óleos e ervas começaram a ser usados para dar sabor a diferentes tipos de chá produzidos localmente (HEISS, HEISS, 2007). À medida que aromas mais diversos se tornaram disponíveis, a variedade de combinação usada com o chá ajudou a desenvolver o que hoje se considera os sabores exclusivos das cozinhas do mundo moderno.

Como exemplo, tem-se a hortelã fresca adicionada ao chá verde no Marrocos, a adição de misturas regionalmente variadas de especiarias ao chá preto com leite para o chai da Índia ou a adição do óleo cítrico bergamota ao chá preto na Inglaterra, para criar o lendário chá *Earl Grey*. Estes ilustram o corpo da história do chá que é o chá aromatizado (chá perfumado), no entanto se refere à técnica praticada na origem da fabricação do chá, na qual flores de jasmim, botões de rosa silvestre, crisântemos ou variedades de frutas perfumadas, como lichia ou laranja, são adicionadas ao chá parcialmente finalizado. O chá é imbuído dos aromas dessas flores e outros ingredientes (HEISS, HEISS, 2007; ZHANG et al., 2022).

O processamento do chá de jasmim requer grande habilidade para se obter o nível adequado de aromatização. Os chás de jasmim se dividem em duas categorias: (i) chá de jasmim tradicional e premium e (ii) chá de jasmim de grau padrão. Para o processamento do chá de jasmim tradicional e premium, a preparação das folhas deve ser precisa em toda a produção. Não se enquadra em nenhuma das categorias de chá citadas anteriormente, portanto não é verde, branco, amarelo, oolong, preto ou escuro.

Os melhores chás de jasmim são feitos de folhas que foram estimuladas a oxidar um pouco, mas permanecem próximas ao chá verde. Este processamento inicial produz um chá base, chamado dhoool. Esta categoria é usada apenas para designar o chá base que acaba sendo perfumado, tornando-se o tradicional chá de jasmim. O processo foi desenvolvido expressamente por duas razões: primeiro, fornecer ao chá a capacidade de absorver facilmente os aromas das flores de jasmim e, segundo, para que seu sabor particular contraponha a doçura do jasmim na xícara (CHEN et al., 2017).

As folhas do chá base são colhidas na primavera e as videiras de jasmim florescem no verão. Assim, há incompatibilidade no tempo entre as colheitas e o chá base é mantido armazenado antes da chegada das flores até o meio do verão, quando as variedades de jasmim usadas para aromatizar o chá florescem.

As folhas de chá são empilhadas com flores de jasmim frescas que misturadas promovem aumento da temperatura interna da pilha para 45 °C estimulando a abertura das flores e a liberação de seus óleos essenciais que são absorvidos pelas folhas de chá. Como as folhas de chá absorvem rapidamente o perfume, fica a critério do mestre de chá o número de repetições e por quanto tempo as flores de jasmim serão adicionadas ao chá base (AN et al., 2022).

Quanto maior a pilha de chá base e jasmim, maior a temperatura interna, fato que deve ser avaliado continuamente para evitar a peroxidação dos óleos que altera o sabor do chá acabado, tornando-o amargo e rançoso. Após aproximadamente seis horas, as pilhas são espalhadas para respirar e retornam ao processo de aromatização por mais quatro horas em média. Com relação a altura da pilha de chá, o processo de aromatização moderno possui

menor altura da pilha reduzindo a alta temperatura e prolongando o tempo de aromatização (ZHANG et al., 2022).

O primeiro período de aromatização é o mais importante, por isso são usadas grandes quantidades de flores, mas a quantidade é reduzida durante as aromatizações subsequentes. O nível de perfume absorvido das flores é monitorado cuidadosamente e a cada período de aromatização, as flores gastas são removidas por peneiras e flores frescas são adicionadas.

O chá precisa de tempo para descansar entre as aromatizações podendo durar até um mês para finalização do lote. Após finalizado o processo pelo mestre do chá, todas as flores utilizadas são removidas por ventiladores de alta potência que as espalham. Após a fase de aromatização, o chá é finalizado e se torna estável na prateleira, o perfume foi absorvido pela folha, esperando para ser liberado quando preparado (CHEN et al., 2017; ZHANG et al., 2022).

O chá de jasmim padrão, feito para consumo em grandes volumes, sendo popular no norte da China, utiliza o mesmo processamento anterior, porém as folhas são provenientes da colheita de verão, menos refinadas. Além disso a aromatização é feita por menor tempo e número de repetições. Há também a combinação de chá verde ou oolong processado com flores de jasmim ou chá verde, branco ou oolong pulverizado com extrato de jasmim podendo incluir outras essências florais ou aromatizantes artificiais. Esses chás são popularmente conhecidos como chá verde de jasmim, não sendo a folha base exclusiva do processamento tradicional devendo-se chamar chá verde sabor jasmim ou qualquer essência utilizada natural ou artificialmente.

Para conhecer e valorizar a tradição de chá com uma profunda história deve-se buscar o chá de jasmim tradicional.

4 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS CHÁS

A variedade de chás disponíveis é imensa e todos os chás verdadeiramente finos têm em comum a colheita de duas folhas mais aromáticas, jovens e superiores e o botão de folha fechado.

Os polifenóis do chá são conhecidos por contribuir para sua cor e o sabor com exceção do matcha, onde a clorofila desempenha papel importante para a cor verde brilhante. A composição de polifenóis do chá verde é semelhante a das folhas frescas, porque o cozimento a vapor ou a torrefação nos estágios iniciais da produção do chá verde inativa as enzimas que envolvem a oxidação dos constituintes químicos das folhas. As catequinas são os principais compostos do chá verde, sendo responsáveis por sua cor e sabor característicos. Em contraste, as tearubiginas e teaflavinas no chá preto, são os produtos resultantes da oxidação

e contribuem para a cor e o sabor dos chás pretos (HUANG et al., 2004; ISHII et al., 2008; TAKEMOTO et al., 2018; UNNO et al., 2021).

O chá oolong possui as características intermediárias do chá verde e do chá preto. A atividade da polifenoloxidase e o conteúdo de polifenóis nas folhas jovens de chá são dependentes das variedades cultivadas. Neste sentido, a composição das folhas de chá depende de vários fatores, como clima, estação do ano, práticas adotadas e o tipo de variedade e idade da planta do chá (FANARO et al., 2012).

Em geral, os principais ingredientes encontrados no chá verde são polifenóis (24 a 36%), proteínas (15%), lignina (7%), aminoácidos (3 a 4%), cafeína (2 a 4%), ácidos orgânicos (2%) e clorofila (0,5%). O chá verde contém uma mistura de compostos polifenólicos que geralmente incluem flavanóis, flavandióis, flavonoides e ácidos fenólicos, principalmente quercetina, kaempferol, miricetina e seus glicosídeos, sendo responsáveis por quase 42% do peso seco das folhas de chá verde (PRASANTH et al., 2019).

Os flavanóis são os mais abundantes dos polifenóis nos chás verdes e são conhecidos como catequinas do chá verde. As principais catequinas conhecidas no chá verde são epicatequina, epicatequina-3-galato, epigallocatequina e EGCG. Dos polifenóis, epigallocatequina e EGCG são os compostos antioxidantes mais potentes (OHE et al., 2001; TRUONG; WOO-SIK, 2021) e estima-se que uma xícara de chá verde apresente cerca de 30 mg de EGCG (KHOKHAR et al., 2002). As catequinas são sintetizadas nas folhas de chá através do metabolismo do ácido malônico e do ácido chiquímico, em que o ácido gálico é derivado de um produto intermediário produzido na via metabólica do ácido chiquímico (Graham, 1992).

Nos chás pretos, os principais polifenóis são a teaflavina, ácidos teaflavínicos, polímeros pró-antocianidinas e tearubiginas ou teasinensinas, que são os produtos da oxidação das catequinas e complexos de ácido gálico (GARDNER et al., 2007). Os chás pretos também contêm cafeína, metilxantinas e uma pequena fração de teofilina e teobromina. As teaflavinas são responsáveis por conferir adstringência e brilho ao chá preto, enquanto as tearubiginas contribuem para a sua cor e sensação de peso na boca (TAKEMOTO et al., 2018).

O chá escuro, produzido por fermentação microbiana tem a concentração de catequinas significativamente menor que o chá verde e substâncias poliméricas como as tearubiginas são produzidas a partir da oxidação e fermentação. Este tipo de chá possui destaque no elevado conteúdo de ácido gálico, seguido do chá preto em relação aos demais (BORTOLONI et al., 2021).

O chá contém vários aminoácidos, sendo a teanina o aminoácido mais abundante representando quase 50% do conteúdo total de aminoácidos no chá. Além de polifenóis e aminoácidos, os chás também contêm nível significativo de carboidratos e vitaminas A, E e

K, incluindo, em menor concentração, vitaminas do complexo B (B1, B2 e niacina). A vitamina C está presente apenas nos chás verdes, pois é prontamente decomposta durante o processo de oxidação associado à fabricação de chá oolong, preto e escuro. Os chás também apresentam teores apropriados de minerais como manganês, potássio e um baixo nível de íons flúor (CHI et al., 2009; JUNEJA et al, 2013).

4.1 Antioxidantes dos chás

A ciência ocidental está descobrindo o que os consumidores de chá do oriente acreditam há séculos; que o chá é benéfico para manter a saúde e o vigor. As primeiras referências associavam o consumo de chás pelos monges e eruditos, para auxílio na concentração e disposição, necessárias para os longos períodos de meditações. As culturas asiáticas acreditam na causa e efeito benéficos dos alimentos para a saúde humana e, com efeito, o que se come reflete em como se sente. Mas, à medida que há maior sintonia aos hábitos alimentares saudáveis e procura por alimentos benéficos para uma adequada nutrição, o chá tem sido citado por meios científicos e populares, juntando-se à lista de importantes alimentos como os vegetais de folhas verdes, frutas, grãos integrais, azeites entre outros relacionados com a dieta do mediterrâneo.

Há uma grande busca científica sobre os diferentes tipos de chás para entender os potenciais benefícios à saúde de seus compostos antioxidantes. Embora cada classe de chá ofereça diferentes antioxidantes, todos os tipos de chás (derivados da *Camellia sinensis*) são benéficos à saúde (HEISS; HEISS, 2007; EK et al., 2017; TRUONG; WOO-SIK, 2021).

As células vegetais sintetizam compostos polifenólicos como mecanismo de defesa em resposta aos estressores ambientais, como a invasão microbiana. Espera-se que os polifenóis exibam efeitos protetores semelhantes no corpo humano após o consumo de chás contendo esses compostos. Os polifenóis do chá são reconhecidos como fortes antioxidantes que atuam por meio de vários mecanismos, como neutralização de radicais, quelação de metais de transição, inibição de enzimas pró-oxidativas e indução de enzimas antioxidantes intracelulares (YAN et al., 2020). O chá verde tem maior capacidade antioxidante do que o chá oolong e o chá preto, e o potencial antioxidante total está fortemente relacionado ao conteúdo de catequinas do chá. O número e as posições das unidades fenólicas conferem-lhes propriedades físico-químicas específicas. Além disso, a natureza dos compostos gerados, o grau de polimerização e a extensão da glicosilação afetam a atividade antioxidante dos polifenóis do chá (TRUONG; WOO-SIK, 2021).

A bebida do chá é uma extração dos alcaloides, metilxantina (cafeína, teobromina e teofilina), polifenóis, de antioxidantes derivados das catequinas e teanina, um aminoácido que

atua como o neurotransmissor responsável pela sensação de bem estar e relaxamento, apesar da cafeína presente, com ação estimulante (UNNO et al., 2021).

No Japão, o chá Gyokuro é feito de folhas colhidas de arbustos de chá sombreados que interrompe a atividade normal das folhas e estimula uma produção abundante de teanina. O chá contém taninos membros complexos do grupo de flavonoides que dão ao chá sua adstringência característica. Embora os botões e folhas de chá fresco sejam compostos de 75 a 80% de água, os componentes polifenólicos do chá residem nos 20 a 25% restantes de matéria sólida, e essa porcentagem é diferente entre os tipos de chá (UNNO et al., 2021; KRAHE; KRAHE, 2022).

O organismo humano responde aos efeitos negativos dos radicais livres utilizando moléculas antioxidantes ou complexos enzimáticos presentes em nossos sistemas para neutralizá-los. Os depósitos antioxidantes para uma boa saúde e vida longa, podem ser alcançados adicionando às dietas algumas xícaras de chá por dia, no entanto, ainda não está bem estabelecido na literatura científica os teores necessários, assim como a concreta ação na longevidade humana. Os flavonoides no chá, compostos mais abundantes e o seu subgrupo flavanol, representado pelas catequinas são considerados os principais antioxidantes da bebida. O fato de o chá verde e branco sofrerem menos alterações internas sugere maior conteúdo de catequinas intactas. (EK et al., 2017; YAN et al., 2020; TRUONG; WOO-SIK, 2021).

Apesar da recente atenção dada à natureza saudável do chá verde e branco, todas as classes de chá contêm polifenóis, a exemplo das já mencionadas teaflavinas e tearubiginas dos chás oxidados. O método e as condições de fabricação do chá oxidado afetam as proporções dos antioxidantes teaflavinas para as tearubiginas presentes no chá e, portanto, o sabor e a adstringência correspondentes encontrados na xícara. Quanto mais tempo o chá é oxidado e quanto mais escuro, maior o teor de tearubiginas. O chá branco está mais alinhado com o chá verde, embora alguns estilos de folhas de chá branco sofram uma leve oxidação e o chá pu-erh segue mais de perto o chá preto. O chá oolong, um chá semioxidado, contém as proporções antioxidantes inversas do chá preto com uma concentração mais alta de teaflavinas e concentração mais baixa de tearubiginas. Mas, de fato, alguns pesquisadores acreditam que benefícios adicionais são oferecidos durante a oxidação do chá preto bem como ao longo do processo fermentativo do chá escuro resultando na formação de compostos antioxidantes que são mais disponíveis e efetivos na prevenção de doenças do que aqueles presentes no chá verde (ZHU et al., 2015; ZHU et al., 2020).

A fermentação microbiana do chá escuro é a chave para a formação de compostos especiais para a saúde pois está relacionado a uma série de reações sobre os constituintes químicos de suas folhas. O processo de bioconversão microbiana dos componentes químicos

do chá escuro atua por meio das enzimas microbianas extracelulares que hidrolizam as catequinas liberando compostos menores como degaloil catequina e ácido gálico. Esse fato explica o aumento dos níveis de ácido gálico nos estágios iniciais da fermentação, bem como diversos outros ácidos fenólicos simples como ácido 2,5-diidroxibenzoico, floroglucinol, pirogalol, galicina, ácido salicílico, ácido 3,4-diidroxibenzóico, ácido protocatecuico e 2,3,4-ácido trihidroxibenzóico (BORTOLONI et al., 2021; ZHU et al., 2015).

É interessante notar que esses ácidos fenólicos também podem ser formados durante a degradação das catequinas após a bioconversão pelo microbioma intestinal que possui grande diversidade de micro-organismos. As catequinas do chá entram no cólon na sua forma original e são modificadas por diferentes reações que incluem hidrólise, clivagem, redução, descarboxilação, isomerização e desidroxilação catalizadas por múltiplas enzimas microbianas. Os produtos finais das transformações conduzidas pelo microbioma intestinal são ácidos fenólicos simples, semelhantes aos produzidos pela fermentação do chá escuro que podem ser facilmente absorvidos pela mucosa intestinal. Assim, a fermentação microbiana do chá escuro é semelhante a bioconversão realizadas pelo microbioma intestinal a fim de formar compostos menores e mais facilmente absorvíveis (XIANG et al., 2018).

As catequinas do chá são pobremente absorvidas no intestino delgado com biodisponibilidade aproximada de 0,1-0,32% para EGCG, 13,7% para epigalocatequina, 31,2% para epicatequina e 8-17% para as catequinas do chá verde após administração oral, corroborando com a baixa biodisponibilidade dos polifenóis da dieta em geral, por volta de 5 a 10%. Neste sentido, como a biodisponibilidade é o elo que liga os polifenóis aos benefícios para a saúde, os metabólitos formados pela fermentação do chá escuro bem como pelo microbioma intestinal, ao invés dos polifenóis originais de maior peso molecular, são os responsáveis pelos efeitos à saúde associados ao consumo de chá (LIU et al., 2018).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compreensão da tecnologia envolvida com a fabricação dos diferentes tipos de chás é necessária a fim de oferecer um produto de qualidade, preservando e otimizando suas características sensoriais e funcionais. Considerando o elevado consumo de chá pela população mundial, esta bebida pode ser considerada um importante item para compor uma dieta saudável. O conhecimento de cada etapa do beneficiamento da planta chá proporciona autonomia ao produtor para otimizar a qualidade de seus chás, em consonância com as boas práticas de fabricação.

A *Camellia sinensis* é uma planta amplamente pesquisada em todo o mundo, considerando sua importância econômica e no consumo global. No entanto, existem inúmeras outras espécies de plantas utilizadas no preparo de infusões, em especial no Brasil, por

comunidades tradicionais, com potencial efeito farmacológico, evidenciados pela etnofarmacologia, e que ainda não foram pesquisadas.

Visando o incentivo ao consumo de alimentos e bebidas locais, em conformidade com os preceitos para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, faz-se necessário o desenvolvimento de pesquisas acerca da tecnologia do preparo de infusões de plantas medicinais locais, assim como o estudo de seus efeitos farmacológicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Longevidade (PPGNL) e à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG), ambos da UNIFAL-MG, além da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e Fundação Cargill® pelos recursos destinados à pesquisa e bolsa de pós-graduação (nível mestrado).

REFERÊNCIAS

- ALCAZAR, A.; BALLESTEROS, O.; JURADO, J. M.; PABLOS, F.; MARTIN, M. J.; VILCHES, J. L.; NAVALON, A. Differentiation of green, white, black, oolong, and pu-erh teas according to their free amino acids content. **J. Agric. Food Chem.** v.55, pp. 5960–65, 2007.
- AN, H.; OU, X.; ZHANG, Y.; LI, S.; XIONG, Y.; LI, Q.; HUANG, J.; LIU, Z. Study on the key volatile compounds and aroma quality of jasmine tea with different scenting technology. **Food Chem.** v. 385, pp.132718, 2022.
- CHEN, M.; ZHU, Y.; LIU, B.; CHEN, Z.; ZHENG, J.; GUAN, M.; SHI, H.; WANG, Y.; YANG, W. Changes in the volatiles, chemical components, and antioxidant activities of Chinese jasmine tea during the scenting processes. **Int. J. Food Prop.** v. 20, pp. 681–693, 2017.
- CHEN, Y. L.; DUAN, J.; JIANG, Y. M.; SHI, J.; PENG, L.; XUE, S.; KAKUDA, Y. Production, quality, and biological effects of oolong tea (*Camellia sinensis*). **Food Reviews International**, v. 27, n. 1, pp.1-15, 2010.
- DIAS, T. R. et al. White Tea (*Camellia sinensis* (L.)): antioxidant properties and beneficial health effects. **International Journal of Food Science and Nutritional Diet**, v. 2, n. 2, p. 19-26, 2013.

- EK, W. E.; TOBI, E. W.; AHSAN, M.; LAMPA, E.; PONZI, E.; KYRTOPOULOS, S.A.; GEORGIADIS, P.; LUMEY, L.H.; HEIJMANS, B.T.; BOTSIVALI, M.; BERGDAHL, I.A.; KARLSSON, T.; RASK-ANDERSEN, M.; PALLI, D.; INGELSSON, E.; HEDMAN, ÅK.; NILSSON, L. M.; VINEIS, P.; LIND, L.; FLANAGAN, J. M.; JOHANSSON, Å. Epigenome-Wide Association Study Consortium. Tea and coffee consumption in relation to DNA methylation in four European cohorts. **Human Molecular Genetics**. v. 15, n. 26, pp. 3221-3231, 2017.
- FANARO, G. B.; DUARTE, R. C.; SANTILLO, A. G.; SILVA, M. P.; PURGATTO, E.; VILLAVICENCIO, A. L. C. H. Evaluation of γ -radiation on oolong tea odor volatiles. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 81, n. 8, pp. 1152-1156, 2012.
- FAO, Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **International Intergovernmental Group on Tea**. Twenty-third session. Fostering Sustainability in tea production and trade: Assessing the impact of certification schemes on farm income, Inclusive rural development and market access. Hangzhou, the People's Republic of China, 17-20 May. 2018.
- FAO, Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura International. **Tea Day, from field to cup**. 23 May 2022.
- FAO, Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura International. **International tea market**: market situation, prospects and emerging issues, 2022b.
- FARMER LEAF, High Mountain oolong tea processing explained, 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZyTYnm-khCQ>. Acesso em: 27 maio 2022.
- GARDNER, E.J.; RUXTON C.H.; LEEDS A.R. Black tea--helpful or harmful? A review of the evidence. **European Journal of Clinical Nutrition**. v. 61, n. 1, p. 3-18, 2007.
- GRACINDO, I. Viagem ao mundo do chá. 1ed. Rio de Janeiro, **Casa da Palavra**, 2013.
- HASIMOTO, M. The origin of the tea plant. In: **Proceedings of 2001 International Conference on O-cha (tea) Culture and Science**. Session II. p. j5-j7. Faculty of Agriculture, Shizuoka, Japan, 2001.
- HEISS, M. L.; HEISS, R. The story of tea. A cultural history and drinking guide. **Ten Speed Press**, 2007.

- HUA Z.; RUILI, Q.; YOSHINORI, M. The impact of oolong and black tea polyphenols on human health, **Food Bioscience**. v. 29, pp. 55-61, 2019.
- HUANG, S.; INOUE, K.; LI, Y.; TANAKA, T.; ISHIMARU, K. Analysis of catechins in autoclaved tea leaves and drinks. **J Food Chem**, v. 11, pp. 99–102, 2004.
- ISHII, T.; MORI, T.; TANAKA, T.; MIZUNO, D.; YAMAJI, R.; KUMAZAWA, S.; NAKAYAMA, T.; AKAGAWA, M. Covalent modification of proteins by green tea polyphenol (–)-epigallocatechin-3-gallate through autoxidation. **Free Radic BioMed**, v. 45, pp. 1384–1394, 2008.
- JUNEJA, L. R.; MAHENDRA, P. K.; TSUTOMU, O. RAO, T. P. **Green tea polyphenols**. Nutraceuticals of modern life. Taylor & Francis Group, 2013.
- KHAN, N.; MUKHTAR, H. Cancer and metastasis: Prevention and treatment by green tea. **Cancer Metastasis Rev**, v. 29, pp. 435–445, 2010.
- KHOKHAR, S., MAGNUSDOTTIR, S.G. Total phenol, catechin, and caffeine contents of teas commonly consumed in the United Kingdom. **J. Agric. Food Chem.**, v. 50, pp.565–570, 2002.
- KRAHE, J.; KRAHE, M. A. Optimizing the Quality and Commercial Value of Gyokuro-Styled Green Tea Grown in Australia. **Beverages**.; v. 8, n. 2, pp. 1-22, 2022.
- LI, Q.; YONG, L.; YU, L.; LIZHENG, X.; KUNBO, W.; JIANAN, H.; ZHONGHUA, Liu. Characterization of the key aroma compounds and microorganisms during the manufacturing process of Fu brick tea, **LWT - Food Science and Technology**, Georgia, USA. v.127, 109355, 2020.
- LI, Q.; CHAI, S.; LI, Y. D.; HUANG, J. A.; LUO, Y.; XIAO, L. Z. et al. Biochemical components associated with microbial community shift during the pile-fermentation of primary dark tea. **Frontiers in Microbiology**. v. 9, 2018.
- LI, Y. D.; LIU, Z. H.; HUANG, J. A.; ZHANG, Y. Y.; LIN, H. Y.; LI, Q. Quality changes of Fuzhuan tea during processing period based on principal component and cluster analysis. **Science & Technology of Food Industry**, v. 38, n. 17, pp. 1–4, 2017.
- LIN, J. K.; LIN, C. L.; LIANG, Y. C.; LIN-SHIAU, S. Y.; JUAN, I. M. Survey of catechins, gallic acid and methylxanthine in green, oolong, black and pu-erh teas. **J. Agric. Food Chem**. v. 46, pp.3635–42, 1998.

- LIN, Y. S.; TSAI, J. Y.; TSAY, J. S.; LIN, J. K. Factors affecting the levels of tea polyphenols and caffeine in tea leaves. **J Agric Food Chem.** v. 51, pp.1864–1873, 2003.
- LIU, Z. B.; BRUINS, M. E.; NI, L.; VINCKEN, J. P. Green and Black tea phenolics: Bioavailability, transformation by colonic microbiota, and modulation of colonic microbiota. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 32, pp. 8469–8477, 2018.
- MOGALE, D. G.; KUMAR, S. K.; TIWARI, M. K. Green food supply chain design considering risk and post-harvest losses: a case study. **Annals of Operations Research.** v. 295, pp. 257–284, 2020.
- MIYAZAKI, S. F. Utilização do chá verde em cosméticos. *Cadernos de Prospecção*, v.1, n. 1, op. 10-13, 2008.
- MWANGI, G. M. et al. “A planetary boundaries perspective on the sustainability: resilience relationship in the Kenyan tea supply chain.” **Annals of operations research**, pp. 1-35. 18 May. 2021.
- NG, K.-W.; CAO, Z. J.; CHEN, H. B.; ZHAO, Z. Z.; ZHU, L.; YI, T. Oolong tea: A critical review of processing methods, chemical composition, health effects, and risk. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition.** v. 58, n. 17, pp. 2957-2980, 2018.
- OHE, T.; MARUTANI, K.; NAKASE, S. Catechins are not major components responsible for anti-genotoxic effects of tea extracts against nitroarenes. **Mut Res**, v. 496, pp. 75–81, 2001.
- PAGANINI-COSTA, P.; CARVALHODA-SILVA, D. Uma Xícara (chá) de Química. **Revista Virtual Química**, v.3, n.1, p.27-36, 2011.
- PHUOC, H. P.; HUYNH, T. T., LE, T. T. Research on microwave treatment for fixation of polyphenol oxidase in processing oolong tea in Vietnam. **Southeast Asian Journal of Sciences.** v. 8, n. 2, 2020.
- PRASANTH, M. I. et al. A Review of the Role of Green Tea (*Camellia sinensis*) in Antiphotaging, Stress Resistance, Neuroprotection, and Autophagy. **Nutrients**, Basel v. 11, n.2, p. 474, 2019.

- SACRAMENTO, F.L.do. Memória econômica sobre a plantação, cultura e preparação do chá. Reedição: 1908, Rio de Janeiro: **Typ. Revista dos Tribunaes**, reproduzido por HAYASHI, Y. 1825, 47p. Disponível em: https://escoladecha.com.br/wp-content/uploads/2019/10/FreiLeandro_MemoriaCha.pdf. Acesso em: 22 maio 2022.
- SATO, D.; IKEDA, N.; KINOSHITA, T. Home-processing black and green tea (*Camellia sinensis*). **Food Safety and Technology**, FST-26, pp.1-2, 2007.
- SHUAI, M.; CHUANYI, P.; HUILIANG, N.; DONGLIANG, S.; RUYAN, H.; HUIMEI, C. Recent techniques for the authentication of the geographical origin of tea leaves from *camellia sinensis*: A review. **Food Chemistry**, v. 374, n. 131713, 2022
- SILVA, R. M. E. **O Chá Em Portugal: História e Hábitos de Consumo**. Dissertação de Mestrado em Estudos Interculturais Português/Chinês: Tradução, Formação e Comunicação Empresarial. Instituto de Letras e Ciências Humanas, Universidade do Minho, 2014.
- STODT, U. W.; BLAETH, N.; NIEMANN, S.; STARK, J.; PAWAR, V.; JAYARAMAN, S.; KOEK, J.; ENGELHART, U.H. Investigation of processes in black tea manufacture through model fermentation (oxidation) experiments. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 62, n. 31, pp.7854-61, 2014.
- TAKEMOTO, Masumi, and HIROAKI Takemoto. "Synthesis of Theaflavins and Their Functions." **Molecules (Basel, Switzerland)** v. 23, n. 4, p 918, 2018.
- TANAKA, T.; KOUNO, I. Oxidation of tea catechins: Chemical structures and reaction mechanism. **Food Sci Technol Res**, v. 9, pp. 128–133, 2003.
- TANAKA, T.; MATSUO, Y.; KOUNO, I. A novel black tea pigment and two new oxidation products of epigallocatechin-3-O-gallate. **J Agric Food Chem**, v. 53, pp. 7571–7578, 2005.
- TANAKA, T.; WATARUMI, S.; MATSUO, Y.; KAMEI, M.; KOUNO, I. Production of theasinensins A and D, epigallocatechin gallate dimers of black tea, by oxidation-reduction dismutation of dehydrotheasinensin A. **Tetrahedron**, v. 59, pp. 7939–7947, 2003.
- TESHOME K. Effect of tea processing methods on biochemical composition and sensory quality of black tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze): A review. **Journal**

- of Horticulture and Forestry**. v. 11, n. 6, pp. 84-95, 2019.
- TRUONG, V.-L.; WOO-SIK, J. Cellular Defensive Mechanisms of Tea Polyphenols: Structure-Activity Relationship. **International journal of molecular sciences**, v. 22, n. 17, p. 9109. 2021.
- UNNO, K.; YORIYUKI, N. Green Tea Suppresses Brain Aging. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 26, n.16, p.4897, 2021.
- WANG, Z.; YUE, C.; TONG, H. **Analysis of taste characteristics and identification of key chemical components of fifteen Chinese yellow tea samples. Journal of Food Science & Technology**. 2020.
- WANG, Y. et al. Impact of six typical processing methods on the chemical composition of tea leaves using a single *Camellia sinensis* Cultivar, Longjing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, pp. 5423-5436, 2019.
- WEI Y.; FANG, S.; JIN, G.; NI, T.; HOU, Z.; LI, T.; DENG, W. W.; NING, J. Effects of two yellowing process on colour, taste and nonvolatile compounds of bud yellow tea. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 55, n. 8, pp. 2931-2941, 2020.
- WEI, Y.; TIEHAN, L.; SHANSHAN, X.; TIANCHENG, N.; WEI-WEI, D.; JINGMING, N. The profile of dynamic changes in yellow tea quality and chemical composition during yellowing process, **LWT - Food Science and Technology**, Georgia, USA v. 139, 2021.
- WEI, Y.; YIN, X.; WU, H.; ZHAO, M.; HUANG, J.; ZHANG, J.; LI, T.; NING, J. Improving the flavor of summer green tea (*Camellia sinensis* L.) using the yellowing process. **Food Chemistry**, v. 388, n. 132982, 2022.
- WU, C.; XU, H.; HERITIER, J.; ANDLAUER, W. Determination of catechins and flavonol glycosides in Chinese tea varieties. **Food Chemistry**, v. 132, pp. 144-149, 2012.
- XIANG, L.; LIU, Y. Q.; LAI, X. F.; LI, Q. H.; SUN, L. L.; CHEN, W. P. et al. Biochemical component analysis and antioxidant activities of different kinds of aged tea. **Modern Food Science and Technology**, v. 34, n. 4, pp. 56–62, 2018.

- XU, J.; WANG, M.; ZHAO, J.; WANG, Y.H.; TANG, Q.; KHAN, I.A. Yellow tea (*Camellia sinensis* L.), a promising Chinese tea: Processing, chemical constituents and health benefits. **Food Research International**. May, v. 107, p. 567-57, 2018.
- YAN, Z. et al. Antioxidant mechanism of tea polyphenols and its impact on health benefits. **Animal nutrition (Zhongguo xu mu shou yi xue hui)** v. 6, n. 2, pp. 115-123, 2020.
- YAO, J.; CHEN, D.; ZHENG, X. Y.; WANG, Y. Isolation and molecular identification of the bacterial colonization during the pile fermentation process of Pu-erh tea. **Journal of Anhui Agricultural Sciences**, v. 41, n. 6, p. 2667–2668, 2013.
- YI, T.; ZHU, L.; PENG, W. L.; HE, X. C.; CHEN, H. L.; LI, J.; YU, T.; LIANG, Z.T.; ZHAO, Z.Z.; CHEN, H. B. Comparison of ten major constituents in seven types of processed tea using HPLC-DAD-MS followed by principal component and hierarchical cluster analysis. **LWT-Food Science and Technology**, Georgia, USA v. 62, n. 1, pp. 194-201, 2015.
- ZHANG, Y. et al. “Analysis of Volatile Components of Jasmine and Jasmine Tea during Scenting Process.” **Molecules** (Basel, Switzerland) v. 27, n. 2, pp. 479, 2022.
- ZHAO, M.; ZHANG, D. L.; SU, X. Q.; DUAN, S. M.; WAN, J. Q.; YUAN, W. X. et al. An integrated metagenomics/metaproteomics investigation of the microbial communities and enzymes in solid-state fermentation of Pu-erh tea. **Scientific Reports**, v. 5, 2015.
- ZHU, M. et al. Microbial bioconversion of the chemical components in dark tea. **Food Chemistry**, v. 312, p. 126043, 2020.
- ZHU, Y. F.; CHEN, J. J.; JI, X. M.; HU, X.; LING, T. J.; ZHANG, Z. Z. et al. Changes of major tea polyphenols and production of four new B-ring fission metabolites of catechins from post-fermented Jing-Wei Fu brick tea. **Food Chemistry**. v. 170, pp. 110–117, 2015.