

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Extração assistida por micro-ondas de compostos fenólicos totais e análise da capacidade antioxidante influenciados pela torrefação em amostras de café especial

Maryane Montagner de Moura

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do título
de Bacharela em Ciências dos Alimentos

**Piracicaba
2024**

Maryane Montagner de Moura

Extração assistida por micro-ondas de compostos fenólicos totais e análise da capacidade antioxidante influenciados pela torrefação em amostras de café especial

Orientador(a):
Prof^a Dr^a **WANESSA MELCHERT MATTOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharela em Ciências dos Alimentos

**Piracicaba
2024**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, em primeiro lugar, à memória do meu padrinho, que sempre foi uma inspiração em minha vida; sua sabedoria e exemplo continuarão a me guiar.

Aos meus pais, que, com esforço, dedicação e muito amor, proporcionaram as condições para que eu chegassem até aqui. E à minha madrinha, por seu afeto e incentivo inestimáveis.

A todos vocês, dedico este trabalho com imenso amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela força e orientação em todos os momentos desta jornada. À minha família e amigos próximos, cujo amor e apoio foram o alicerce de minha trajetória acadêmica.

A minha amiga Giovanna, que me acompanhou em todos os momentos da graduação, agradeço pela amizade e pelas memórias que construímos e construiremos juntas.

À minha orientadora, Profa. Dra. Wanessa Mattos, sou eternamente grata pela sua orientação, paciência e dedicação, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço por ter confiado em mim, me acolhido logo no início da graduação e me inspirado a ser a profissional que tornei.

Aos membros do grupo do LAQA (Laboratório de Analítica e Química de Alimentos), agradeço a colaboração e experiências compartilhadas, que enriqueceram minha formação.

Em especial, agradeço à Dra. Gabriela Alcantara, por me ensinar e orientar quando entrei no laboratório, cuja paciência e conhecimento foram cruciais para minha adaptação. Ao MSc. Winston Gomes, sou grata pelo apoio constante na rotina de laboratório e por sua ajuda na escrita deste trabalho.

Agradeço à Universidade de São Paulo e à ESALQ, pela oportunidade de crescer em um ambiente tão estimulante e pela formação que me proporcionaram.

Meu sincero agradecimento à banca examinadora, pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições ao meu trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho. Cada um de vocês deixou uma marca importante nesta jornada.

EPÍGRAFE

“A humanidade precisa de sonhadores que se atrevam a olhar para o que ainda não foi alcançado, e não apenas olhem para o que já está diante de seus olhos.”

Autor desconhecido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo geral	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1. Composição química do café verde.....	15
3.1.1. Torrefação.....	15
3.2. Antioxidantes.....	15
3.3. Extração de compostos fenólicos totais.....	18
3.4. Tendências da literatura: uma análise cienciométrica	19
3.4.1. Análise de autores.....	20
3.4.2. Análise de países	22
3.4.3. Análise de palavras-chave	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1. Amostras, reagentes e equipamentos.....	25
4.2. Atividade antioxidante.....	26
4.2.1. Preparo da bebida	26
4.2.2. Determinação da atividade antioxidante pelo método do radical DPPH.....	27
4.2.3. Determinação da atividade antioxidante pelo método do radical ABTS.....	27
4.3. Compostos fenólicos totais	27
4.3.1. Extração assistida por micro-ondas	27
4.3.2. Determinação do conteúdo de compostos fenólicos totais	27
4.4. Análise estatística	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1. Avaliação da atividade antioxidante pelo método do radical DPPH.....	28
5.2. Avaliação da atividade antioxidante pelo método do radical ABTS.....	30
5.3. Avaliação do conteúdo de compostos fenólicos totais	32
6. CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS.....	36

RESUMO

Extração assistida por micro-ondas de compostos fenólicos totais e análise da capacidade antioxidante influenciados pela torrefação em amostras de café especial

O presente trabalho teve como objetivo principal determinar o teor de compostos fenólicos totais e a capacidade antioxidante em amostras de café especial em diferentes graus de torra, utilizando a extração assistida por micro-ondas. Foram empregadas metodologias que incluíram a extração dos compostos fenólicos por meio de radiação micro-ondas, seguida da quantificação utilizando espectrofotometria UV-Vis. A atividade antioxidante foi avaliada através de ensaios DPPH e ABTS, considerando a influência dos diferentes graus de torra sobre a concentração de compostos fenólicos e a atividade antioxidante, permitindo identificar tendências e diferenças significativas. Os resultados obtidos indicaram que a torrefação afeta de maneira significativa tanto a concentração de compostos fenólicos quanto a atividade antioxidante do café. Amostras com torra mais leve apresentaram maiores teores de compostos fenólicos e, consequentemente, uma atividade antioxidante superior em comparação às amostras com torra mais intensa.

Palavras-chave: Café, Extração, Compostos bioativos

ABSTRACT

Microwave-assisted extraction of total phenolic compounds and analysis of antioxidant capacity influenced by roasting in specialty coffee samples

The main objective of this study was to determine the total phenolic compound content and antioxidant capacity in specialty coffee samples at different degrees of roast using the microwave-assisted extraction. Methodologies that included the extraction of phenolic compounds by microwave radiation and quantification using UV-Vis spectrophotometry were used. The antioxidant activity was evaluated through DPPH and ABTS tests, considering the influence of different roasting degrees on the concentration of phenolic compounds and antioxidant activity, allowing the identification of trends and significant differences. The results indicated that roasting significantly affects both the concentration of phenolic compounds and the antioxidant activity of coffee. Samples with lighter roasting presented higher levels of phenolic compounds and, consequently, a higher antioxidant activity than samples with more intense roasting.

Keywords: Coffee, Extraction, Bioactive compounds

1. INTRODUÇÃO

A crescente busca por qualidade de vida tem impulsionado o interesse em alimentos com a presença significativa de compostos bioativos, ou seja, alimentos capazes de promover benefícios à saúde humana (PIZARRO DE MATTOS BARRETO, 2008). Os compostos bioativos, também denominados fitoquímicos, são encontrados em diversos alimentos e desempenham funções essenciais no organismo, influenciando os processos metabólicos e fisiológicos e auxiliando na prevenção e tratamento de doenças crônicas (DUARTE, 2014; SHASHIREKHA; MALLIKARJUNA; RAJARATHNAM, 2015). Podendo ser encontrados em diversas matrizes alimentares, como cebola (SAGAR *et al.*, 2022), lúpulo (SUN *et al.*, 2022) e café (WU *et al.*, 2022a).

O café destaca-se como uma das bebidas mais amplamente consumida, possuindo significativa relevância socioeconômica. O café provém de planta tropical da família *Rubiaceae*, gênero *Coffea*, apesar de existirem mais de 100 espécies catalogadas, as espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora* destacam-se pela importância comercial, popularmente conhecidos como café arábica e conilon, respectivamente. Estas variedades se diferenciam em diversos aspectos, como composição química e física, valor de mercado e qualidade (MATULOVÁ *et al.*, 2011).

Além da classificação por gênero, existe outros tipos de classificação, como por exemplo os cafés especiais e tradicionais, no qual os grãos são classificados como especiais quando atingem pontuação mínima de 80 pontos e possuem rastreabilidade certificada, conforme avaliação no teste da xícara seguindo o protocolo da Specialty Coffee Association of America (SCAA) (SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA, 2008). Atualmente, vem crescendo o interesse por cafés especiais devido sua qualidade superior, impulsionado por novas formas de consumo e também por mudanças nas preferências dos consumidores (SEPÚLVEDA *et al.*, 2016).

No grão de café cru, os compostos mais relevantes são os fenólicos, cafeína, trigonelina, ácidos orgânicos e inorgânicos (MANCHA AGRESTI *et al.*, 2008). Destacando-se os compostos fenólicos com características antioxidantes, por desempenhar importante papel nas propriedades benéficas do café.

As características organolépticas e atributos essenciais do café são atribuídas através da complexa interação de compostos químicos formados durante a etapa de torrefação, tendo em vista que os distintos graus de torra influenciam diretamente na qualidade e nas características sensoriais da bebida (MELO, 2004; NICOLI *et al.*, 1997). Durante a torra, a maior parte dos

compostos bioativos reage com os radicais livres da reação de Maillard e são incorporados em produtos de escurecimento (DJILAS; MILIĆ, 2005) ou destruídos.

Os antioxidantes são importantes representantes das classes dos compostos bioativos, pois auxiliam na prevenção dos danos oxidativos causados por radicais livres e influenciam diversos processos fisiológicos e metabólicos (HU *et al.*, 2019). Também neutralizam espécies reativas de oxigênio, evitando modificações em macromoléculas e outros metabólitos (GRUBER; SCHAFFER; HALLIWELL, 2008).

Dentro da classe dos compostos antioxidantes, os fenólicos destacam-se não apenas pela capacidade antioxidante, mas também pelas propriedades anti-inflamatórias e antimicrobianas. Ademais, desempenham papel crucial na formação das características sensoriais, como aroma, sabor e adstringência do café (ROSSETTI, 2007).

Estudos foram realizados para avaliar o conteúdo fenólico em alimentos explorando diferentes abordagens de extração (CHAMPAGNE; FUSTIER, 2007; FONTANA; ANTONIOLLI; BOTTINI, 2013), como banho aquecido com agitação (CRUZ *et al.*, 2019), extração sequencial (DE SOUZA *et al.*, 2014) e extração sequencial assistida por ultrassom (OSZMIAŃSKI *et al.*, 2015).

O uso do micro-ondas tem se consolidado para a extração de compostos fitoquímicos (KAUR *et al.*, 2023), inclusive de amostras de café (MONTENEGRO *et al.*, 2021; WONG; NILLIAN, 2023). A metodologia explora a rotação de dipolo e processos de migração iônica para rápido aquecimento da amostra, bem como efeitos não térmicos para melhorar a extração do analito.

2. OBJETIVOS

2.1. *Objetivo geral*

O presente trabalho teve como objetivo determinar o teor de compostos fenólicos totais (CFT), empregando a extração assistida por micro-ondas e analisar a capacidade antioxidante de amostras de café especial em diferentes graus de torra.

2.2. *Objetivos específicos*

- a) Extrair os CFT utilizando a extração assistida por radiação micro-ondas;
- b) Quantificar os compostos fenólicos totais, utilizando a espectrofotometria UV-Vis;
- c) Determinar a atividade antioxidante através dos ensaios DPPH e ABTS;
- d) Analisar a influência dos diferentes graus de torra e identificar tendências ou diferenças significativas na concentração de CFT e na atividade antioxidante.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Composição química do café verde

O grão de café verde é composto por diversos minerais, tais como potássio, magnésio, cálcio, sódio, ferro manganês, zinco e cobre. Além disso, é rico em aminoácidos como alanina, arginina, ácido glutâmico, glicina e histidina, e em lipídios, como triglicerídeos e ácidos graxos livres. Os açúcares presentes incluem sacarose, glicose, frutose, arabinose, galactose, maltose e polissacarídeos. Entretanto, os ácidos clorogênicos, pertencentes à classe dos compostos fenólicos, são os mais abundantes, correspondendo entre 7 a 10% do conteúdo total (NASCIMENTO, 2006).

A constituição química do grão de café inclui variedade de componentes voláteis e não voláteis, que desempenham papéis fundamentais na definição dos atributos organolépticos de sabor e aroma da bebida. Ambos são formados durante a etapa de torrefação, sendo as substâncias voláteis responsáveis pelo aroma e as não voláteis pelas sensações de acidez, amargura e adstringência (BUFFO; CARDELLI-FREIRE, 2004).

3.1.1. Torrefação

O processo de torrefação dos grãos envolve uma fase pirolítica, que resulta na conversão da água interna em vapor, catalisando uma série de reações e síntese de compostos não-voláteis e voláteis (NASCIMENTO, 2006).

O impacto desse processo é evidenciado pela degradação e síntese ou liberação de vários compostos químicos por meio de reações de Maillard, quebra de aminoácidos, degradação da trigonelina, ácido quínico, pigmentos, lipídios e a interação entre produtos intermediários (BUFFO; CARDELLI-FREIRE, 2004).

Os compostos bioativos estão presentes tanto no grão de café cru quanto no grão torrado, porém em diferentes concentrações e estruturas químicas. No processo de torrefação, diversos compostos bioativos sofrem transformações químicas, podendo interagir com radicais livres provenientes da reação de Maillard, sendo incorporados em produtos de escurecimento ou completamente degradados (DJILAS; MILIĆ, 2005).

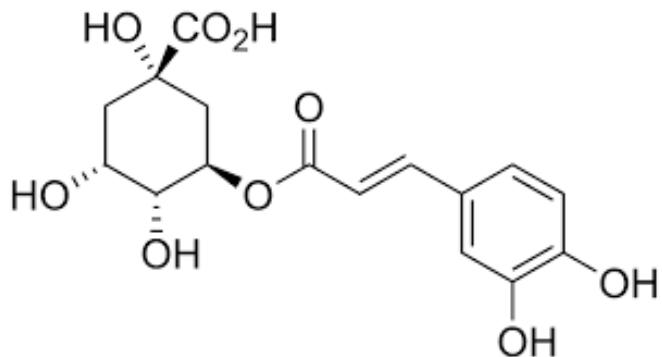
3.1.2. Antioxidantes

Duas classificações de antioxidantes são relatadas: primários e secundários diferenciando-se pela forma de atuação. Os antioxidantes primários agem como doadores de

prótons e são representados por compostos fenólicos, aminoácidos, tocoferóis e carotenoides. Enquanto, os antioxidantes secundários bloqueiam a decomposição de peróxidos e hidroperóxidos, convertendo-os em formas inativas por meio de agentes redutores, interrompendo a reação em cadeia ao captar intermediários reativos como radicais peroxila e alcoxila. Neste grupo, estão incluídos antioxidantes sintéticos, vitaminas A e E e compostos fenólicos (DONNELLY; ROBINSON, 1995).

Nos grãos de café verde, os compostos com atividade antioxidante mais abundantes são os ácidos clorogênicos (Figura 1), que possuem propriedades bem estabelecidas de neutralização de radicais livres, conferindo proteção contra o estresse oxidativo (HU *et al.*, 2019). Apesar de sofrerem degradação durante a torrefação, ainda permanecem presentes em concentrações significativas no café torrado (NASCIMENTO, 2006).

Figura 1: Estrutura química do 5-O-cafeoilquínico representante da classe dos ácidos clorogênicos.



Fonte: Autora.

Antioxidantes e compostos fenólicos, embora frequentemente inter-relacionados, possuem distinções conceituais e funcionais. Antioxidante é uma característica química que alguns compostos apresentam, sendo capazes de neutralizar radicais livres, evitando danos oxidativos (HU *et al.*, 2019). Por outro lado, compostos fenólicos constituem uma classe específica de moléculas orgânicas compostas por um ou mais núcleos aromáticos com substituintes hidroxilados e/ou derivados funcionais, como glicosídeos, ésteres e éteres (MAMARI; MAMARI, 2021). Muitos compostos fenólicos, como os ácidos clorogênicos e flavonoides, têm propriedades antioxidantes, entretanto, nem todos os fenólicos atuam como antioxidantes, assim como nem todas as moléculas com característica antioxidante pertencem à classe dos fenólicos.

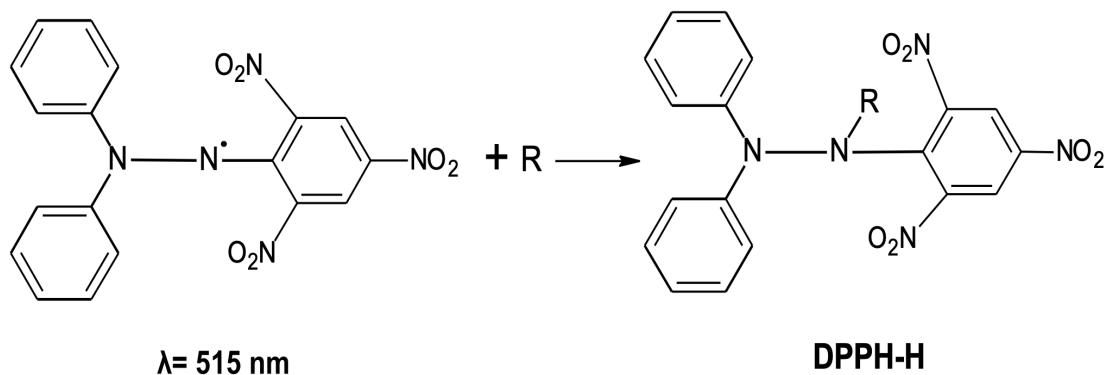
Para avaliar a atividade antioxidante dos compostos bioativos, não há um método simples e universal, em virtude dos diferentes tipos de radicais livres e formas de atuação nos organismos vivos. Para garantir uma avaliação precisa e escolher a metodologia apropriada, é necessário identificar quais radicais são gerados, como agem, onde atuam e a gravidade do dano causado. Os ensaios antioxidantes aplicados em alimentos e sistemas biológicos podem ser classificados em dois grupos: ensaios que avaliam a peroxidação lipídica, onde lipídio ou substrato lipoproteico é submetido a condições controladas, medindo o grau de inibição da oxidação, e aqueles que quantificam a capacidade de sequestrar radicais livres (ALVES *et al.*, 2010).

Entre os métodos mais empregados para a determinação do potencial antioxidante, destacam-se os ensaios de DPPH (2,2-difenil-1-picrilidrazil) (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995) e ABTS [2,2-azinobis (3-etylbenzoatiazolina-6-ácido sulfônico)] (NENADIS *et al.*, 2004), por serem métodos bem estabelecidos e confiáveis.

O DPPH é um radical de nitrogênio orgânico, estável, de coloração violeta, e aplicado para determinar o potencial antioxidante de compostos em sequestrar radicais livres, sendo um dos mais utilizados por ser considerado rápido, eficaz e estável.

Na presença de doador de hidrogênio ou elétron, a intensidade de absorção é reduzida, fazendo com que a solução violeta se torne amarela. A mudança na coloração é causada quando o átomo de nitrogênio do DPPH, com elétron desemparelhado, captura átomo de hidrogênio fornecido por compostos antioxidantes (Figura 2).

Figura 2: Reação de captura do DPPH.

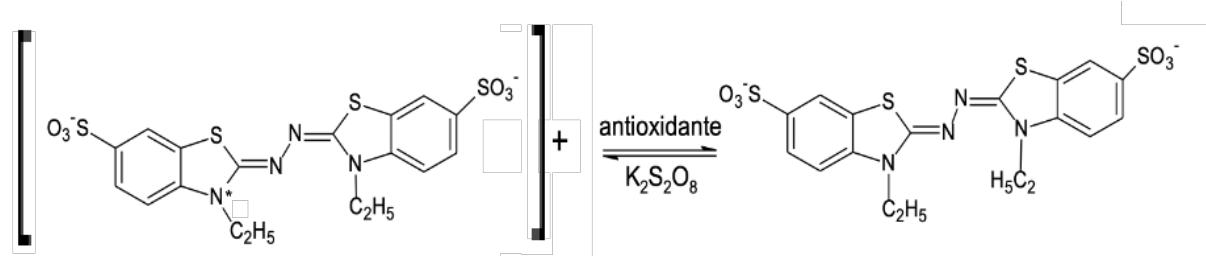


Fonte: Autora.

O radical ABTS^{•+} é gerado a partir do ácido 2,2-azino-bis(3-etylbenzotiazolin)-6-sulfônico, apresentando alta solubilidade em água e máximo de absorção em 414 nm, além de medidas secundárias em 645, 734 e 815 nm.

O ensaio de ABTS é fundamentado na formação do radical ABTS^{•+}, que apresenta coloração azul esverdeada, por meio da reação entre ABTS e persulfato de potássio (Figura 3). A adição de um antioxidante promove a redução do radical, causando perda de coloração no meio reacional. Essa alteração de cor permite a avaliação da porcentagem de inibição do radical em relação ao padrão Trolox, que é submetido às mesmas condições analíticas.

Figura 3: Redução do radical livre ABTS por antioxidante.



Fonte: Autora.

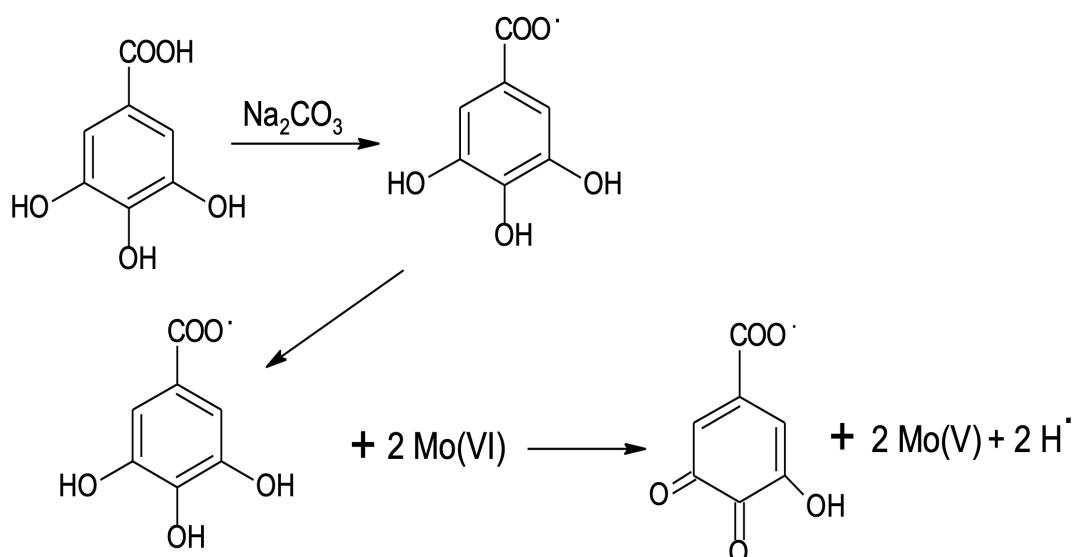
3.2. Extração e quantificação de compostos fenólicos totais

Estudos focados na quantificação de compostos fenólicos em alimentos exploraram diferentes técnicas de extração, como a agitação com aquecimento em banho-maria (CRUZ *et al.*, 2019), que atua aquecendo e agitando a amostra, a transferência de calor à amostra promove a interação e solubilização das moléculas (MOTA *et al.*, 2008). Enquanto a extração sequencial (DE SOUZA *et al.*, 2014) é realizada através da utilização de dois solventes orgânicos que interagem com os compostos por polaridade, e a extração sequencial assistida por ultrassom (OSZMIAŃSKI *et al.*, 2015) é baseada na ação de ondas mecânicas de baixa frequência que resultam em cavitação com bolhas de alta energia combinadas com pressão, o que facilita o processo de extração (CACIQUE *et al.*, 2020).

Embora as técnicas apresentadas sejam eficazes, apresentam limitações em termos de atender os princípios da química verde (ANASTAS; EGHBALI, 2009), como o uso de solventes orgânicos em grande quantidade, nível de toxicidade dos reagentes empregados, geração de grande volume de resíduos, baixa eficiência de extração. Um sistema alternativo e sustentável para novos métodos de extração de compostos orgânicos é o uso da extração assistida por micro-ondas, visto que consegue reduzir o volume de amostra, reagentes e resíduo, além de conseguir reduzir tempo de extração (TSUKUI; REZENDE, 2014).

O método desenvolvido por Singleton *et al.* (SINGLETON; ORTHOFER; LAMUELA-RAVENTÓS, 1999) vem sendo empregado como metodologia padrão em estudos de quantificação de compostos fenólicos totais em diversas matrizes alimentares. O reagente de Folin-Ciocalteau, baseia-se na redução dos ácidos fosfomolíbdico ($H_3PMo_{12}O_{40}$) e fosfatúngstico ($H_3PW_{12}O_{40}$) pelas hidroxilas fenólicas em meio alcalino, geralmente alcançado com solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3). Isso gera complexos azulados de molibdênio (Mo_8O_{23}) e tungstênio (W_8O_{23}) que absorvem radiação em torno de 770 nm (Figura 4).

Figura 4: Reação do ácido gálico com o reagente de Folin-Ciocalteau.



Fonte: Autora.

3.3. Tendências da literatura científica: análise ciaciometria

A ciaciometria surge como uma vertente da bibliometria que consiste em aplicar técnicas numéricas analíticas a fim de avaliar quantitativamente e analisar as intercomparações da atividade, produtividade e progresso da ciência através das publicações de artigos científicos, enquanto a bibliometria estuda a literatura como um todo (SILVA; BIANCHI, 2001).

Essa perspectiva de estudo permite visualizar de maneira ampla os impactos de um determinado tema, indicando quantitativamente os autores mais influentes, as palavras-chave mais empregadas, número de citações de um autor, as instituições e/ou países com maior produção científica, dentre outros quesitos de um determinado banco de dados (SILVA; BIANCHI, 2001).

A *Web of Science* (WoS) consiste em uma base de dados mundial e multidisciplinar que unifica artigos de conceituadas revistas científicas. Permite a identificação de citações e referências da produção científica. Sendo que as citações são responsáveis por certificar que um determinado trabalho possui embasamento teórico firme e técnico, garantindo a confiabilidade.

Softwares são empregados para realização das análises cienciométricas como o VOSviewer (VAN ECK; WALTMAN, 2010). Este é especializado em visualização e análise de dados de redes bibliométricas, oferecendo a possibilidade de criação e interpretação de mapas de redes de diversos parâmetros, como redes de coautoria, citações e palavras-chave.

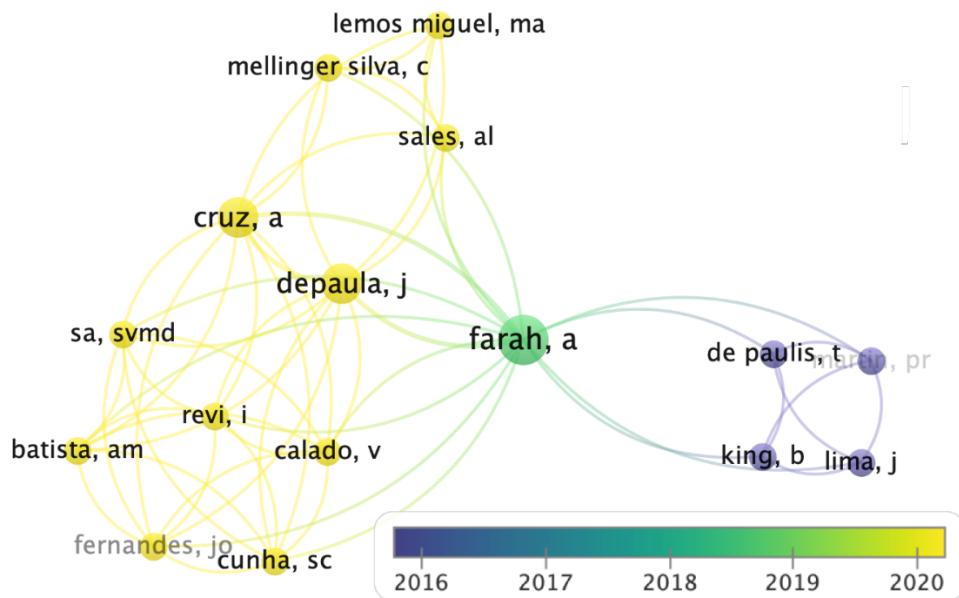
Mediante a utilização de algoritmos avançados de *clustering* e visualização, o VOSviewer contribui significativamente na identificação de padrões e tendências em grande volume de dados bibliométricos, possibilitando que os pesquisadores explorem profundamente as relações e influências na literatura. A geração e mapas interativos e detalhados é um diferencial que torna o software importante ferramenta para a análise e representação gráfica de dados complexos, auxiliando na compreensão da estrutura e dinâmica do campo de pesquisa científica global (VAN ECK; WALTMAN, 2010).

Nas pesquisas realizadas empregando a WoS, para a formação do banco de dados, foi realizado o recorte temporal, considerando os últimos 10 anos (janeiro de 2014 a julho de 2024). As palavras-chave empregadas foram “roasted coffee + phenolic compounds” (Pesquisa 1) e “roasted coffee + “chlorogenic acid” (Pesquisa 2) e foram excluídos os artigos científicos de revisão, uma vez que a cienciometria não engloba esse tipo de documento. Além disso, a busca também foi direcionada pela área de pesquisa, selecionando a opção “*Food Science Technology*”, logo exibindo apenas pesquisas relacionadas à área de ciência e tecnologia de alimentos com ênfase ao conteúdo de compostos fenólicos e ácidos clorogênicos em café torrado. Desta maneira, resultou em 123 artigos para ser realizada a análise cienciométrica, conforme descrita nos itens a seguir.

3.3.1. Análise de autores

Primeiramente, foi realizada análise dos autores dentro da temática (Figura 5). Foi possível visualizar a rede de coautoria, que apresenta a colaboração entre autores dos últimos 10 anos. Cada círculo no gráfico representa os autores, enquanto as conexões entre os círculos representam a coautoria em publicações científicas. A coloração dos círculos e das conexões varia de acordo com o ano da publicação, conforme indicado pela legenda na parte inferior do gráfico, que vai de azul (publicações mais antigas) a amarelo (publicações mais recentes).

Figura 5: Gráfico de visualização de rede de coautoria.

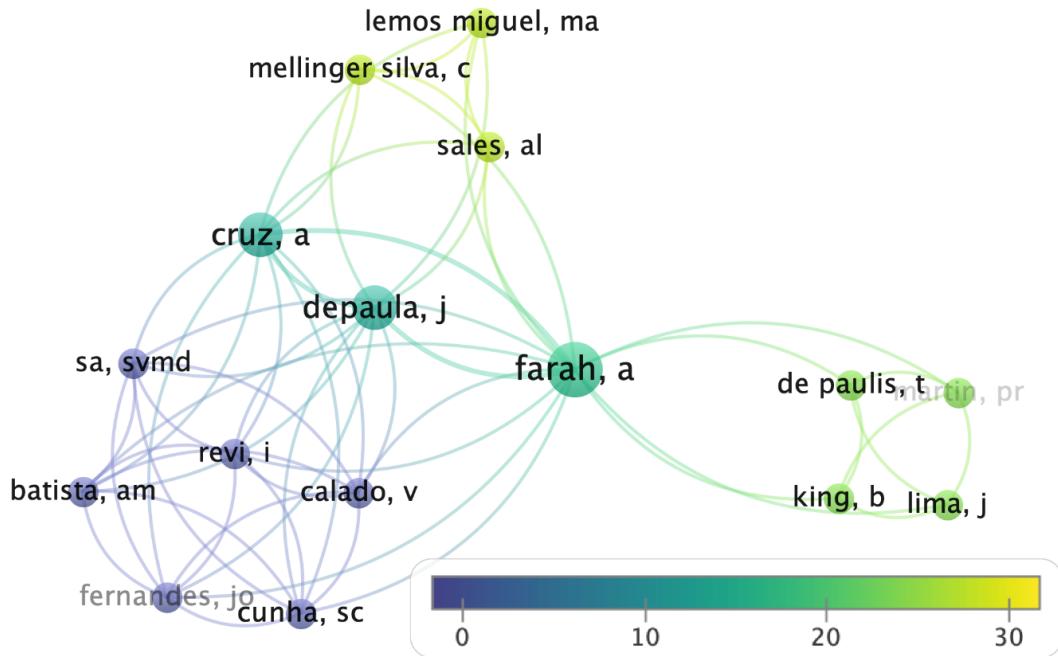


Fonte: Software VOSviewer.

Conforme Figura 5, foi perceptível a evolução das colaborações entre os autores ao longo dos anos. O autor *Farah, A.* sobressai pela posição central na rede, indicando ser colaborador frequente com muitos autores, atuando como ponto de ligação entre diferentes grupos, facilitando a troca de conhecimento e colaboração entre subgrupos distintos. *Farah, A.* se destacou como principal pesquisador no assunto até 2018, se tornando a ponte entre os novos pesquisadores e antigos, quando se trata da avaliação de compostos bioativos em café torrado. Pode-se perceber também uma separação temporal nas colaborações, com determinados grupos de autores trabalhando mais intensamente em períodos específicos, o que reflete na mudança das dinâmicas de colaboração ao longo do tempo.

Na construção da Figura 6, as citações dos autores foi o principal parâmetro, onde a cor dos círculos varia de acordo com o número de citações que cada autor recebeu, conforme a legenda na parte inferior do gráfico.

Figura 6: Gráfico de visualização de rede de citação entre autores.



Fonte: Software VOSviewer.

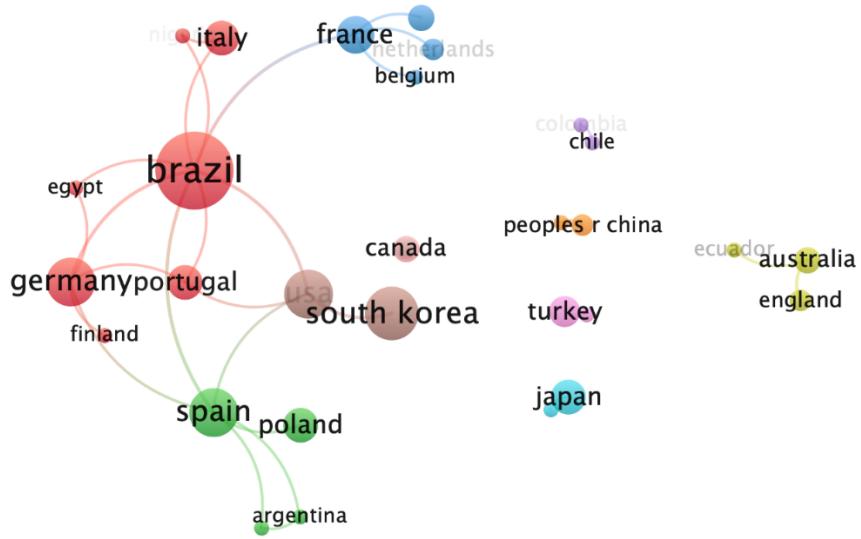
Os autores *Farah*, *Depaula* e *Cruz* aparecem em tom esverdeado, indicando serem autores que são bens citados, porém os autores *Lemos Miguel*, *Mellinger Silva*, *Sales*, *de Paulis*, *King* e *Lima* são os que mais se aproximam da cor amarela, demonstrando que são alguns dos autores mais citados. Logo, esses autores são os principais geradores de conhecimento quando se trata de compostos bioativos (ácidos clorogênicos e compostos fenólicos) em café torrado nos últimos 10 anos.

A análise conjunta das Figuras 5 e 6 com *Farah, A.* em posição central em ambos os gráficos, indica que o autor não apenas colabora extensivamente com outros pesquisadores, mas também foi amplamente citado, demonstrando influência significativa na temática.

3.3.2. Análise de países

A Figura 7 apresenta uma visualização de rede com as conexões ou relacionamentos entre diferentes países, onde o tamanho dos círculos indica a quantidade de artigos publicados de cada país e as cores são responsáveis por separar as conexões.

Figura 7: Gráfico de visualização de rede de países.



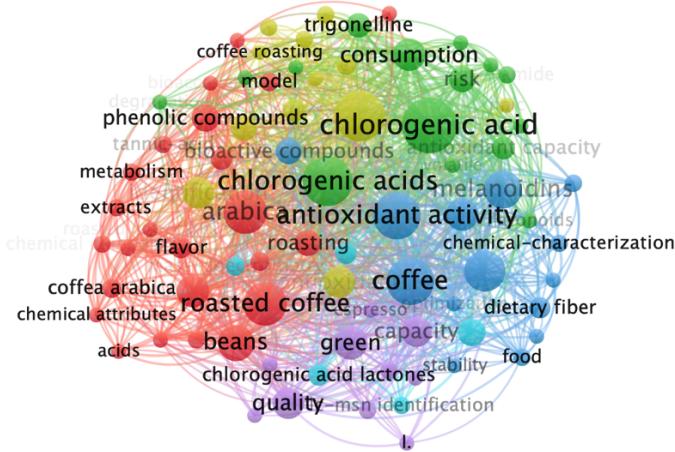
Fonte: Software VOSviewer.

O Brasil está alocado ao centro e fortemente conectado a vários países, indicando posição de grande importância ou influência na rede, sendo condizente com análise de autores (Figuras 6 e 7), uma vez que o pesquisador *Farah, A.* é brasileiro. Demonstrando que nos últimos 10 anos, o Brasil vem se destacando como o principal gerador do conhecimento científico quando se trata de compostos bioativos (ácidos clorogênicos e compostos fenólicos) em café torrado. Espanha e França também se destacam como centrais, enquanto outros como Japão, Austrália e Canadá são mais isolados.

3.3.3. Análise de palavras-chave

Na Figura 8 tem-se visão detalhada sobre os temas mais frequentes e interligados na área de pesquisa (compostos fenólicos e ácidos clorogênicos em café torrado). A análise elucida a centralidade de termos como “chlorogenic acids”, “coffee” e “roasted coffee”, os quais se destacam como tópicos centrais e frequentemente discutidos na literatura científica.

Figura 8: Gráfico de visualização de rede de palavras-chave.



Fonte: Autora.

Esta análise abrangente do gráfico de palavras-chave (Figura 8) forneceu visão clara das principais áreas de pesquisa e interrelações no campo do café, demonstrando como diferentes aspectos do café são estudados de forma integrada e interdisciplinar.

Os *clusters* de palavras-chave indicam diferentes áreas de foco dentro do tema proposto. O *cluster* verde, com palavras como “chlorogenic acid” e “consumption”, sugere interesse significativo nos efeitos do consumo de café e a influência de seus componentes na saúde. Como pode ser visto no trabalho de MONTENEGRO *et al.*, 2021, no qual buscou avaliar a influência de compostos bioativos, após extração assistida por micro-ondas de extratos de café verde e torrado, quanto a atividade antioxidante e efeitos antiproliferativos em células de câncer de próstata.

O *cluster* vermelho, contendo termos como “roasting” e “flavor”, indica foco nos processos de torra do café e como afetam o sabor e os compostos químicos do café, abordando aspectos mais técnicos e sensoriais da preparação da bebida. Como foi explicado por WU *et al.*, 2022b, no qual buscou avaliar como a torra pode influenciar nos compostos fenólicos e voláteis.

No *cluster* azul, palavras como “coffee”, “antioxidant activity” e “bioactive compounds” sugerem forte interesse nas propriedades antioxidantes dos compostos bioativos do café. No estudo de MUÑOZ *et al.*, 2020, foram avaliadas as diferenças na capacidade antioxidante e nos compostos fenólicos do café verde e torrado e a relação com as propriedades sensoriais.

Por fim, no *cluster* roxo, contém termos como “green” e “quality”, apontando para pesquisa focada na qualidade do café, desde o grão verde até o produto final. Neste grupo, ocorre uma indicação de como os ácidos clorogênicos e as lactonas impactam a qualidade e as

características do café. O que foi demonstrado por KITZBERGER *et al.*, 2020, no qual foi avaliado o impacto dos precursores de sabor e atributos sensoriais do café quando submetido a diferentes processamentos pós-colheita.

A densa rede de conexões entre essas palavras destaca a interconexão dos vários aspectos da pesquisa sobre café, refletindo em abordagem multidisciplinar, a qual inclui química, saúde, processamento e beneficiamento do grão e avaliação sensorial. A centralidade de termos como "*chlorogenic acid*" e "*antioxidant activity*" sugere que estes são tópicos de alta importância e foco na literatura científica nestes últimos 10 anos. Demonstrando que existe relevante investigação quanto aos compostos bioativos presentes no café, sendo que determinados autores e países possuem impacto significativo nesse campo.

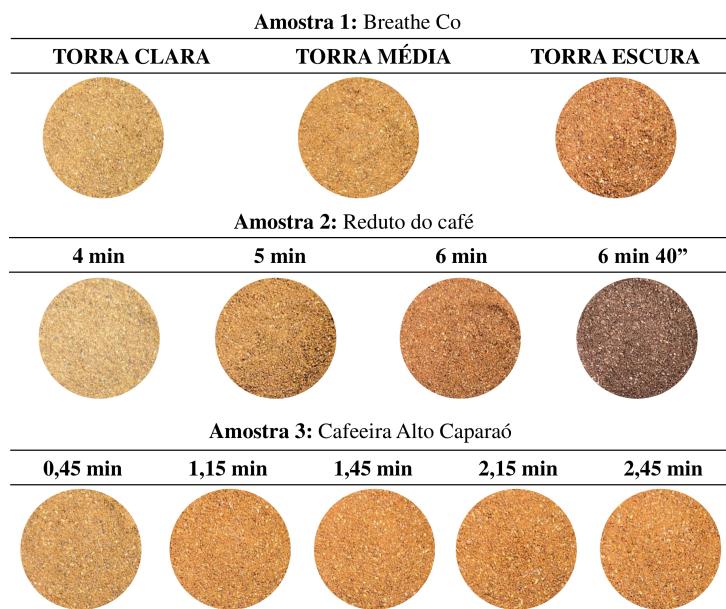
Ademais, é possível verificar que o Brasil desempenha papel central na rede de publicações, estabelecendo colaborações numerosas com países estrangeiros. Os compostos fenólicos e ácidos clorogênicos são amplamente estudados em pesquisas devido aos possíveis benefícios à saúde, incluindo propriedades antioxidantes e potenciais anticancerígenos. Ao longo dos anos, o interesse por essa área tem continuamente crescido conforme as tendências temporais sugerem, além disso, foi possível observar clara evolução nos tópicos emergentes.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Amostras, reagentes e equipamentos

As amostras de grãos especiais foram obtidas de três fornecedores diferentes, Breathe Co (3 amostras), Reduto do Café (4 amostras) e Cafeeira Alto Carapó (5 amostras). As amostras foram previamente torradas pelos fornecedores em diferentes graus de torra (Figura 9).

Figura 9: Curvas de torra das amostras de café especial separadas por fornecedor.



Fonte: Autora.

Os equipamentos e reagentes para o desenvolvimento desse trabalho estavam disponíveis no Laboratório de Analítica e Química de Alimentos da ESALQ/USP. Para as análises, foram empregados água deionizada ($18,2 \text{ M}\Omega \text{ cm}$ a 25°C) e reagentes de grau analítico, como etanol, DPPH (2,2-difenil-1-picrilidrazil), ABTS [2,2-azinobis(3-etylbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)], persulfato de potássio, Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico), reagente de Folin-Ciocalteu, carbonato de sódio e ácido gálico. No preparo das amostras foram empregado balança analítica (Mettler Toledo, modelo ME104), moinho de facas (Tecnal, modelo TE-631/4), forno micro-ondas (MILESTONE, modelo Ethos One) e espectrofotômetro UV-Vis (AGILENT, modelo Cary 60).

Os grãos de café foram moídos e peneirados (20 mesh) para padronização e armazenados sob vedação em tubos tipo Falcon®, de forma com que não houvesse exposição à luz.

4.2. Atividade antioxidante

4.2.1. Preparo da bebida

O método de infusão foi utilizado para preparar a bebida, conforme o protocolo de análise sensorial de café (SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA, 2008). Foi pesado 0,6875 g de café moído e mantido em contato com 12,5 mL de água aquecida a 90°C por 5 minutos, sendo posteriormente filtrada em papel filtro convencional.

4.2.2. Determinação da atividade antioxidante pelo método do radical DPPH

Foram adicionados em tubos tipo Falcon® 1320 µL da bebida café diluída em água na proporção 1:25 (v/v) e 2680 µL do radical DPPH 1,5 mmol L⁻¹ em etanol absoluto. As soluções foram homogeneizadas, incubadas por 45 min à temperatura ambiente e ao abrigo da luz, seguida da determinação espectrofotométrica em 522 nm (AL-DUAIS *et al.*, 2009; BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995).

Os resultados obtidos foram expressos em capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (mg de capacidade antioxidante equivalente de Trolox-TEAC por 100 g de café torrado). Todas as determinações foram efetuadas em triplicata.

4.2.3. Determinação da atividade antioxidante pelo método do radical ABTS

O radical ABTS foi obtido através da reação da solução ABTS 7 mmol L⁻¹ com a solução de persulfato de potássio 140 mmol L⁻¹, mantido por 16 horas em temperatura ambiente e sob ausência de luz. Após a formação, a solução do radical foi diluída em etanol absoluto na proporção 1:100 (v/v) (NENADIS *et al.*, 2004).

Foram adicionados 30 µL da bebida café diluída em água na proporção 1:25 (v/v) e 3000 µL do radical ABTS em tubos tipo Falcon®. Os tubos foram agitados e a determinação espectrofotométrica foi realizada em 734 nm, após 6 min de reação (NENADIS *et al.*, 2004).

Os resultados obtidos foram expressos em mg de TEAC por 100 g de café torrado moído (AL-DUAIS *et al.*, 2009). Todas as determinações foram efetuadas em triplicata.

4.3. Compostos fenólicos totais

4.3.1. Extração assistida por micro-ondas

Para a realização da extração dos compostos fenólicos totais através do micro-ondas, 0,5 g de amostra foi colocada em frasco de PEEK para micro-ondas juntamente com 30 mL de etanol 50% (v/v), a temperatura foi ajustada para 50 °C e o tempo de extração foi de 10 minutos, conforme condições de extração otimizadas previamente.

4.3.2. Determinação do conteúdo de compostos fenólicos totais

A determinação dos compostos fenólicos totais foi realizada espectrofotometricamente em 770 nm, conforme proposto por SINGLETON; ORTHOFER; LAMUELA-RAVENTÓS, 1999. Uma alíquota de 600 µL do extrato hidroalcoólico diluído na proporção 1:25 (v/v) foi transferida para tubo tipo Falcon® de 15 mL com adição de 3000 µL do reagente de Folin-

Ciocalteau. Após 5 min de reação, foram adicionados 2250 µL de Na₂CO₃ 4% (m/v), a mistura foi homogeneizada e mantida em temperatura ambiente sob abrigo da luz por 40 min. O conteúdo de compostos fenólicos totais foi expresso em concentrações equivalentes de ácido gálico (mg GAE g⁻¹). Todas as determinações foram efetuadas em triplicata.

4.4. Análise estatística

Para a análise de dados foi utilizado o Software “OriginLab”, versão 2022 (OriginLab Corporation, Massachusetts). Os dados foram avaliados por meio da análise de variância (ANOVA) e a comparação das médias pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95% ($\alpha=0.05$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As informações sobre as faixas de concentração, as equações de reta, os coeficientes de correlação e os limites de detecção e quantificação das análises realizadas nas amostras de café estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Características analíticas das análises realizadas.

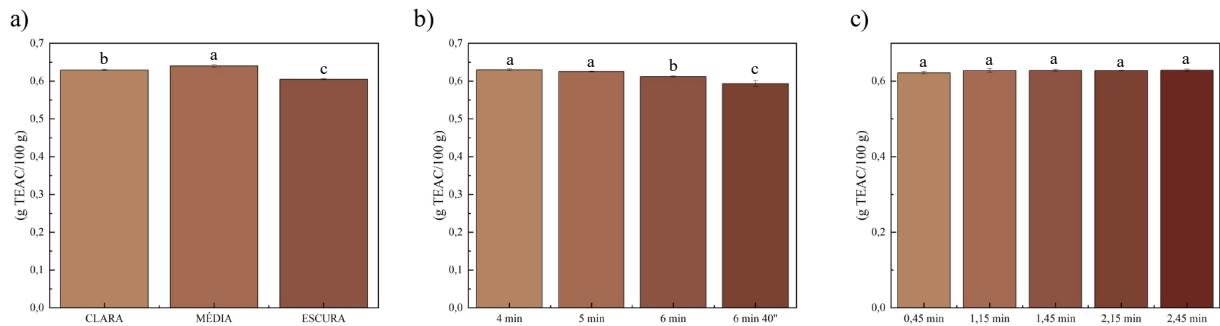
Análise	Resposta linear	Equação	R ²	LD	LQ	CV (n = 11)
Atividade antioxidante – DPPH (mmol L ⁻¹)	0,02 - 0,10	A = -7,6 + 0,82 C	0,996	0,003	0,009	2,93%
Atividade antioxidante – ABTS (mmol L ⁻¹)	100 - 2000	A = -2,1 + 0,57 C	0,994	0,02	0,06	2,56%
Fenólicos totais (mg L ⁻¹)	10 – 50	A = -0,0131 + 0,0091 C	0,999	1,14	3,47	0,76%

Fonte: Autora. R²: coeficiente de correlação; LD: limite de detecção; LQ: limite de quantificação e CV: Coeficiente de variação.

5.1. Avaliação da atividade antioxidante pelo método do radical DPPH

Na Figura 10a-c são apresentados os resultados da atividade antioxidante pelo ensaio DPPH para as amostras de café Breathe Co (Figura 10a), Reduto do Café (Figura 10b) e Cafeeira Alto Caparaó (Figura 10c) e na Tabela 2 são apresentados os valores numéricos correspondentes e desvio padrão.

Figura 10: Atividade antioxidante (DPPH) das amostras de café Breathe Co (a), Reduto do Café (b) e Cafeeira Alto Caparaó (c).



Fonte: Autora.

Tabela 2: Atividade antioxidante (DPPH) das amostras de café (média ± desvio padrão), expressos em g TEAC/100 g.

Produtor	Amostra			
<i>Breathe Co</i>	CLARA	MÉDIA	ESCURA	
	0,6292 ± 0,002	0,6402 ± 0,003	0,6052 ± 0,001	
<i>Reduto do Café</i>	4 min	5 min	6 min	6 min 40"
	0,6302 ± 0,002	0,6252 ± 0,001	0,6123 ± 0,002	0,5936 ± 0,008
<i>Cafeeira Alto Caparaó</i>	0,45 min	1,15 min	1,45 min	2,15 min
	0,6221 ± 0,004	0,6282 ± 0,005	0,6283 ± 0,003	0,6280 ± 0,001
				2,45 min
				0,6289 ± 0,003

Para as amostras da Breathe Co (torras clara, média e escura), Figura 10a, a Análise de Variância (ANOVA) com nível de confiança de 95%, mostrou que as torras diferem significativamente entre si. A torra média apresentou a maior atividade antioxidante, sugerindo que essa intensidade pode ser a ideal para maximizar e preservar os compostos antioxidantes característicos da amostra.

Nas amostras da Reduto do Café (tempos de torra de 4, 5, 6 e 6 minutos e 40 segundos), Figura 10b, observou-se variação mínima na atividade antioxidante. A análise ANOVA indicou que as torras de 4 e 5 minutos apresentaram valores antioxidantes mais altos e foram estatisticamente semelhantes entre si. Esses resultados sugerem que tempos mais curtos de exposição ao calor (neste intervalo específico) podem otimizar a atividade antioxidante, preservando melhor os compostos bioativos.

Para as amostras da Cafeeira Alto Caparaó, Figura 10c (tempos de torra de 0,45, 1,15, 1,45, 2,15 e 2,45 minutos), a atividade antioxidante manteve-se estável, sem diferenças estatisticamente significativas. O que está em acordo com o observado na Figura 10b, em que tempos de torra abaixo de 5 min, não afetaram a atividade antioxidante da bebida de café.

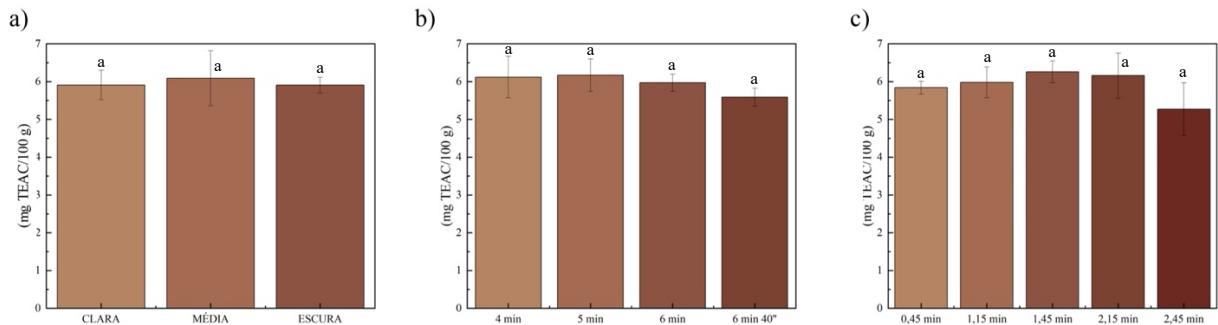
Conforme estudos como os de SMRKE *et al.*, 2013 e outros trabalhos sobre química do café, compostos antioxidantes, como os ácidos clorogênicos, tendem a degradar-se à medida que a torra avança devido às temperaturas elevadas. Contudo, essa degradação é acompanhada pela formação de novos antioxidantes, como as melanoidinas, resultantes da reação de Maillard, que contribuem significativamente para a atividade antioxidante, especialmente nas torras mais escuras (WOŁOSIAK *et al.*, 2023). Entretanto, enquanto essas torras mais escuras são ricas em melanoidinas, apresentam menor conteúdo de fenóis originais, como os ácidos clorogênicos devido a degradação.

A estabilidade observada na amostra Cafeeira Alto Caparaó pode indicar que, dependendo do perfil químico específico de cada grão, alguns cafés conseguem manter a atividade antioxidante ao longo de diferentes níveis de torra. No entanto, a análise conjunta das amostras da Breathe Co e Reduto do Café indica que, em geral, as torras médias estão mais associadas ao pico de atividade antioxidante, representando um equilíbrio entre preservação e formação de antioxidantes.

5.2. Avaliação da atividade antioxidante pelo método do radical ABTS

Na Figura 11a-c são apresentados os resultados da atividade antioxidante pelo ensaio ABTS para as amostras de café Breathe Co (Figura 11a), Reduto do Café (Figura 11b) e Cafeeira Alto Caparaó (Figura 11c) e na Tabela 3 são apresentados os valores numéricos correspondentes e desvio padrão.

Figura 11: Atividade antioxidante (ABTS) das amostras de café Breathe Co (a), Reduto do Café (b) e Cafeeira Alto Caparaó (c).



Fonte: Autora.

Tabela 3: Atividade antioxidante (ABTS) das amostras de café (média ± desvio padrão) expressos em mg TEAC/100 g.

Produtor	Amostra		
Breathe Co	CLARA	MÉDIA	ESCURA
	5,91 ± 0,39	6,09 ± 0,73	5,91 ± 0,39
Reduto do Café	4 min	5 min	6 min
	6,12 ± 1,55	6,17 ± 0,77	5,97 ± 0,23
			6 min 40"
			5,59 ± 0,24
Cafeeira Alto Caparaó	0,45 min	1,15 min	1,45 min
	5,84 ± 0,17	5,98 ± 0,41	6,26 ± 0,29
			2,15 min
			6,16 ± 0,60
			2,45 min
			5,27 ± 0,70

Para as amostras de Breathe Co, Figura 11a (torras clara, média e escura), não foram observadas diferenças significativas na atividade antioxidante. Esse comportamento pode ser atribuído à resistência de certos compostos antioxidantes, como as melanoidinas e outros produtos da reação de Maillard, que se formam durante a torra e podem compensar a degradação dos antioxidantes originais, como os ácidos clorogênicos (BASSOLI; VIGNOLI; VIEGAS, 2008; RAMALAKSHMI; RAHATH KUBRA; JAGAN MOHAN RAO, 2008). Essa estabilidade é consistente com a literatura, onde o método ABTS tem sido eficaz em quantificar compostos antioxidantes formados na torra, os quais permanecem relativamente estáveis mesmo em diferentes níveis de intensidade.

As amostras de Reduto do Café, Figura 11b, torradas por 4, 5, 6 e 6 minutos e 40 segundos, também apresentaram atividade antioxidante constante e sem diferenças

significativas entre os tempos de torra. A estabilidade observada sugere que a composição antioxidante desses grãos é resistente ao aumento do tempo de exposição ao calor. Estudos anteriores confirmam que, em cafés, a estabilidade antioxidante pode ser mantida devido à formação de compostos resistentes ao calor, especialmente as melanoidinas, que contribuem para a atividade antioxidante em torras mais intensas (DEL CASTILLO; AMES; GORDON, 2002).

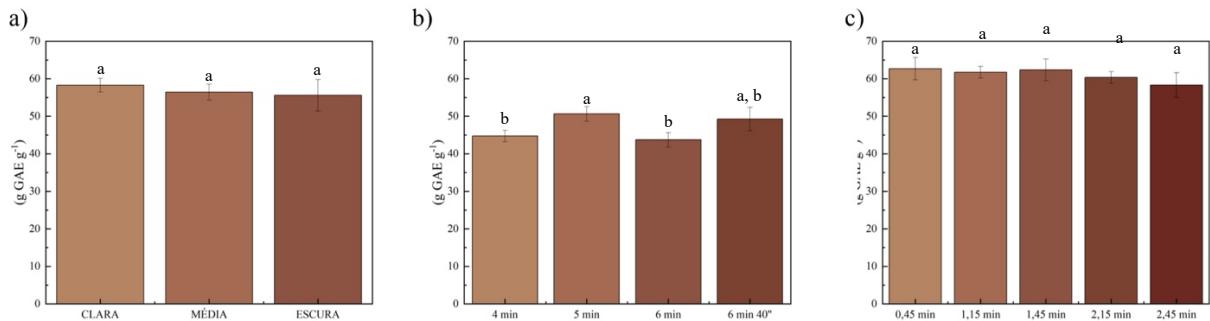
As amostras de Cafeeira Alto Caparaó (torras de 0,45 a 2,45 minutos), Figura 11c, também não mostraram diferenças estatisticamente significativas na atividade antioxidante. Esse resultado sugere que os compostos antioxidantes presentes nessa amostra são particularmente resistentes à degradação nas condições de torra avaliadas. CORTÉS-MACÍAS *et al.*, 2022 demonstraram que, sob certas condições de processamento térmico, antioxidantes específicos, incluindo produtos da reação de Maillard, mantêm a integridade e contribuem para atividade antioxidante consistente, mesmo com o aumento do tempo de exposição ao calor.

As discrepâncias entre os resultados dos métodos ABTS e DPPH podem ser atribuídas à sensibilidade de cada método a diferentes tipos de compostos antioxidantes. O método ABTS, por exemplo, é mais eficaz em detectar uma ampla gama de compostos antioxidantes, incluindo aqueles formados durante a torra, como as melanoidinas. Isso resulta em maior estabilidade nos valores medidos pelo ABTS, mesmo em torras mais avançadas, enquanto o DPPH tende a ser mais sensível aos compostos fenólicos que podem ser degradados durante a torra (SONG *et al.*, 2018).

5.3. Avaliação do conteúdo de compostos fenólicos totais

Na Figura 12a-c são apresentados os resultados do conteúdo de compostos fenólicos totais para as amostras de café Breathe Co (Figura 12a), Reduto do Café (Figura 12b) e Cafeeira Alto Caparaó (Figura 12c) e na Tabela 4 são apresentados os valores numéricos correspondentes e desvio padrão.

Figura 12: Conteúdo de compostos fenólicos totais das amostras de café Breathe Co (a), Reduto do Café (b) e Cafeeira Alto Caparaó (c).



Fonte: Autora.

Tabela 4: Conteúdo de compostos fenólicos totais das amostras de café (média ± desvio padrão) expressos em g GAE/g.

Produtor	Amostra		
Breathe Co	CLARA	MÉDIA	ESCURA
	58,30 ± 1,82	56,43 ± 2,15	55,60 ± 4,18
Reduto do Café	4 min	5 min	6 min
	44,74 ± 1,52	50,63 ± 1,96	43,75 ± 1,93
		6 min 40"	49,27 ± 3,12
Cafeeira Alto Caparaó	0,45 min	1,15 min	1,45 min
	62,70 ± 2,98	61,73 ± 1,53	62,38 ± 2,89
		2,15 min	2,45 min
		60,36 ± 1,55	58,33 ± 3,34

Para as amostras Breathe Co, Figura 12a (clara, média e escura), não foram observadas variações significativas no teor de compostos fenólicos totais pela ANOVA, com nível de confiança de 95%, indicando que o grau de torra não impactou significativamente a quantidade de fenólicos totais. Esse resultado está de acordo com estudos, como o de MUSSATTO *et al.*, 2011, que indicam que em algumas variedades de café, os compostos fenólicos podem ser resistentes a variações iniciais de torra, mantendo-se estáveis mesmo com o aumento gradual da temperatura.

Nas amostras Reduto do Café, Figura 12b, foi observada variação nos valores de compostos fenólicos totais entre os diferentes tempos de torra (4, 5, 6 e 6 min e 40 seg). A ANOVA com 95% de confiança mostrou que a torra de 5 minutos proporcionou um teor significativamente superior de compostos fenólicos em comparação aos outros tempos, sugerindo que esse ponto de torra otimiza a presença de compostos fenólicos. Trabalhos como

o de GLOESS *et al.*, 2013 apontam que, em alguns casos, tempos intermediários de torra podem preservar mais compostos bioativos em comparação com torra clara ou escura devido ao equilíbrio entre degradação térmica e formação de novos compostos antioxidantes.

Para as amostras de Cafeeira Alto Caparaó, Figura 12c (0,45, 1,15, 1,45, 2,15 e 2,45 min), não foram observadas diferenças significativas no teor de compostos fenólicos totais pela ANOVA, indicando estabilidade entre os tempos de torra testados. O estudo de GLOESS *et al.*, 2013 também sugere que a estabilidade dos compostos fenólicos pode ser atribuída a fatores como a variedade do grão e as condições iniciais de processamento, que influenciam a resistência desses compostos à degradação durante a torra em períodos mais curtos.

6. CONCLUSÃO

Os resultados das análises antioxidantes pelos métodos DPPH e ABTS e dos teores de compostos fenólicos totais nas amostras de café Breathe Co, Reduto do Café e Cafeeira Alto Caparaó indicam que o perfil de torra influencia a atividade antioxidante e a preservação de compostos bioativos.

Para o Breathe Co, a torra média se destacou no método DPPH como a que apresentou maior atividade antioxidante, sugerindo que esse nível de torra pode maximizar os compostos bioativos que contribuem para o potencial antioxidante. No entanto, no ensaio ABTS e na análise de compostos fenólicos, não houve diferenças significativas entre os graus de torra, apontando para uma estabilidade na preservação de antioxidantes independentemente do nível de torra.

Nas amostras Reduto do Café, o teor antioxidante medido pelo DPPH mostrou estabilidade entre as torras mais curtas (4 e 5 minutos), destacando-as como as que possivelmente preservam mais antioxidantes, o que corrobora com outros estudos que indicam que torras breves são mais eficazes na manutenção de compostos fenólicos e antioxidantes. Por outro lado, na análise dos compostos fenólicos houve aumento no teor total após 5 minutos de torra, sugerindo que esse tempo pode otimizar a extração de fenóis bioativos.

As amostras Cafeeira Alto Caparaó apresentaram estabilidade tanto na atividade antioxidante quanto nos teores de compostos fenólicos entre os tempos de torra analisados, o que pode ser explicado pela resistência dos antioxidantes de certas variedades de café às condições de torra. Destacando que o tempo máximo de torra empregado foi 2,45 min, o que está abaixo do primeiro tempo empregado na amostra do Reduto do Café.

Assim, os resultados sugerem que a torra média, para o Breathe Co, e a torra curta, para as amostras do Reduto do Café e da Cafeara Alto Caparaó, podem ser os perfis ideais para maximizar a atividade antioxidante e os teores de fenóis.

REFERÊNCIAS

- AL-DUAIS, M.; MÜLLER, L.; BÖHM, V.; JETSCHKE, G. Antioxidant capacity and total phenolics of *Cyphostemma digitatum* before and after processing: Use of different assays. **European Food Research and Technology**, v. 228, n. 5, p. 813–821, 9 mar. 2009. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-008-0994-8>>. Acesso em: 12 ago. 2024.
- ALVES, C. Q.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P.; BAHIA, M. V.; AGUIAR, R. M. Métodos para determinação de atividade antioxidante in vitro em substratos orgânicos. **Química Nova**, v. 33, n. 10, p. 2202–2210, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/XS9CsdV86YbjrxfMjLGmXVL/>>. Acesso em: 12 out. 2024.
- ANASTAS, P.; EGHBALI, N. Green Chemistry: Principles and Practice. **Chemical Society Reviews**, v. 39, n. 1, p. 301–312, 14 dez. 2009. Disponível em: <<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2010/cs/b918763b>>. Acesso em: 3 nov. 2024.
- BASSOLI, D.; VIGNOLI, J. A.; VIEGAS, M. Compounds Related to the Antioxidant Activity in Coffee With Different Roasting Degrees. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/266386930>>.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1 jan. 1995. . Acesso em: 12 ago. 2024.
- BUFFO, R. A.; CARDELLI-FREIRE, C. Coffee flavour: an overview. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 19, n. 2, p. 99–104, 1 mar. 2004. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ffj.1325>>. Acesso em: 24 set. 2024.
- CACIQUE, A. P.; BARBOSA, É. S.; PINHO, G. P. de; SILVÉRIO, F. O. Maceration extraction conditions for determining the phenolic compounds and the antioxidant activity of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, 2020.
- CHAMPAGNE, C. P.; FUSTIER, P. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 18, n. 2, p. 184–190, abr. 2007.
- CORTÉS-MACÍAS, E. T.; LÓPEZ, C. F.; GENTILE, P.; GIRÓN-HERNÁNDEZ, J.; LÓPEZ, A. F. Impact of post-harvest treatments on physicochemical and sensory characteristics of coffee beans in Huila, Colombia. **Postharvest Biology and Technology**, v. 187, p. 111852, 1 maio 2022. . Acesso em: 3 nov. 2024.
- CRUZ, R. G. da; BENYE, L.; GERVAIS, P.; LIRA, S. P. de; VIEIRA, T. M. F. de S.; DUPONT, S. Comparison of the antioxidant property of acerola extracts with synthetic antioxidants using an in vivo method with yeasts. **Food Chemistry**, v. 277, p. 698–705, mar. 2019.
- DE SOUZA, V. R.; PEREIRA, P. A. P.; DA SILVA, T. L. T.; DE OLIVEIRA LIMA, L. C.; PIO, R.; QUEIROZ, F. Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. **Food Chemistry**, v. 156, p. 362–368, ago. 2014.
- DEL CASTILLO, M. D.; AMES, J. M.; GORDON, M. H. Effect of roasting on the antioxidant activity of coffee brews. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 13, p. 3698–3703, 19 jun. 2002. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/jf011702q>>. Acesso em: 3 nov. 2024.
- DJILAS, S. M.; MILIĆ, B. Lj. Naturally Occurring Phenolic Compounds as Inhibitors of Free Radical Formation in the Maillard Reaction. **Maillard Reactions in Chemistry, Food and Health**, p. 75–81, 1 jan. 2005. . Acesso em: 17 set. 2024.
- DONNELLY, J. K.; ROBINSON, D. S. Invited Review Free Radicals in Foods. **Free Radical Research**, v. 22, n. 2, p. 147–176, 1995. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/10715769509147536>>. Acesso em: 6 ago. 2024.

- DUARTE, R. C. **Estudo dos compostos bioativos em especiarias (*Syzygium aromaticum* L., *Cinnamomum zeylanicum* Blume e *Myristica fragans* Houtt) processadas por radiação ionizante.** 2014. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- FONTANA, A. R.; ANTONIOLLI, A.; BOTTINI, R. Grape Pomace as a Sustainable Source of Bioactive Compounds: Extraction, Characterization, and Biotechnological Applications of Phenolics. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 38, p. 8987–9003, 25 set. 2013.
- GLOESS, A. N.; SCHÖNBÄCHLER, B.; KLOPPROGGE, B.; D'AMBROSIO, L.; CHATELAIN, K.; BONGARTZ, A.; STRITTMATTER, A.; RAST, M.; YERETZIAN, C. Comparison of nine common coffee extraction methods: Instrumental and sensory analysis. **European Food Research and Technology**, v. 236, n. 4, p. 607–627, 1 abr. 2013. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-013-1917-x>>. Acesso em: 3 nov. 2024.
- GRUBER, J.; SCHAFFER, S.; HALLIWELL, B. The mitochondrial free radical theory of ageing -Where do we stand? **Frontiers in Bioscience**, v. 13, n. 17, p. 6554–6579, 1 maio 2008. Disponível em: <<https://www.imrpress.com/journal/FBL/13/17/10.2741/3174>>. Acesso em: 5 ago. 2024.
- HU, G. L.; WANG, X.; ZHANG, L.; QIU, M. H. The sources and mechanisms of bioactive ingredients in coffee. **Food & Function**, v. 10, n. 6, p. 3113–3126, 19 jun. 2019. Disponível em: <<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2019/fo/c9fo00288j>>. Acesso em: 4 ago. 2024.
- KAUR, N.; AGGARWAL, P.; KUMAR, V.; KAUR, S. Influence of different extraction techniques on the extraction of phytochemicals and antioxidant activities from *Syzygium cumini* (jamun) pomace using Taguchi orthogonal array design: a qualitative and quantitative approach. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 13, n. 16, p. 14497–14509, 26 nov. 2023.
- KITZBERGER, C. S. G.; POT, D.; MARRACCINI, P.; PEREIRA, L. F. P.; SCHOLZ, M. B. dos S.; KITZBERGER, C. S. G.; POT, D.; MARRACCINI, P.; PEREIRA, L. F. P.; SCHOLZ, M. B. dos S. Flavor precursors and sensory attributes of coffee submitted to different post-harvest processing. **AIMS Agriculture and Food 2020 4:700**, v. 5, n. 4, p. 700–714, 2020. Disponível em: <<http://www.aimspress.com/article/doi/10.3934/agrfood.2020.4.700>>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- MAMARI, H. H. Al; MAMARI, H. H. Al. Phenolic Compounds: Classification, Chemistry, and Updated Techniques of Analysis and Synthesis. 19 jul. 2021. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/chapters/77604>>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- MANCHA AGRESTI, P. D. C.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S.; AUGUSTI, R. Discrimination between defective and non-defective Brazilian coffee beans by their volatile profile. **Food Chemistry**, v. 106, n. 2, p. 787–796, jan. 2008.
- MATULOVÁ, M.; CAPEK, P.; KANEKO, S.; NAVARINI, L.; LIVERANI, F. S. Structure of arabinogalactan oligosaccharides derived from arabinogalactan-protein of Coffea arabica instant coffee powder. **Carbohydrate Research**, v. 346, n. 8, p. 1029–1036, jun. 2011.
- MELO, W. L. de B. **A importância da informação sobre do grau de torra do café e sua influência nas características organolépticas da bebida.** Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPDIA/10452/1/CT58_2004.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2024.
- MONTENEGRO, J.; DOS SANTOS, L. S.; DE SOUZA, R. G. G.; LIMA, L. G. B.; MATTOS, D. S.; VIANA, B. P. P. B.; DA FONSECA BASTOS, A. C. S.; MUZZI, L.; CONTE-JÚNIOR, C. A.; GIMBA, E. R. P.; FREITAS-SILVA, O.; TEODORO, A. J. Bioactive compounds, antioxidant activity and antiproliferative effects in prostate cancer cells of green and roasted coffee extracts obtained by microwave-assisted extraction (MAE). **Food Research International**, v. 140, p. 110014, 1 fev. 2021.. Acesso em: 10 jun. 2024.

- MOTA, F. L.; QUEIMADA, A. J.; PINHO, S. P.; MACEDO, E. A. Aqueous Solubility of Some Natural Phenolic Compounds. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 47, n. 15, p. 5182–5189, 1 ago. 2008.
- MUÑOZ, A. E.; HERNÁNDEZ, S. S.; TOLOSA, A. R.; BURILLO, S. P.; OLALLA HERRERA, M. Evaluation of differences in the antioxidant capacity and phenolic compounds of green and roasted coffee and their relationship with sensory properties. **LWT**, v. 128, p. 109457, 1 jun. 2020. . Acesso em: 10 jun. 2024.
- MUSSATTO, S. I.; BALLESTEROS, L. F.; MARTINS, S.; TEIXEIRA, J. A. Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. **Separation and Purification Technology**, v. 83, n. 1, p. 173–179, 15 nov. 2011.. Acesso em: 3 nov. 2024.
- NASCIMENTO, P. M. do. Estudo da composição química, atividade antioxidante e potencial odorífero de um café conillon, em diferentes graus de torrefação e análise comparativa com café arábica. 5 dez. 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/17427>>. Acesso em: 25 set. 2024.
- NENADIS, N.; WANG, L. F.; TSIMIDOU, M.; ZHANG, H. Y. Estimation of scavenging activity of phenolic compounds using the ABTS + assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 15, p. 4669–4674, 28 jul. 2004. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/jf0400056>>. Acesso em: 12 ago. 2024.
- NICOLI, M. C.; ANESE, M.; MANZOCCO, L.; LERICI, C. R. Antioxidant Properties of Coffee Brews in Relation to the Roasting Degree. **LWT - Food Science and Technology**, v. 30, n. 3, p. 292–297, 1 maio 1997.. Acesso em: 4 ago. 2024.
- OSZMIAŃSKI, J.; NOWICKA, P.; TELESZKO, M.; WOJDYŁO, A.; CEBULAK, T.; OKLEJEWICZ, K. Analysis of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Wild Blackberry Fruits. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 12, p. 14540–14553, 26 jun. 2015.
- PIZARRO DE MATTOS BARRETO, G. **Carotenoides e compostos bioativos: relação com propriedades anti-radical livre e corante em frutas tropicais**. 2008. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008.
- RAMALAKSHMI, K.; RAHATH KUBRA, I.; JAGAN MOHAN RAO, L. Antioxidant potential of low-grade coffee beans. **Food Research International**, v. 41, n. 1, p. 96–103, 1 jan. 2008.. Acesso em: 3 nov. 2024.
- ROSSETTI, R. P. **Determinação de fenóis totais em frutos do café: avaliações em diferentes fases de maturação**. 2007. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- SAGAR, N. A.; PAREEK, S.; BENKEBLIA, N.; XIAO, J. Onion (*Allium cepa L.*) bioactives: Chemistry, pharmacotherapeutic functions, and industrial applications. **Food Frontiers**, v. 3, n. 3, p. 380–412, 1 set. 2022. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fft2.135>>. Acesso em: 8 set. 2024.
- SEPÚLVEDA, W. S.; CHEKMAM, L.; MAZA, M. T.; MANCILLA, N. O. Consumers' preference for the origin and quality attributes associated with production of specialty coffees: Results from a cross-cultural study. **Food Research International**, v. 89, p. 997–1003, 1 nov. 2016.. Acesso em: 7 set. 2024.
- SHASHIREKHA, M. N.; MALLIKARJUNA, S. E.; RAJARATHNAM, S. Status of Bioactive Compounds in Foods, with Focus on Fruits and Vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n. 10, p. 1324–1339, 24 ago. 2015.
- SILVA, J. A. da; BIANCHI, M. de L. P. Cientometria: a métrica da ciência. **Paidéia (Ribeirão Preto)**, v. 11, n. 21, p. 5–10, 2001. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/paideia/a/8mL9rKKQgL4vydsrZfZLbcr/>>. Acesso em: 4 jun. 2024.
- SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Em: [s.l.: s.n.]p. 152–178.

- SMRKE, S.; OPITZ, S. E. W.; VOVK, I.; YERETZIAN, C. How does roasting affect the antioxidants of a coffee brew? Exploring the antioxidant capacity of coffee via on-line antioxidant assays coupled with size exclusion chromatography. **Food & Function**, v. 4, n. 7, p. 1082–1092, 25 jun. 2013. Disponível em: <<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2013/fo/c3fo30377b>>. Acesso em: 3 nov. 2024.
- SONG, J. L.; ASARE, T. S.; KANG, M. Y.; LEE, S. C. Changes in Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Coffee under Different Roasting Conditions. **Korean Journal of Plant Resources**, v. 31, n. 6, p. 704–713, 2018. . Acesso em: 3 nov. 2024.
- SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. Protocolo para Análise Sensorial de Café – Metodologia SCAA. 2008. . Acesso em: 12 ago. 2024.
- SUN, S.; WANG, X.; YUAN, A.; LIU, J.; LI, Z.; XIE, D.; ZHANG, H.; LUO, W.; XU, H.; LIU, J.; NIE, C.; ZHANG, H. Chemical constituents and bioactivities of hops (*Humulus lupulus L.*) and their effects on beer-related microorganisms. **Food and Energy Security**, v. 11, n. 2, p. e367, 1 maio 2022. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fes3.367>>. Acesso em: 8 set. 2024.
- TSUKUI, A.; REZENDE, C. M. Microwave assisted extraction and green chemistry. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 6, p. 1713–1725, 1 nov. 2014.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 31 dez. 2010. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-009-0146-3>>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- WOŁOSIAK, R.; PAKOSZ, P.; DRUŻYŃSKA, B.; JANOWICZ, M. Antioxidant Activity of Coffee Components Influenced by Roast Degree and Preparation Method. **Applied Sciences** 2023, Vol. 13, Page 2057, v. 13, n. 4, p. 2057, 5 fev. 2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/13/4/2057/htm>>. Acesso em: 3 nov. 2024.
- WONG, J. C. J.; NILLIAN, E. Microwave-assisted extraction of bioactive compounds from Sarawak *Liberica* sp. coffee pulp: Statistical optimization and comparison with conventional methods. **Food Science & Nutrition**, v. 11, n. 9, p. 5364–5378, 11 set. 2023.
- WU, H.; GU, J.; BK, A.; NAWAZ, M. A.; BARROW, C. J.; DUNSHEA, F. R.; SULERIA, H. A. R. Effect of processing on bioaccessibility and bioavailability of bioactive compounds in coffee beans. **Food Bioscience**, v. 46, p. 101373, 1 abr. 2022a. . Acesso em: 8 set. 2024.
- WU, H.; LU, P.; LIU, Z.; SHARIFI-RAD, J.; SULERIA, H. A. R. Impact of roasting on the phenolic and volatile compounds in coffee beans. **Food Science & Nutrition**, v. 10, n. 7, p. 2408–2425, 1 jul. 2022b. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.2849>>. Acesso em: 10 jun. 2024.