

Universidade Federal de São Carlos
Campus Lagoa do Sino
Centro de Ciências da Natureza
Engenharia de Alimentos

Guilherme Maruski Salazar

**Controle de temperatura no processamento do café solúvel: reduzindo a
formação de acrilamida**

Buri - SP

2024

Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências da Natureza

Guilherme Maruski Salazar

**Controle de temperatura no processamento do café solúvel: reduzindo a
formação de acrilamida**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para a
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Alimentos na Universidade
Federal de São Carlos.

Orientação: Profa. Dra. Isabelle Cristina
Oliveira Neves

Buri - SP

2024

Salazar, Guilherme Maruski

Controle de temperatura no processamento do café solúvel: reduzindo a formação de acrilamida /
Guilherme Maruski Salazar -- 2024.
48f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São
Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri
Orientador (a): Isabelle Cristina Oliveira Neves
Banca Examinadora: Thaís Jordânia Silva,
Sérgio Henrique Silva
Bibliografia

1. Torrefação. 2. Coffea arábica. 3. Coffea robusta. I.
Salazar, Guilherme Maruski. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

FOLHA DE APROVAÇÃO

Guilherme Maruski Salazar

Controle de temperatura no processamento do café solúvel: reduzindo a formação de acrilamida

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Alimentos na
Universidade Federal de São Carlos.

Aprovado em 17/12/24.

Documento assinado digitalmente
 **ISABELLE CRISTINA OLIVEIRA NEVES**
Data: 17/12/2024 19:09:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Isabelle Cristina Oliveira Neves
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

Documento assinado digitalmente
 **THAIS JORDANIA SILVA**
Data: 19/12/2024 11:12:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Thaís Jordânia Silva Universidade
Federal de São Carlos – UFSCar

Documento assinado digitalmente
 **SERGIO HENRIQUE SILVA**
Data: 17/12/2024 19:18:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Sérgio Henrique Silva Universidade
Estadual Paulista – UNESP

RESUMO

Salazar, Guilherme Maruski. **Controle de temperatura no processamento do café solúvel: reduzindo a formação de acrilamida**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri, 2024.

A formação de acrilamida no processamento de alimentos é um tema de grande relevância para a segurança alimentar, especialmente no café, uma das bebidas mais consumidas no mundo e de extrema importância para a economia brasileira. Esse composto é formado, principalmente, durante a torrefação, por meio da reação de *Maillard*, e tem sido associado a potenciais riscos à saúde, como propriedades cancerígenas e neurotóxicas. Assim, este trabalho teve como tema central analisar os fatores relacionados à formação da acrilamida durante as etapas de processamento do café, como a torrefação e a secagem, além de avaliar estratégias tecnológicas para minimizar sua ocorrência sem comprometer as características sensoriais da bebida. Este estudo visa contribuir para a produção de café seguro e de alta qualidade, atendendo às exigências do mercado global e às expectativas dos consumidores. Para isso, foi utilizada uma metodologia baseada em revisão bibliográfica de artigos científicos, análise documental de normas relacionadas à segurança do alimento e avaliação de métodos de controle de acrilamida no café, com ênfase na identificação de lacunas e na proposição de melhorias nos processos industriais. A literatura mostra que o controle rigoroso de temperatura, especialmente nas etapas de torrefação e secagem, é fundamental para reduzir a formação de acrilamida. Estratégias como a torra mais intensa mostraram eficácia na mitigação dessa substância sem comprometer as características sensoriais da bebida. No entanto, foram identificadas lacunas significativas, como a falta de estudos sobre variações nas temperaturas de secagem, sobre as condições de armazenamento dos grãos e os impactos de diferentes tipos de café na formação de acrilamida. Assim, conclui-se que a escassez de pesquisas sobre novas tecnologias de controle desse composto em todas as etapas do processo indica a necessidade de mais investigações. Além disso, a criação de regulamentações claras no Brasil, alinhadas aos padrões internacionais, também é fundamental para garantir a segurança e a qualidade do café, atendendo às exigências globais.

Palavras-chave: Torrefação. *Coffea arabica*. *Coffea robusta*.

ABSTRACT

The formation of acrylamide during food processing is a highly relevant topic for food safety, especially in coffee, one of the most consumed beverages worldwide and of great importance to the Brazilian economy. This compound is primarily formed during roasting through the Maillard reaction and has been associated with potential health risks, such as carcinogenic and neurotoxic properties. Thus, the central theme of this study was to analyze the factors related to the formation of acrylamide during coffee processing stages, such as roasting and drying, as well as to evaluate technological strategies to minimize its occurrence without compromising the sensory characteristics of the beverage. This study aims to contribute to the production of safe, high-quality coffee, meeting global market demands and consumer expectations. To achieve this, a methodology based on a literature review of scientific articles, documentary analysis of food safety standards, and evaluation of acrylamide control methods in coffee was used, with an emphasis on identifying gaps and proposing improvements in industrial processes. The literature shows that strict temperature control, especially during the roasting and drying stages, is essential to reduce the formation of acrylamide, a carcinogenic compound. Strategies such as more intense roasting have proven effective in mitigating this substance without compromising the sensory characteristics of the beverage. However, significant gaps were identified, such as the lack of studies on variations in drying temperatures, on the storage conditions of the beans, and the impacts of different types of coffee on acrylamide formation. Thus, it is concluded that the lack of research on new technologies to control this compound at all stages of the process indicates the need for further investigation. Moreover, the creation of clear regulations in Brazil, aligned with international standards, is also essential to ensure the safety and quality of coffee, meeting global requirements.

Keywords: Roasting. *Coffea arabica*. *Coffea robusta*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Grão de café Arábica e Robusta.....	18
Figura 2 – Corte transversal do café Arábica.....	20
Figura 3 - Tipos de café produzidos a partir do café colhido.	21
Figura 4 - Processo de fabricação do café solúvel.....	25
Figura 5 - Café Solúvel <i>Freeze Dried</i>	27
Figura 6 – Café Solúvel <i>Spray Dried</i>	28
Figura 7 - Café Solúvel <i>Spray Dried</i> Aglomerado.	29
Figura 8 - Estrutura química da acrilamida.	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Constituintes presentes no grão do café cru.	30
Quadro 2 - Valores de referência para a presença de acrilamida nos alimentos mencionados no artigo 1º, nº 1 do Regulamento (UE) 2017/2158.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIC	Associação Brasileira da Indústria de Café
ABICS	Associação Brasileira da Indústria de Café Solúvel
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACM	Acrilamida
AECOSAN	Agência Espanhola de Consumo, Segurança Alimentar e Nutrição
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EFSA	Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
IARC	Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
OMS	Organização Mundial da Saúde
PROTESTE	Associação Brasileira de Defesa do Consumidor
SPA	Secretária de Política Agrícola
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO	14
3. METODOLOGIA	14
4. REVISÃO DE LITERATURA	14
4.1 História do café e seu mercado no Brasil e no mundo.....	14
4.2 Tipos de café e história do café solúvel	19
4.3 Tipos e processo de produção do café solúvel.....	24
4.4 Composição química do café solúvel e formação da acrilamida.....	29
4.4 Métodos de redução da formação de acrilamida no café torrado	38
4.4.1 Maneiras de controlar a temperatura no processamento do café solúvel para mitigar a formação de acrilamida.....	40
5. CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

O café é uma *commodity* de grande relevância para o Brasil, exportado e consumido em diversos países ao redor do mundo. Proveniente dos grãos do cafeeiro, da família *Rubiaceae* e do gênero *Coffea*, o café é transformado por diferentes graus de torrefação, resultando em bebidas apreciadas por suas características de sabor, aroma, acidez e corpo, além de propriedades estimulantes e antioxidantes (Vigoli; Bassoli; Benassi, 2011). As principais espécies cultivadas no Brasil são o *Coffea arabica* (café arábica) e o *Coffea canephora* (café conilon ou robusta), que possuem diferenças nas concentrações de compostos químicos, voláteis e não voláteis, como ácidos, proteínas, açúcares e cafeína (Monteiro; Trugo, 2005).

Em 2023, a produção brasileira de café alcançou 55,1 milhões de sacas, um aumento de 8,2% em relação a 2022, impulsionado pela recuperação da produtividade, que atingiu 29,4 sacas por hectare, e pelo aumento de 1,8% na área cultivada, totalizando 1,87 milhão de hectares. Apesar de 2023 ser um ano de bialidade negativa, o desempenho foi expressivo, com o café arábica representando 70,7% da produção nacional, totalizando 38,9 milhões de sacas, enquanto o conilon contribuiu com 29,3% (CONAB, 2023). O consumo interno também cresceu 1,64% entre novembro de 2022 e outubro de 2023, reforçando a posição do Brasil como o segundo maior consumidor mundial. Entretanto, o faturamento da indústria em 2023 foi de R\$ 22,9 bilhões, uma redução de 2,78%, devido à queda nos preços no varejo (Associação Brasileira da Indústria de Café, 2024).

Embora o café tenha grande importância econômica, há desafios relacionados à segurança alimentar, como a formação de acrilamida durante a torrefação. Esse composto, formado pela reação de *Maillard* entre açúcares redutores e aminoácidos em temperaturas superiores a 120 °C, provoca mudanças na coloração e no sabor dos alimentos. Classificada como "provável carcinógeno" (Grupo 2A) pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC), a acrilamida tem sido associada a riscos de câncer e problemas neurológicos (Iarc, 2002; Ariseto; Toledo, 2006).

Dada a importância do café e os riscos associados à formação de acrilamida, este estudo busca compreender os fatores que levam ao surgimento desse composto nos grãos torrados, avaliar os riscos de consumo e propor estratégias para mitigar sua presença no processo de produção, assegurando a qualidade e a segurança do café consumido no Brasil e no mundo.

2. OBJETIVO

Este estudo objetivou realizar uma revisão da literatura científica sobre a formação da acrilamida durante as etapas de fabricação do café moído e torrado, identificando como o controle de temperatura no processamento do café solúvel possui relação com a formação de acrilamida.

3. METODOLOGIA

Primeiramente, foi realizada uma revisão bibliográfica ampla sobre o tema, visando identificar as principais diretrizes relevantes. As palavras-chave utilizadas durante a busca foram "acrilamida", "controle de temperatura" e "café solúvel". Em seguida, com o foco definido, uma pesquisa bibliográfica foi efetuada em bases de dados acadêmicos e científicos, como Portal de Periódicos da Capes, *Google Scholar* e *Web of Science*, dos últimos 20 anos, com o intuito de selecionar os trabalhos e/ou livros mais pertinentes ao assunto em questão. A pesquisa bibliográfica foi realizada entre os meses de abril a novembro de 2024. Subsequentemente, todos os materiais selecionados foram submetidos a uma análise crítica para identificar as informações mais relevantes. Uma vez estabelecida a base de dados, cada bibliografia foi revisada individualmente, com a leitura e síntese das informações mais significativas. Essa etapa incluiu uma análise cuidadosa para destacar os pontos-chave de cada texto.

Em seguida, as informações foram organizadas, estabelecendo uma sequência lógica e estruturando a redação de forma coesa para facilitar a compreensão. Por fim, o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi redigido integralmente, seguindo todas as normas de formatação conforme as diretrizes estabelecidas pelas Normas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 HISTÓRIA DO CAFÉ E SEU MERCADO NO BRASIL E NO MUNDO

A origem do café é envolta em mistério, todavia há uma história bem conhecida que parece explicar sua descoberta. De acordo com a Lenda de Kaldi, um pastor

etíope, da região da Abissínia, que viveu por volta de 850 d.C., observou que seu rebanho de cabras apresentava dois comportamentos. As cabras que permaneciam ao seu redor eram calmas, enquanto as que fugiam e depois voltavam das montanhas apresentavam um comportamento mais agitado. Dessa forma, o pastor decidiu observar as que escapavam e descobriu que estas se alimentavam de um fruto amarelo avermelhado, conhecido hoje como a cereja do café. Desde então, o café conquistou civilizações e passa por diversas etapas de preparo para atender aos mais variados gostos. Embora não haja um consenso sobre como o fruto foi descoberto, registros históricos comprovam que o cultivo do café começou no país africano e a exploração de diferentes formas de consumo iniciaram-se em meados do século IX (Conselho Nacional do Café, 2022).

A planta chegou ao Norte da África por volta do século XV e entrou no mundo árabe. Como principais produtores de café na época, os árabes adotaram medidas para manter o domínio do comércio do produto, como vendê-lo apenas torrado. No entanto, os holandeses conseguiram contrabandear frutos frescos para suas colônias asiáticas Ceilão, Java e Sumatra e, posteriormente, para as Antilhas Holandesas, na América Central. Na Europa, inicialmente, o café era consumido como remédio para tratar diversos males e só a partir do século XVII começou a ser adotado como bebida (Abic, 2021).

Das colônias europeias na América do Sul, o café chegou ao Suriname por meio de militares holandeses e depois à Guiana Francesa, levado pela França. Acredita-se que as primeiras plantas de café no Brasil tenham se originado no Palácio de Versailles, pois foram plantadas por Luís XIV em Paris. Essas mudas foram transportadas para o território guianês pelo governo francês. Em uma visita ao país, o brasileiro Sargento-Mor Francisco de Mello, com a alegação de resolver discordâncias territoriais, trouxe as primeiras mudas e sementes de café para Belém, no Pará, por volta de 1720. Em razão das condições climáticas, de relevo e solo, em meados do século XIX, a cultura cafeeira se estabeleceu no Vale do Rio Paraíba, nos estados do Rio de Janeiro e de São Paulo, sendo primordial para o início de um novo ciclo econômico no Brasil (Conselho Nacional do Café, 2022).

Com a entrada do café no mercado internacional, tornou-se o principal produto de exportação do Brasil, dominando a economia nacional por quase um século. As receitas geradas impulsionaram o desenvolvimento do país, promovendo a fundação de novas cidades e a expansão de centros urbanos nos estados do Rio de Janeiro,

São Paulo, Minas Gerais e Paraná. Em 1850, o Brasil já liderava a produção mundial de café, respondendo por 40% do total, e a cidade de Vassouras, no Rio de Janeiro, era reconhecida como a capital mundial desta *commodity* (Brasil, 2022).

Nesta época, a produção de café nas cidades do Vale, tanto no Rio de Janeiro quanto em São Paulo, chegou a representar, aproximadamente, 80% do mercado interno no contexto da produção nacional. A região continuou a ter bons resultados até 1880, contudo, as explorações predatórias e desordenadas dos terrenos comprometeram a fertilidade e a produtividade dos solos. Tal circunstância foi primordial para expansão do café para outras localidades do país, com destaque os estados de Minas Gerais, Bahia, Espírito Santo e Paraná. Em razão da expansão para outros estados, mesmo após o declínio das atividades no Vale do Paraíba, o Brasil tornou-se, em 1880, o maior produtor mundial de café (Conselho Nacional do Café, 2022).

A importância da cafeicultura para a economia brasileira foi tão significativa que, até 1930, o ciclo do café predominou, tornando-se a principal atividade econômica do país e impulsionando sua industrialização. Em 1930, o ciclo do café chegou ao fim devido à crise de 1929 nos Estados Unidos, uma vez que o colapso dos mercados acionários globais causou uma drástica queda nos preços internacionais das *commodities* e uma redução na renda e no consumo mundial da bebida, circunstância que acarretou uma interferência direta nas exportações de café e uma diminuição de quase 90% no preço da saca desta *commodity* no mercado internacional entre 1929 e 1930, segundo a Bolsa de Café de Santos (Revista Cafeicultura, 2009).

Para enfrentar a crise no setor cafeeiro, o governo federal comprou grandes estoques de café dos produtores. Com o intuito de diminuir a oferta e estabilizar os preços internacionais, o presidente Getúlio Vargas ordenou a queima de milhões de sacas de café. Estima-se que mais de 70 milhões de sacas foram queimadas em 1931, uma quantidade que poderia suprir o consumo mundial por três anos, segundo especialistas. Além disso, em 1975, a geada negra no sul do país foi outra grande tragédia que atingiu a cafeicultura brasileira, a qual foi responsável por destruir todas as plantações de café no Paraná, provocando o êxodo rural de cerca de 2,6 milhões de pessoas. Esta catástrofe resultou em uma mudança geográfica da produção de café no Brasil, com cafeicultores migrando para regiões mais quentes do país. Até 1975, o Paraná era responsável por quase 50% da produção nacional de café, com

1,8 milhões de hectares plantados e uma média de 20 milhões de sacas colhidas. Entretanto, após a geada de 18 de julho, o estado perdeu sua posição de maior produtor do país e no ano seguinte não houve registro de exportação de nenhuma saca, além da participação do Paraná na produção brasileira cair para apenas 0,1%, com 3,8 mil sacas. Logo, essa mudança permitiu a proeminência dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Bahia na produção cafeeira (Conselho Nacional do Café, 2022).

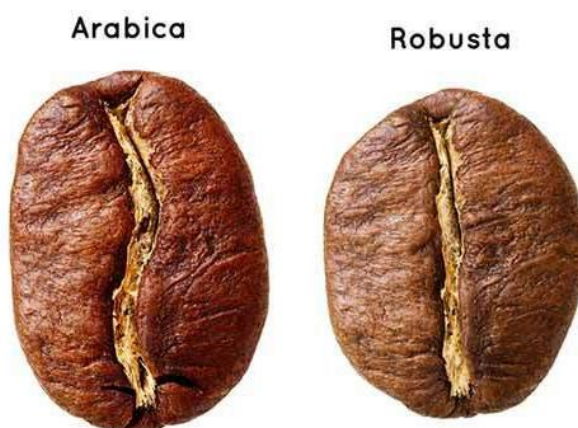
De acordo com o Sumário Executivo do Café de janeiro de 2024, divulgado pela Secretária de Política Agrícola (SPA) e Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), a produção global de café para a safra 2023-2024 foi estimada em 171,4 milhões de sacas de 60 kg. Desse total, 97,3 milhões de sacas foram de *Coffea arabica*, correspondente a 56,7%, e 74,1 milhões de sacas foram de *Coffea canephora*, representando 43,3%. Os três maiores produtores mundiais, respectivamente, Brasil, Vietnã e Colômbia, produziram 97,08 milhões de sacas de café em 2023, o que equivale a 57% da produção global, na qual o Brasil lidera com 58,08 milhões de sacas de 60 kg, equivalente a 34% da produção mundial. O Vietnã está em segundo lugar com 27,5 milhões de sacas, com 16%, e a Colômbia ocupa a terceira posição com 11,5 milhões de sacas, representando 6,7% do total global (Ferreira, 2024).

Atualmente, os estados que comportam a produção majoritária do café são Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia e Paraná. O faturamento bruto dos cafés do Brasil para o ano-cafeeiro de 2024 está estimado em R\$ 57,24 bilhões, representando um aumento de 17% em relação aos R\$ 48,89 bilhões registrados em 2023. Este valor se divide em R\$ 41,28 bilhões para *Coffea arabica*, equivalente a 72% do total, e R\$ 15,96 bilhões para *Coffea canephora*, correspondente a 28%. O estado de Minas Gerais lidera o faturamento bruto estimado com R\$ 29,12 bilhões (50,8% do total), seguido pelo Espírito Santo com R\$ 13,78 bilhões (24%). São Paulo está em terceiro lugar com R\$ 5,38 bilhões (9,4%), seguido pela Bahia com R\$ 4,09 bilhões (7,1%), Rondônia com R\$ 3,33 bilhões (5,8%) e Paraná com R\$ 707,43 milhões (1,2%), de acordo com os dados calculados e divulgados mensalmente pela *European Food Safety Authority*, com base no Levantamento Sistemático da Produção Agrícola do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e nos preços médios recebidos pelos produtores de janeiro a março de 2024. Já em termos de regiões geográficas, o Sudeste é o maior produtor,

com receita estimada em R\$ 48,60 bilhões (84,9% do total), seguido pelo Nordeste com R\$ 4,11 bilhões (7,1%), Norte com R\$ 3,38 bilhões (6%), Sul com R\$ 707,43 milhões (1,2%) e Centro-Oeste com R\$ 434,76 milhões, equivalente a menos de 1% do total calculado (Ferreira; Cavaton, 2024).

A espécie *Coffea arabica* possui características distintas do robusta. O café arábica é apreciado por seu sabor refinado e de melhor qualidade, apresentando um gosto suave e aromático. Possui um grão de formato mais cheio e tom vermelho achocolatado, e pode ser comercializado puro, sendo cultivado em altitudes acima de 800 metros do nível do mar, o qual é predominante nas lavouras de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Bahia, Rio de Janeiro e parte do Espírito Santo. Já o café robusta é usado, principalmente, na fabricação de cafés solúveis e em algumas misturas com o arábica, apresentando um sabor único (mais amargo), menor acidez e maior teor de cafeína, preponderando nas lavouras do Espírito Santo, Rondônia, parte da Bahia e Minas Gerais (MAPA, 2022). Além disso, o *Coffea canephora* apresenta alta resistência a pragas e condições climáticas adversas (SOUZA *et al.*, 2004). Na Figura 1, estão ilustradas as duas espécies de café mais utilizadas pela indústria.

Figura 1 - Grão de café Arábica e Robusta.



Fonte: Grão Gourmet, 2019.

O consumo de café no Brasil entre novembro de 2022 e outubro de 2023 aumentou 1,64% em relação ao período anterior, que abrange de novembro de 2021 a outubro de 2022, de acordo com os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Esse volume corresponde a 39,4% da safra de 2023, que

foi de 55,07 milhões de sacas, fato que mantém o Brasil como o maior consumidor de cafés nacionais. No período anterior, o consumo no Brasil representou 41,9% da safra, que foi de 50,9 milhões de sacas. O Brasil mantém sua posição como o segundo maior consumidor de café do mundo, com uma diferença de 5,2 milhões de sacas para o primeiro colocado, os Estados Unidos. Comparando o consumo per capita, o Brasil superou os Estados Unidos (4,9 kg/habitante/ano) com 6,40 kg de café cru e 5,12 kg de café torrado e moído por habitante/ano, entre novembro de 2022 e outubro de 2023, um aumento de 7,47% em relação ao mesmo período do ano anterior, de acordo com a base populacional do IBGE. Regionalmente, o Sudeste responde por 41,8% do consumo nacional, o Nordeste por 26,9%, o Sul por 14,7%, o Norte por 8,6% e o Centro-Oeste por 8,0%. Em 2023, o consumo de café solúvel no Brasil aumentou 5,2%, totalizando 24.248 toneladas, o que equivale a 1,05 milhão de sacas. Os cafés do tipo *Spray Dried*, que representam 96% da produção, cresceram 4,6%, enquanto os cafés *Freeze Dried* (liofilizados), com apenas 4% da produção total, tiveram um incremento de 15,3%. Esse crescimento do tipo *Freeze Dried* reflete uma tendência contínua de aumento de dois dígitos desde 2016 (Associação Brasileira da Indústria de Café, 2024).

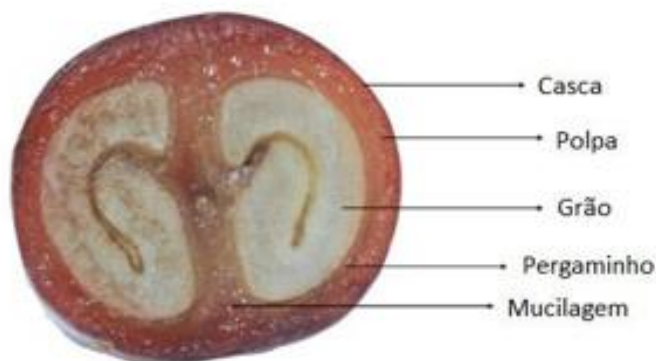
Diante do exposto, esses dados reforçam a importância do café tanto para os brasileiros quanto para a indústria nacional, tornando relevantes os estudos que auxiliem na compreensão dos parâmetros de qualidade e sanidade desta matéria-prima. Além disso, estima-se que o consumo de café continue a crescer ligeiramente em relação ao ciclo anterior, com uma alta de 1,64%, de acordo com os dados da Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC). Assim, a presença de compostos tóxicos associados às etapas de seu processamento necessita ser investigada, tornando esta *commodity* um alvo de otimização de processos.

4.2 TIPOS DE CAFÉ E HISTÓRIA DO CAFÉ SOLÚVEL

O grão de café é um fruto composto por várias camadas distintas. Uma delas é a casca, que amadurece de verde para vermelho ou amarelo, e envolve a polpa carnuda situada logo abaixo. Entre a polpa e o pergaminho, há uma camada viscosa rica em açúcares chamada mucilagem. O pergaminho é uma película interna que envolve a semente ou grãos. Cada fruto contém duas sementes em forma de disco (dicotiledônea) ou uma única semente em forma de meia-lua (monocotiledônea)

(Revista Cafeicultura, 2012). A Figura 2 representa um corte transversal do café arábica com a identificação de todas as camadas que o compõem.

Figura 2 – Corte transversal do café arábica.



Fonte: Agron Food Academy, 2023.

O café faz parte da família *Rubiaceae* e do gênero *Coffea*, que inclui mais de 90 espécies. Dentre essas, aproximadamente, 25 são cultivadas comercialmente. No entanto, apenas quatro espécies possuem relevância significativa no mercado global: *Coffea arabica*, popularmente conhecido como café arábica; *Coffea canephora*, conhecido como café robusta e, em menor escala, *Coffea liberica* e *Coffea dewevrei* que, respectivamente, originam o café libérica e o café excelsa, conforme citado por Souza *et al.* (2006).

O *Coffea arabica* e o *Coffea canephora* diferem-se significativamente em várias características. O *Coffea arabica*, originário da Etiópia, se desenvolve melhor em altitudes acima de 1000 metros e temperaturas amenas entre 18 °C e 22 °C, além de ser mais sensível à falta de água e possuir menor rusticidade. Essa variedade é cultivada com espaçamento fechado, propagada por sementes e desenvolve-se rapidamente, mas possui um sistema radicular menos vigoroso, frutos claros que caem facilmente e sabor suave com menor teor de cafeína e ácido clorogênico. A mecanização da colheita para este café é viável e a secagem é mais demorada. Além disso, representa 70% do mercado, sendo amplamente utilizado na composição de cafés torrados e moídos. Em contraste, o *Coffea canephora*, oriundo da Bacia do Congo, é mais adaptado a altitudes abaixo de 500 metros e temperaturas entre 24 °C e 28 °C, além de ser menos sensível à falta de água e possuir maior rusticidade. Esta

variedade de café requer podas mais frequentes, possui um porte mais alto e frutos escuros que permanecem na planta, com sabor mais forte e maior teor de cafeína e ácido clorogênico. Sua colheita é mais difícil de mecanizar e a secagem é mais rápida. Por fim, o *Coffea canephora* representa 30% do mercado, sendo mais utilizado em cafés solúveis e *blends*, com preço e abrangência menores (Souza *et al.*, 2006).

De uma maneira geral, os diferentes gêneros de café, após colhidos, podem ser beneficiados e comercializados sob várias formas, conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Tipos de café produzidos a partir do café colhido.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Cada um destes produtos dará origem a uma bebida com características sensoriais únicas e que agradam a diversos gostos e preferências dos consumidores. Dentre estes produtos, destaca-se o café solúvel. O café solúvel, também chamado de café instantâneo, é produzido através de um processo cuidadosamente elaborado que transforma os grãos de café torrados e moídos em um produto prático e de fácil preparo. Inicialmente, o café é preparado como uma infusão técnica, semelhante ao café tradicional, onde os compostos solúveis dos grãos são extraídos com água

quente. Em seguida, essa infusão é submetida a um processo de desidratação, que pode ser realizado de duas formas principais: a evaporação ou a liofilização.

No método de evaporação, o líquido é submetido a altas temperaturas em câmaras especiais, onde a água é eliminada por meio do calor, restando apenas os sólidos solúveis que formam o pó do café solúvel. Já na liofilização, o café é congelado rapidamente a temperaturas extremamente baixas, e a água presente é removida através de um processo de sublimação, no qual o gelo passa diretamente para o estado gasoso. Esses métodos garantem que as características aromáticas e de sabor do café sejam preservadas no produto final. O resultado é um café prático, que pode ser preparado instantaneamente. Uma de suas principais vantagens é que não necessita da etapa de filtragem no momento do preparo pelo consumidor, sendo preciso apenas a mistura com água quente, além de ser reconhecido pela sua intensidade e longa durabilidade. Cada vez mais, este tipo de café é produzido com 100% de grãos de Arábica, preservando todo o sabor e aroma do café (Hernández, 2020).

A história do café solúvel começa em 1771, na Inglaterra, quando John Dring recebeu uma patente para um “composto de café”. David Strang, de Invercargill na Nova Zelândia, inventou e patenteou o café instantâneo em 1890, utilizando um método conhecido como processo “*Dry Hot-Air*” (Ar Quente Seco), no qual o café é desidratado por meio de um fluxo de ar quente. O primeiro método bem-sucedido de criação de um pó de café solúvel estável foi inventado pelo químico nipo-americano Satori Kato, em Chicago, em 1901, e patentado em 1903. Posteriormente, George Constant Louis Washington, um inventor americano de ascendência belga, desenvolveu seu próprio processo de café instantâneo e lançou a primeira marca comercial do produto em 1910 (History of Coffee, 2024).

Embora o café solúvel comercial tenha sido produzido pela primeira vez na Suíça pela Nestlé, a ideia de criar um café prático com longa vida útil é proveniente dos cafeicultores brasileiros. Durante a grande crise mundial dos anos de 1930, a produção de café no Brasil superava demasiadamente a demanda, somado com a diminuição do preço internacional do produto. Além disso, nessa época, o Brasil era o maior produtor mundial de café e essa situação causou um enorme impacto na sua economia. O governo brasileiro chegou até a utilizar o café como combustível para trens. Foi então que o governo de Getúlio Vargas enviou um representante do Departamento Nacional do Café à sede mundial da Nestlé na Suíça para solicitar um

estudo sobre uma forma de conservação que mantivesse o aroma e o sabor do café por mais tempo. A Nestlé foi escolhida para essa tarefa porque já havia criado o leite em pó através da desidratação, aumentando a durabilidade de um produto perecível.

O presidente da Nestlé na época, Louis Dapples, constatou que seria uma ótima oportunidade de negócio e, entusiasmado com a ideia, solicitou ao químico Max Morgenthaler que desenvolvesse a solução. Em 1937, Max apresentou um pó de café que era solúvel em água e que mantinha características muito próximas às do café fresco. Assim, em 1938, surgiu o NESCAFÉ, a primeira marca de café solúvel da história. A Nestlé apoiou a inovação e, mesmo com a pressão contrária dos torrefadores de café, criou sua própria linha de produção, tornando o produto popular na Europa e nos Estados Unidos, fazendo parte da dieta dos soldados americanos durante a Segunda Guerra Mundial. No Brasil, devido à pressão dos fabricantes de café torrado e moído, a primeira indústria para a produção desse tipo de café surgiu apenas em 1953 (Revista Cafeicultura, 2006).

Atualmente, o café solúvel é amplamente consumido em todo o mundo, especialmente na China, Rússia, Reino Unido e Turquia, grandes mercados para esse tipo de café, evidenciando seu crescente apelo. O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café solúvel, o qual manteve sua posição de liderança em 2023. O país exportou 86.478 toneladas, gerando uma receita de US\$ 701,3 milhões, embora tenha registrado uma leve queda de 1,1% nas receitas em comparação com o ano anterior. A maior parte das exportações brasileiras foi composta por café *Spray Dried* (72,7%), seguido por *Freeze Dried* (24,9%) (ABICS, 2024).

Apesar de continuar no topo do mercado global, o Brasil enfrenta crescente concorrência de países asiáticos, como Vietnã, Malásia, Índia e Coreia do Sul, que têm expandido suas exportações de café solúvel nos últimos anos. Embora esses países não sejam grandes produtores de grãos de café, estão se tornando concorrentes significativos, ao mesmo tempo em que representam importantes oportunidades para o café brasileiro, com o continente asiático sendo o principal destino das exportações do Brasil. A Espanha, por sua vez, tem se firmado como um centro de distribuição de café solúvel, sendo considerada um ponto-chave para o processamento e redistribuição do produto para outros mercados, compensando a perda de competitividade de outras indústrias europeias. Mesmo com a concorrência crescente, o Brasil mantém sua liderança global, com expectativas de estabilidade nas exportações para 2024, podendo haver um crescimento de até 2% (ABICS, 2024).

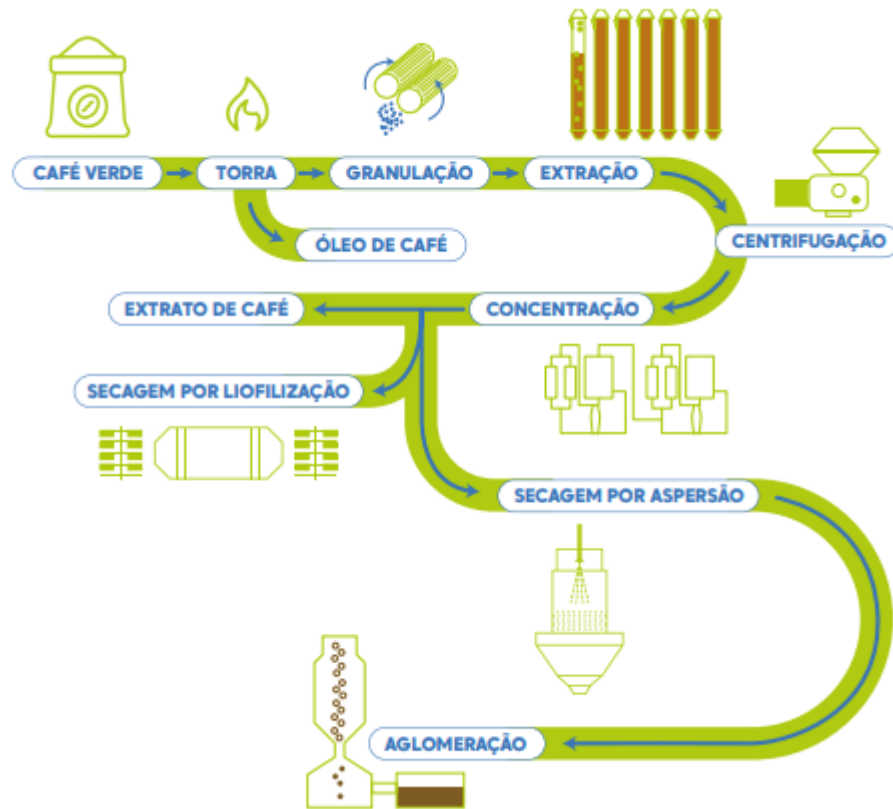
Em suma, o Brasil se destaca na produção e exportação de café solúvel, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Café Solúvel (ABICS). O país exporta para 87 nações, incluindo Estados Unidos, Rússia, Argentina, Japão e Indonésia, que são grandes consumidores desse produto. Assim, o Brasil se firma como um dos principais produtores e exportadores de café solúvel no mundo, com resultados de fabricação expressivos e tendência de crescimento, especialmente com a introdução do café solúvel em cápsulas, que oferece preparo rápido e excelente sabor. Contudo, essa inovação apresenta custos elevados, especialmente, para os consumidores brasileiros (ABIC, 2023).

4.3 TIPOS E PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CAFÉ SOLÚVEL

O café solúvel é fabricado através da extração de sólidos solúveis e compostos aromáticos utilizando a água quente como solvente (Esteves, 2006). O processo de fabricação do café solúvel envolve diversas etapas fundamentais, iniciando-se com a seleção da matéria-prima. As duas principais espécies utilizadas são *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, escolhidas conforme o perfil sensorial desejado, como aroma e sabor. Após a seleção, os cafés verdes são classificados segundo a Classificação Oficial Brasileira, considerando características físicas e de bebida, além de análises de umidade, ocratoxina A, impurezas e análise sensorial. Com base nessas classificações são elaborados os *blends* que serão posteriormente torrados (ABICS, 2020).

Quando os grãos torrados atingem cerca de 230 °C, temperatura variável a depender do nível de torrefação desejado, o processo é interrompido pelo corte do fluxo de ar quente e os grãos são então descarregados e resfriados com ar a temperatura ambiente, o qual é um processo fundamental para desenvolver o aroma e o sabor distintivos do café (Sivetz; Desrosier, 1979). Equipamentos específicos verificam a cor dos grãos torrados para garantir a padronização, uma vez que a cor da torra da matéria-prima se correlaciona diretamente com a cor e perfil sensorial do produto final. No café solúvel, também se avalia a tonalidade do pó ou dos grânulos. O óleo de café é outro produto obtido após a torra por meio de prensagem e filtração do fruto, como demonstrado no fluxograma (Figura 4) a seguir (Clarke; Macrae, 2011).

Figura 4 - Processo de fabricação do café solúvel.



Fonte: ABICS (Associação Brasileira da Indústria do Café Solúvel), 2020.

Na etapa de granulação, o café torrado é fragmentado em partes uniformes para aumentar a superfície de contato entre a água quente e o grão, permitindo uma extração adequada dos sólidos solúveis. O uso de partículas muito finas não é recomendado, pois pode obstruir os filtros na saída da coluna de extração. Além disso, cada grão de café quebrado se divide em 4 a 5 partes. Em seguida, a extração é realizada com água quente e sob pressão que percola o café, removendo as substâncias solúveis. Esse processo acontece em colunas de aço inoxidável, resultando em um extrato composto de água e sólidos solúveis de café. A água presente nesta suspensão será eliminada na fase de concentração (Abics, 2020). Durante a extração, é gerado um resíduo conhecido como borra, que contém de 15% a 20% de lipídeos, valiosos para a indústria alimentícia e que podem ser usados como biomassa para gerar vapor, substituindo combustíveis fósseis (Toda; Scharlack; Rodrigues, 2015).

O extrato passa por centrifugação ou filtração antes da concentração, garantindo a remoção de partículas insolúveis do processo. Antes de seguir para a concentração, o extrato é tratado no recuperador de aromas, onde os componentes aromáticos são extraídos com vapor, condensados e armazenados em um tanque hermético. Em seguida, o extrato é direcionado ao evaporador para aumentar a concentração de sólidos solúveis presentes. Na concentração, parte da água é removida até que a quantidade de sólidos solúveis permita a secagem para obter o pó solúvel. Dessa forma, estará pronto para secagem ou para o envasamento em tambores congelados para exportação (ESTEVES, 2006).

A concentração pode atingir até 60% de sólidos solúveis, o que facilita a posterior etapa de secagem, e pode ser realizada de duas maneiras: por aquecimento ou por congelamento. No método de aquecimento, metade da água é eliminada com uso de calor, aumentando a concentração do extrato do café. Neste processo, a água é evaporada a vácuo a uma temperatura mais baixa, em comparação com seu ponto de ebulição a 1 atm, para evitar perda excessiva dos aromas. Na concentração a frio, o processo de remoção dos cristais de gelo ocorre após a cristalização parcial da água presente no extrato. A água do extrato líquido é submetida a temperaturas suficientemente baixas para induzir a formação de cristais de gelo. Esses cristais, que consistem em água pura solidificada, são então separados fisicamente do restante do extrato por métodos mecânicos, como filtração ou centrifugação. Esse procedimento permite a redução de cerca de 40% do conteúdo inicial de água no material, enquanto os componentes mais concentrados, como os compostos aromáticos e solúveis, permanecem no extrato. O uso de baixas temperaturas preserva os aromas voláteis e sensíveis ao calor, resultando em um produto final com aroma mais intenso e natural, ideal para aplicações como o café solúvel. Após atingir a concentração desejada, a fração aromática preservada no recuperador de aromas é reincorporada ao produto, que então será encaminhada para a secagem (Clarke; Macrae, 2011).

A secagem do extrato de café pode ser realizada por dois métodos: utilizando aquecimento, dando origem a um produto conhecido como *spray dried*, ou congelamento, conhecido como *freeze dried*. A transformação da água do estado líquido para o gasoso ocorre quando essa atinge temperaturas em torno de 100 °C, a 1 atm. No entanto, para que a água passe diretamente do estado sólido ao gasoso,

sem transitar pelo líquido, é necessário submetê-la à baixa pressão, promovendo a sublimação em baixas temperaturas (Abics, 2020).

O café *freeze dried* ou liofilizado é o mais fabricado pelos produtores, sendo produzido por meio do processo de desidratação do extrato de café por liofilização. O extrato concentrado é congelado em uma câmara fria em três etapas: -5 °C, -20 °C e -50 °C. O extrato congelado é então triturado, granulado e classificado por peneiras para definir o tamanho das partículas, e em seguida, é colocado em bandejas. O produto granulado é introduzido em uma câmara de vácuo, onde é desidratado a baixas temperaturas, fazendo com que a água passe do estado sólido diretamente para o gasoso por sublimação, o que contribui para a manutenção dos componentes aromáticos voláteis naturais do café, garantindo um café solúvel de maior qualidade e valor agregado (Cocam, 2024). As bandejas são descarregadas, liberando o produto já seco, que é posteriormente peneirado conforme as especificações de granulometria. Dessa forma, ocorre o aumento da concentração de sólidos solúveis no produto com o mínimo de interferência no aroma natural de café gerado pelos seus orgânicos voláteis.

Figura 5 - Café Solúvel *Freeze Dried*.



Fonte: Cocam, 2024.

No processo de secagem por aquecimento, o extrato de café é desidratado em um secador do tipo *spray dryer* pela sua pulverização dentro de uma câmara, na qual ocorre a injeção de ar quente (em torno de 200 °C ou mais) para iniciar a

evaporação da água. O extrato é pulverizado em minúsculas gotas que formam pequenas esferas e a água contida nessas partículas evapora durante a descida pela torre. O pó seco é coletado na parte inferior da torre, com uma temperatura final média de 32 °C e 3% de umidade. O café em pó formado pode ser utilizado como café pronto para beber, em sobremesas, sorvetes e balas, *cappuccino* e misturas à base de café (Cocam, 2024).

Figura 6 – Café Solúvel *Spray Dried*.



Fonte: Cocam, 2024.

Por fim, o café solúvel Aglomerado é fabricado a partir do café solúvel *Spray Dried*, o qual é moído em partículas mais finas e menores, que são umedecidas ao entrar em contato com vapor, formando um produto granulado que, posteriormente, é passado por peneiras para definir o tamanho das partículas conforme as especificações de granulometria. O produto final é uniforme e de fácil diluição, além de possuir os mesmos usos do café *spray dried* (Cocam, 2024).

Figura 7 - Café Solúvel *Spray Dried* Aglomerado.



Fonte: Cocam, 2024.

Durante o processo de envase, o café solúvel em pó pode ser acondicionado em frascos de vidro, latas, pacotes individuais, em caixas de papelão a granel ou em sacos (NEVES, 2009). Todas as etapas e processos são rigorosamente controlados com análises físico-químicas e microbiológicas para garantir a qualidade do produto final. As análises incluem a medida da umidade, pH, teor de acrilamida, cafeína, entre outras, e são realizadas nas próprias fábricas, equipadas com tecnologia de ponta e equipamentos regularmente aferidos por instituições credenciadas. A indústria de café solúvel também adota práticas sustentáveis, transformando os resíduos gerados durante seu processo de obtenção em biomassa para combustível e tratando a água utilizada, devolvendo-a ao meio ambiente em melhores condições, conforme normas estaduais e federais (Clarke; Macrae, 2011).

4.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CAFÉ SOLÚVEL E FORMAÇÃO DA ACRILAMIDA

As espécies do gênero *Coffea arabica* e *Coffea canephora* diferem-se em vários aspectos de sua composição. A composição química dos grãos de café é afetada por fatores como clima, tipo de solo, práticas de manejo antes e depois da colheita, altitude, armazenamento e a região de cultivo. Essas variáveis impactam

diversas características sensoriais e qualitativas do café, juntamente com o processo de torrefação do grão cru, que envolve várias reações que determinam suas propriedades sensoriais (Oliveira, 2006). Por exemplo, a composição dos grãos de café verde é distinta daquela dos grãos após a torrefação. O café verde contém glicídios, proteínas, lipídios e minerais, semelhantes aos encontrados em outros produtos vegetais. Entre os principais compostos responsáveis por suas propriedades distintivas estão a cafeína, os ácidos clorogênicos e a trigonelina (Farinhoto, 2012).

A degradação da clorofila e a formação de outros pigmentos resultam na mudança de cor dos grãos, passando do verde para tons vermelhos ou amarelos. Esta alteração pode ser observada durante a maturação dos grãos, em que há produção de açúcares, ésteres, aldeídos e cetonas, pela alteração dos ácidos nos frutos e pela redução dos compostos fenólicos, responsáveis pela adstringência. Durante a maturação, também ocorre um aumento significativo na quantidade de açúcares solúveis no grão (Pinto, 2002). Ao final deste processo, as características físicas e sensoriais do café são plenamente desenvolvidas, refletindo os níveis ideais de cada substância. Erros no manejo, como danos causados pelo desenvolvimento de microrganismos ou práticas inadequadas na colheita provocam irregularidades no metabolismo dos frutos que podem comprometer a qualidade dos grãos. Essas alterações na síntese de compostos químicos podem afetar negativamente a qualidade dos frutos (Barbosa, 2002). O Quadro 1 apresenta a composição média do café verde baseada na matéria seca.

Quadro 1 - Constituintes presentes no grão do café cru.

Constituintes do grão cru	Teor presente no grão (% m/m)
Lipídeos	13 a 20
Água	8 a 11
Ácidos clorogênicos	6 a 9
Proteínas	6 a 12
Açúcares	7 a 30
Minerais	3 a 4
Celulose	15 a 20
Cafeína	1 a 2,5

Fonte: Hoffmann, 2001.

O nível de umidade do grão está relacionado ao tempo, ao método e ao local de armazenamento. Quando os grãos têm umidade elevada, há um aumento no desenvolvimento de microrganismos e alterações na cor, sendo que o limite máximo recomendado para a umidade durante o armazenamento é de 12,5% (Mamani, 2007).

A cafeína é outro composto naturalmente encontrado em grãos de café. Trata-se de uma molécula da classe metilxantina presente em níveis que variam de acordo com o tipo de café e o método de preparo utilizado (Camargo; Toledo, 1998). De acordo com Menezes (1990), a cafeína é a principal purina do café, localizada na polpa, no citoplasma dos grãos e na parede celular. É inodora e possui um sabor amargo característico, que contribui para o perfil de sabor e aroma do café. Quando isolada é considerada uma droga e é o estimulante mais amplamente utilizado em medicamentos e bebidas energéticas. Embora não forneça valor nutricional, é considerada um ergogênico natural, além de atuar bloqueando a ação da adenosina, um neurotransmissor cerebral que induz o sono e também melhora a microcirculação, promovendo um fluxo sanguíneo mais eficiente (Machado, 2006).

O café robusta possui quase o dobro da cafeína do que o café arábica. Durante o processo de torra, ocorre uma pequena redução no teor de cafeína e a sua concentração na matéria seca do café torrado pode aumentar até 10% devido à perda de água e à degradação de outros componentes. Em contraste, o café solúvel ou instantâneo contém menos cafeína do que o café torrado e moído (Halal, 2008).

Amorim e Silva (1968 apud Aguiar, 2005) afirmam que os compostos fenólicos, especialmente os ácidos clorogênicos, atuam como antioxidantes, protegendo os grãos de café. Durante a colheita e processamento, as polifenoloxidasas oxidam esses compostos, influenciando negativamente o sabor e aroma do café torrado. A torrefação degrada significativamente esses fenólicos, originando pigmentos e compostos voláteis de aroma (Moreira, Trugo e De Maria, 2000). O amargor e a adstringência da bebida estão ligados à concentração de ácidos clorogênicos, que são menores em cafés colhidos na maturação correta, resultando em sabores mais agradáveis (Salva e Lima, 2007).

A trigonelina é um alcaloide natural presente em diversas plantas e seus produtos de degradação térmica são importantes sensorial e nutricionalmente, visto que sua degradação gera compostos voláteis como piridinas e pirróis, contribuindo para o aroma do café, e ácido nicotínico, formado durante a torrefação. Além disso, a

trigonelina restante da decomposição térmica também afeta o sabor amargo da bebida (De Maria, 1999).

De acordo com Trugo (2003 apud Machado, 2006), o café contém mais de trinta minerais, incluindo potássio, magnésio, cálcio, sódio, ferro, manganês, rubídio, zinco, cobre, estanho, cromo, vanádio, bário, níquel, cobalto, chumbo, molibdênio, titânio e cádmio. Os carboidratos, presentes como polissacarídeos e açúcares de baixo peso molecular, são cruciais para o aroma e pigmentação do café durante a torrefação. A sacarose, o açúcar de maior concentração, degrada-se completamente durante a torrefação, contribuindo para sabor, aroma e cor (De Maria, 1999).

Os lipídeos do café desempenham um papel crucial na qualidade da bebida, influenciando o aroma, sabor e cor, além de seu potencial industrial em cosméticos (Salva e Lima, 2007). Mudanças nos lipídeos durante o armazenamento podem provocar um gosto de madeira em cafés antigos e ajudam a preservar o aroma no café torrado. Durante a torrefação, os lipídeos formam uma camada protetora ao redor da semente, mas parte deles é perdida na moagem, o que explica a maior qualidade dos cafés com maior teor de lipídeos (Pimenta, 2003 apud Aguiar, 2005). As proteínas durante a torrefação desnaturam-se ou reagem com compostos fenólicos e açúcares, formando compostos aromáticos, sendo que a perda pode variar de 20 a 40%. Já os aminoácidos livres são degradados, participando de reações que caracterizam o aroma dos cafés de alta qualidade (Hoffmann, 2001).

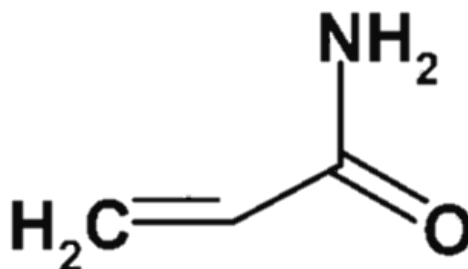
Dessa forma, o sabor e aroma agradáveis do café resultam de muitos compostos presentes nos grãos e a torrefação é essencial para desenvolver as propriedades sensoriais do café. Durante este processo, os grãos sofrem profundas alterações químicas devido às reações de *Maillard* e à formação de compostos orgânicos resultantes da torra. Há uma redução de compostos fenólicos e proteínas, além da formação de melanoidinas (Parras *et al.*, 2007 apud Farinhoto, 2012). A intensidade da torra influencia a atividade antioxidante do café, de forma que a torra suave favorece os compostos fenólicos, enquanto uma torra intensa aumenta os produtos das reações de *Maillard* (Gómez-Ruiz *et al.*, 2008 apud Farinhoto, 2012).

A reação de *Maillard*, responsável pela alteração de características sensoriais dos alimentos, também pode gerar metabólitos que representam riscos para a saúde humana em alimentos ricos em proteínas e carboidratos, como a acrilamida (Shibao; Bastos, 2011). Essa substância é formada durante o aquecimento dos alimentos a

temperaturas geralmente superiores a 120 °C, principalmente, por meio da reação entre a arginina (aminoácido) e um açúcar redutor (ANVISA, 2007).

A acrilamida é um sólido branco cristalino, incolor e inodoro, com a fórmula química C_3H_5NO e peso molecular de 71,08 g/mol (Figura 8). Ela é estável à temperatura ambiente, solúvel em água, etanol, metanol, dimetil éter e acetona, contudo é insolúvel em benzeno e heptano (IARC, 1994). Sua estrutura química inclui uma função amida polar, que contribui para sua alta solubilidade em água, e uma função vinil, que possibilita reações de polimerização (Arisseto; Toledo, 2006). Pode ser encontrada na fumaça do cigarro, em cosméticos e produtos de higiene pessoal, além de ser utilizada comercialmente na produção de poliacrilamida, empregada como floculante na clarificação de água potável e no tratamento de águas residuais. A Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021 (MS) estabelece um limite de 0,5 µg/L para a presença de acrilamida na água potável, em conformidade com as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) (Brasil, 2021).

Figura 8 - Estrutura química da acrilamida.



Fonte: Neri, 2004.

A acrilamida foi descoberta após um incidente ambiental ocorrido durante a construção de um túnel no sudoeste da Suécia. Para reduzir problemas de infiltração, foi utilizado um produto à base dessa substância química, no período de março a junho de 1997, que contaminou a água do rio adjacente, resultando na morte de bovinos e peixes. Após o ocorrido, foram detectados traços de acrilamida em trabalhadores expostos à substância, que relataram dormência e formigamento em membros inferiores e superiores, o que motivou investigações pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) e pela OMS sobre a formação do composto em alimentos e suas possíveis consequências para a saúde humana (Soares, 2006).

Em 2002, a Agência Nacional Sueca de Alimentos e pesquisadores da Universidade de Estocolmo relataram a formação de altos níveis de acrilamida durante o processamento térmico de diversos alimentos, como batata frita, batata chips, cereais matinais, café e pão (Tareke *et al.*, 2002). Essa descoberta gerou grande preocupação em termos de saúde pública e destacou a necessidade de monitorar e coletar dados sobre a ocorrência da substância nos alimentos, uma vez que é classificada pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC) como um provável carcinógeno humano, logo pertencente ao grupo 2A. Esta classificação é atribuída quando há evidências suficientes de que é carcinogênico para animais, mas apenas evidências limitadas ou insuficientes sobre sua carcinogenicidade para humanos (IARC, 1994).

Desde 2011, a Califórnia é o único lugar com legislação específica sobre os limites máximos de acrilamida em alimentos. A lei, conhecida como Prop 65, estabelece que alimentos com mais de 275 ppb (partes por bilhão) de acrilamida devem apresentar essa informação no rótulo. Em 2015, a Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar (EFSA) avaliou os riscos da acrilamida em alimentos e solicitou à Comissão Europeia a adoção de medidas para reduzir seus níveis, resultando na publicação de diretrizes e limites pela Comissão em 2017 por meio do Regulamento (UE) 2017/2394 (Miret, 2017). Embora muitos órgãos internacionais ainda não tenham estabelecido limites definitivos para a acrilamida, diversos guias de orientação foram emitidos, como o *Guidance for Industry: Acrylamide in Food* (Orientação para a Indústria: Acrilamida em Alimentos) da Administração de Alimentos e Medicamentos (Food and Drug Administration, 2016), a *Revised Exposure Assessment of Acrylamide in Food* (Avaliação revisada da exposição de acrilamida em alimentos) da Agência de Saúde do Canadá (2012), as diretrizes da Agência Espanhola de Consumo, Segurança Alimentar e Nutrição (AECOSAN, 2018) e o Informe Técnico nº 28 da ANVISA (2007). Devido à falta de informações definitivas, a FAO e a OMS aconselham a adoção de precauções na preparação de alimentos em que possa haver a formação de acrilamida durante seu processamento (Lützow, 2019).

Em 2014, a Proteste (Associação Brasileira de Defesa do Consumidor), conduziu uma pesquisa para medir os níveis de acrilamida em alguns alimentos no Brasil. Os resultados foram enviados à ANVISA solicitando a criação de um código de boas práticas para reduzir os níveis desta substância nos produtos, uma vez que embora não haja consenso sobre níveis seguros deste composto nos alimentos, o

relatório constatou sua presença em 51 produtos. O pão francês e os biscoitos, tanto doces quanto salgados, apresentaram as concentrações mais elevadas e a recomendação da associação é de que em caso de dúvidas sobre o consumo, sempre optar por uma alimentação saudável (Alvim, 2018). Até o momento, não existe legislação específica no Brasil para regular a redução da substância pelas empresas. Apesar de a ANVISA reconhecer a importância do controle da acrilamida na água, as pesquisas internacionais que mostram níveis elevados da substância em alimentos, superiores aos permitidos para a água, são desconsideradas (Lima *et al.*, 2022).

Além de ser classificada como um provável carcinógeno para humanos (Grupo 2A), a acrilamida é rapidamente absorvida pelo trato gastrointestinal após a administração oral e se distribui amplamente pelos tecidos, sem evidências de acúmulo significativo. Segundo os especialistas da *European Food Safety Authority* (EFSA), essa substância também é capaz de atravessar a barreira placentária e ser transferida em pequenas quantidades para o leite materno, além de provocar possíveis efeitos nocivos no sistema nervoso, no desenvolvimento pré-natal e pós-natal, e na reprodução masculina (European Food Safety Authority, 2015). Soma-se também o relato de pessoas expostas ao composto, as quais apresentaram irritação na pele, fadiga generalizada, fraqueza nas extremidades e alterações sensoriais, além de sintomas indicadores de disfunções no sistema nervoso central e periférico (Cetesb, 2022).

De acordo com o Regulamento (UE) 2017/2158 do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, que estabelece os requisitos para a redução da acrilamida em alimentos e define níveis de referência para sua presença, os limites para o café são especificados como 400 microgramas por quilograma para o café torrado e 850 microgramas por quilograma para o café instantâneo solúvel. Esse regulamento visa proteger a saúde pública, garantindo que a exposição à acrilamida em alimentos seja mantida dentro de níveis considerados seguros, como demonstrado no quadro 2.

Quadro 2 - Valores de referência para a presença de acrilamida nos alimentos mencionados no artigo 1º, nº 1 do Regulamento (UE) 2017/2158.

Gênero Alimentício	Nível de Referência (µg/kg)
Batatas fritas (prontas a comer)	500
Batatas fritas de pacote fabricadas com batatas frescas e com massa de batata	750
Bolachas salgadas à base de batata	
Outros produtos de batata à base de massa de batata	
Pão fresco	
(a) Pão à base de trigo	50
(b) Pão fresco excluído pão à base de trigo	100
Cereais para pequeno-almoço (exceto papas)	
— produtos à base de farelo e cereais integrais, grãos tufados pelo processo de gun puffing	300
— produtos à base de trigo e de centeio ⁽¹⁾	300
— produtos à base de milho, aveia, espelta, cevada e arroz ⁽¹⁾	150
Bolachas e wafers	350
Bolachas salgadas com exceção das bolachas à base de batata	400
Pão estaladiço (knäckebrot)	350
Pão-de-espécie	800
Produtos semelhantes aos outros produtos desta categoria	300
Café torrado	400
Café instantâneo (solúvel)	850
Sucedâneos do café	
(a) Sucedâneos do café exclusivamente a partir de cereais	500
Sucedâneos do café	
(b) Sucedâneos do café obtidos a partir de uma mistura de cereais e chicória	⁽²⁾
(c) Sucedâneos do café obtidos exclusivamente a partir de chicória	4 000
Alimentos para bebés, alimentos à base de cereais transformados destinados a lactentes e crianças pequenas, exceto bolachas e tostas ⁽³⁾	40
Bolachas e tostas para lactentes e crianças pequenas ⁽³⁾	150

⁽¹⁾ Cereais não integrais e/ou não a base de farelo. O cereal presente em maior quantidade determina a categoria.

(²) O nível de referência a aplicar aos sucedâneos do café obtidos a partir de uma mistura de cereais e chicória tem em conta a proporção relativa desses ingredientes no produto final.

(³) Conforme definidos no Regulamento (UE) n.º 609/2013.

Fonte: Regulamento Europeu (2017).

As empresas alimentícias europeias que produzem e comercializam esses produtos devem implementar medidas de mitigação para garantir que os níveis de acrilamida sejam mantidos o mais baixo possível e inferiores aos níveis de referência especificados (União Europeia, 2017).

No café, a formação de acrilamida ocorre, principalmente, durante a torrefação, um processo essencial para desenvolver o aroma, o sabor e a coloração do grão. Nos estágios iniciais, à medida que a temperatura ultrapassa 100 °C, ocorre um rápido aumento na concentração de acrilamida, que atinge o pico na primeira metade do ciclo térmico. Com o avanço da torra, os níveis do composto começam a diminuir, resultando em uma redução de 70-80% até o final do processo. Essa dinâmica depende do grau de torrefação e do tempo de exposição ao calor, sendo as torras mais escuras e prolongadas associadas a menores níveis de acrilamida (Arisseto; Toledo, 2006; 2008).

Diferentemente de outros alimentos, no café a concentração de acrilamida reduz-se com o aumento da intensidade térmica, possivelmente, devido a reações de degradação ou polimerização do composto nas fases finais da torrefação. Embora esses mecanismos ainda não sejam totalmente compreendidos, estudos sugerem que as temperaturas elevadas usadas no café promovem reações que contribuem para essa redução (Farah *et al.*, 2006; Arisseto, Toledo, 2006).

Outro fator importante é a interação da acrilamida com as melanoidinas, compostos formados na torra que podem incorporar a acrilamida em sua estrutura química, além de uma parte do composto ser perdida por volatilização (Pastoriza *et al.*, 2012; Kocadağlı *et al.*, 2012). No caso específico do café solúvel, o processo de produção inclui granulação e extração sólido-líquido em temperaturas de 100 - 170 °C. Todavia, é a torrefação que desempenha o papel mais decisivo na formação e redução da acrilamida. Torras escuras, comuns no café solúvel, frequentemente, apresentam teores do composto abaixo do limite de 400 µg/kg estipulado pela Comissão Europeia (Schouten *et al.*, 2021; Cabral *et al.*, 2007).

4.4 MÉTODOS DE REDUÇÃO DA FORMAÇÃO DE ACRILAMIDA NO CAFÉ TORRADO

Como anteriormente mencionado, a acrilamida é um composto formado, principalmente, pela reação de *Maillard* entre açúcares redutores e o aminoácido asparagina, que ocorre quando alimentos ricos em carboidratos são aquecidos a altas temperaturas, como durante a fritura ou torrefação. Devido aos seus efeitos potencialmente prejudiciais à saúde, incluindo propriedades carcinogênicas e neurotóxicas, a redução de concentração de acrilamida nos alimentos tem sido um foco de pesquisa intensiva. A formação de acrilamida pode ser minimizada por meio de várias estratégias, que incluem a modulação de condições de processamento e o uso de intervenções tecnológicas, como a adição de enzimas (Jesus, 2016).

Uma das principais estratégias para reduzir a formação de acrilamida envolve o uso da enzima asparaginase. Essa enzima atua convertendo a asparagina, o precursor direto da acrilamida, em ácido aspártico, impedindo, assim, a formação do composto. O uso de asparaginase em alimentos tem demonstrado resultados promissores, com redução significativa de acrilamida em diversos produtos, como pães, biscoitos, batatas fritas, e outros produtos assados ou processados. O uso dessa enzima é particularmente vantajoso porque pode ser aplicado sem causar grandes alterações no perfil sensorial dos produtos, desde que a dosagem e as condições de aplicação sejam adequadas. Estudos indicam que, em muitos casos, a utilização de asparaginase pode reduzir os níveis de acrilamida em até 90% sem comprometer o sabor, textura e cor dos alimentos (Hendriksen, 2013; Onishi *et al.*, 2015).

Outro método eficaz de redução da acrilamida em matrizes alimentícias envolve o controle rigoroso das condições de pH durante o processamento. Ambientes ácidos podem desacelerar a reação de *Maillard*, diminuindo a formação de acrilamida. Pesquisas mostram que a adição de ácidos como o clorídrico ou o cítrico pode reduzir os níveis de acrilamida ao alterar a reatividade da asparagina, dificultando sua interação com os açúcares redutores presentes nos alimentos (Arvanitoyannis; Dionisopoulou, 2014). Além disso, o controle da temperatura e do tempo de exposição ao calor é fundamental, pois a acrilamida é formada rapidamente nas primeiras fases do aquecimento, de forma que sua intensidade diminui no café com a temperatura

mais alta e o tempo reduzido de torrefação. Modificar essas variáveis pode ajudar a reduzir a formação do composto. O tempo de exposição e a temperatura ideal para a formação de acrilamida dependem de cada tipo de alimento, sendo necessário um ajuste cuidadoso para balancear segurança e qualidade sensorial no produto (Becalski *et al.*, 2003; FAO/WHO, 2005).

No que diz respeito ao café, o controle da formação de acrilamida é particularmente importante, pois a torrefação é o estágio crítico onde o composto se forma. Durante a torrefação, as temperaturas elevadas de 190 – 250 °C promovem a reação de *Maillard*, resultando na formação de acrilamida. Para mitigar essa formação, uma abordagem eficaz tem sido a aplicação de asparaginase nos grãos de café verdes antes da torrefação. A asparaginase aplicada nesse estágio pode reduzir significativamente os níveis de acrilamida no café. Estudos, como os de Hendriksen (2013), mostram que o uso da enzima, combinado com o pré-tratamento dos grãos com vapor para abrir os poros dos grãos e permitir maior contato da enzima com a asparagina, pode resultar em uma redução de até 80% nos níveis de acrilamida.

Além disso, a modulação das condições de torrefação pode ajudar a diminuir a formação de acrilamida. A torrefação mais leve, por exemplo, resulta em menor formação do composto, embora também altere o perfil sensorial do café, tornando-o mais ácido. Assim, a escolha do grau de torrefação deve ser equilibrada, considerando o impacto sobre o sabor e a segurança alimentar do café (Arvanitoyannis; Dionisopoulou, 2014; Stadler, 2005). Estudos indicam que uma torrefação mais escura pode reduzir os níveis de acrilamida, mas não sem comprometer outras características sensoriais do café, como o aroma (Farah *et al.*, 2005).

A escolha dos grãos de café também desempenha um papel crucial na formação de acrilamida. Grãos de café verde oriundos de frutos mais maduros, ou processados de forma diferenciada, tendem a ter menores concentrações de asparagina e, portanto, geram menores quantidades de acrilamida durante a torrefação. Por exemplo, grãos de café provenientes de uma colheita que inclui muitos frutos imaturos geralmente contêm maiores concentrações de asparagina, resultando em maior formação de acrilamida durante a torrefação (Dias *et al.*, 2008). A secagem adequada dos grãos de café também é uma etapa crítica, pois a umidade dos grãos influencia diretamente a formação de acrilamida, sendo que níveis excessivos de umidade podem promover a reação de *Maillard* antes da torrefação propriamente dita (Carvalho, 1994; Silva, 2001).

Além do uso de asparaginase e do controle das condições de torrefação, o armazenamento do café também pode influenciar os níveis de acrilamida no grão. Estudos demonstraram que, ao longo do tempo, os níveis de acrilamida no café podem diminuir devido à degradação do composto, processo que é mais acentuado quando o café é armazenado em condições adequadas de temperatura e umidade (Arvanitoyannis; Dionisopoulou, 2014). Portanto, o manejo pós-colheita, incluindo as técnicas de secagem e armazenamento, é tão importante quanto o processo de torrefação na redução da formação de acrilamida.

A detecção e quantificação da acrilamida na produção de café solúvel podem ser realizadas por meio de análises químicas avançadas, empregando equipamentos sensíveis e específicos. O equipamento mais comumente utilizado para a detecção e quantificação da acrilamida é o Cromatógrafo Líquido Acoplado à Espectrometria de Massas em Tandem e o Cromatógrafo Gasoso Acoplado à Espectrometria de Massas.

4.4.1 MANEIRAS DE CONTROLAR A TEMPERATURA NO PROCESSAMENTO DO CAFÉ SOLÚVEL PARA MITIGAR A FORMAÇÃO DE ACRILAMIDA

Conforme abordado no item anterior, no processamento do café, o controle rigoroso da temperatura é crucial para garantir a qualidade do produto final, especialmente, durante a torrefação, que é o estágio em que se formam compostos sensoriais essenciais, como aroma e sabor, enquanto podem ser geradas substâncias indesejáveis, como a acrilamida. A formação dessa substância está intimamente relacionada à temperatura e ao tempo de torrefação. Pesquisas indicam que temperaturas elevadas, acima de 180 °C, favorecem a formação de acrilamida, particularmente nas fases iniciais do processo térmico. No entanto, ao prolongar a torrefação em temperaturas mais altas, ocorre a degradação da acrilamida, o que reduz sua presença no produto final, embora possa comprometer o perfil sensorial do café (Arvanitoyannis; Dionisopoulou, 2014; Shibamoto, 2014).

A faixa de temperatura entre 200 °C e 240 °C durante a torrefação é considerada crítica para a formação de acrilamida. Portanto, é necessário monitorar cuidadosamente a temperatura, pois uma torrefação mais escura, com temperaturas mais elevadas, pode reduzir os níveis de acrilamida, mas também altera a intensidade do sabor, tornando-o mais amargo e diminuindo a intensidade do aroma

(Arvanitoyannis; Dionisopoulou, 2014; Koblitiz, 2011). Além disso, o uso de técnicas de resfriamento e pré-tratamento térmico, como a aplicação de vapor, pode otimizar o processo, abrindo os poros dos grãos e permitindo que o calor penetre uniformemente, o que resulta em uma redução mais eficaz da acrilamida, mantendo a qualidade sensorial do café (Kocadağlı et al., 2012).

No contexto da produção de café solúvel, o controle preciso da temperatura também é essencial, especialmente durante as fases de secagem e torrefação, para preservar a qualidade do produto e minimizar a formação de compostos indesejáveis. O processo de liofilização, por exemplo, começa com o pré-congelamento do extrato de café em temperaturas de -40 °C a -45 °C, seguido pela sublimação, onde a água é removida sem a necessidade de aquecer o produto de forma agressiva, o que ajuda a preservar os aromas e sabores do café. Diferentemente de outros métodos térmicos, como a secagem por *Spray Dried*, a liofilização não estimula diretamente a formação de acrilamida, um composto tóxico gerado em altas temperaturas durante a reação de *Maillard*. Por operar em baixas temperaturas e evitar aquecimentos intensos, a liofilização reduz a probabilidade de formação de acrilamida, enquanto garante a preservação das características sensoriais do produto final (BOSS, 2004).

Durante a torrefação, o uso de sistemas de recompressão de vapor térmico ou mecânico pode proporcionar um controle mais eficiente da temperatura, ao mesmo tempo em que reduz o consumo de energia. As temperaturas típicas para a torrefação variam entre 200 °C e 240 °C, dependendo do perfil desejado para a bebida final. Essa precisão no controle da temperatura contribui para a produção de café de alta qualidade, enquanto minimiza a formação de acrilamida e outros compostos prejudiciais (da Costa et al., 2023).

Após a torrefação, a fase de extração é de essencial controle, uma vez que envolve o tratamento preciso dos grãos torrados com água quente, liberando compostos solúveis responsáveis pela cor, sabor e aroma, além de possíveis compostos tóxicos, como a acrilamida. O monitoramento cuidadoso dessa etapa é crucial para garantir condições ideais, equilibrando temperatura e tempo para alcançar o perfil de sabor desejado (Schouten; Tappi; Romanl, 2020). Após a extração, o extrato de café é tratado para a remoção das partículas insolúveis, por meio de filtragem ou centrifugação. Em seguida, o excesso de água presente no líquido é eliminado durante a etapa de concentração. O processo resulta em um extrato

concentrado, que serve como base para a produção de café instantâneo (Abics, 2020).

O controle de temperatura também desempenha um papel fundamental em outras etapas do processo, como na secagem. A escolha do equipamento de torrefação adequado, como torrefadores de tambor, ar ou leito fluidizado, impacta o gerenciamento do calor e o fluxo de ar, influenciando diretamente as características do produto final (Sivetz, Desrosier, 1979). O monitoramento de parâmetros como a extração percentual e sólidos dissolvidos totais ajuda a compreender como a temperatura afeta a qualidade do produto final, permitindo ajustes que favoreçam a obtenção do perfil sensorial desejado e a minimização de presença de compostos tóxicos na bebida (Andrade; Celestino; Oliveira, 2021).

5. CONCLUSÃO

O presente estudo evidenciou a relevância do café não apenas como uma *commodity* essencial para a economia brasileira, mas também como um produto de grande impacto cultural e histórico. A produção e exportação do café solidificam a posição do Brasil como líder mundial no setor, com destaque para a crescente importância do café solúvel no mercado global. Apesar de sua significância econômica e social, o estudo revelou desafios importantes relacionados à segurança do alimento, especialmente, no que tange à formação de acrilamida durante o processamento dos grãos. Essa substância, formada, principalmente, durante a reação de *Maillard*, é um composto potencialmente tóxico e classificado como provável carcinógeno pela IARC, a qual demanda atenção especial no âmbito da segurança do consumidor.

Ao analisar os fatores que contribuem para a formação de acrilamida no café, como o grau de torrefação, o tipo de grão e as condições do processo produtivo, constatou-se que a redução de seus níveis pode ser alcançada por meio de intervenções tecnológicas, incluindo o uso de enzimas, como a asparaginase, além de ajustes nas condições de processamento, como o controle de temperatura e tempo de torra. Esses métodos promovem a segurança do produto final e buscam manter as características sensoriais do café, preservando seu aroma, sabor e qualidade. Portanto, a pesquisa ressalta a importância de estratégias de mitigação de formação da acrilamida no processamento do café, que conciliem a qualidade sensorial e a segurança do alimento.

O estudo abordou a formação de acrilamida no café, no entanto apresenta algumas limitações, como a escassez de pesquisas sobre a relação entre variações de temperatura e os níveis desse composto, especialmente no café solúvel, e a falta de análise do impacto de diferentes grãos, armazenamento e métodos de secagem. A ausência de regulamentações específicas no Brasil também dificulta comparações com padrões internacionais. Futuras pesquisas devem investigar a interação entre compostos nos grãos e métodos de torrefação, bem como a eficácia de enzimas redutoras de acrilamida em escala industrial. A criação de normas regulatórias claras e alinhadas às diretrizes internacionais é essencial para garantir a segurança alimentar e integrar novas tecnologias no processamento de café, preservando a qualidade sensorial do produto.

REFERÊNCIAS

- ABICS. **Manual de Café Solúvel para Baristas: Técnicas de Processos**, 2020. Disponível em: http://consorciopesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/consumo/ABICS_manual_cafe_soluvel_tecnicas_de_processos.pdf. Acesso em: 20 jul. 2024.
- AGENCIA española de consumo, seguridad alimentaria y nutrición (AECOSAN). **Acrilamida en los alimentos: nuevas normas y recomendaciones por tu salud**. 2018. Disponível em: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/noticias/2018/CUADRIPTICO_ACRILAMIDA_AECOSAN.PDF. Acesso em: 28 jul. 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Informe Técnico nº 28, de 2 de julho de 2007**. 2007. Disponível em: <https://antigo.anvisa.gov.br/>. Acesso em: 21 jul. 2024.
- AGUIAR, A.T.E. **Atributos químicos de espécies de café**. 2005. 87f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- ALVES, R. C.; SOARES, C.; CASAL, S.; FERNANDES, J.O.; BEATRIZ, M.; OLIVEIRA P.P. Acrylamide in espresso coffee: Influence of species, roast degree and brew length. **Food Chemistry**, v. 119, p. 929-934, 2010.
- ALVIM, Mariana. Como o Brasil trata a acrilamida, substância presente no café e no pão que pode causar câncer. **BBC Brasil**, 19 abr. 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-43805098>. Acesso em: 21 jul. 2024.
- ANDRADE, Lorena Andrade de Aguiar; CELESTINO, Sonia Maria Costa; OLIVEIRA, Lívia de Lacerda. **Metodologia de análise descritiva quantitativa da bebida de café (Coffea arabica L.): Aplicação no treinamento para análise sensorial**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1141135/1/Doc-378-Sonia.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2024.
- ARISSETO, A. P.; TOLEDO, M. C. F. Acrilamida em alimentos: uma revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 9, n. 2, p.123-134, 2006.
- ARISSETO, M.A.P.; TOLEDO, C. Estimativa preliminar da ingestão de acrilamida no Brasil. **Revista Brasileira de Toxicologia**. V.1, n.21, p.9 -14. 2008.
- ARVANITOYANNIS, I. S.; DIONISOPOULOU, N. **Acrylamide: formation, occurrence in food products, detection methods, and legislation**. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 54, n. 6, p. 708-733, 2014. DOI: 10.1080/10408398.2011.606378. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24345045/>. Acesso em: 11 nov. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL. **Relatório do Café Solúvel do Brasil: Análise de desempenho - Ano civil 2023**. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.abics.com.br/wp-content/uploads/2024/01/Relatorio-Cafe-Soluvel-Brasil-Janeiro-2024-1.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2024.

ATUAL estimativa traz produção de café em 58,81 milhões de sacas na safra 2024. **Companhia Nacional de Abastecimento**, 23 fev. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5547-atual-estimativa-traz-producao-de-cafe-em-58-81-milhoes-de-sacas-na-safra-2024>. Acesso em: 9 jul. 2024.

BARBOSA, R. M. **Caracterização físico-química de seis categorias da bebida café classificada pelo teste da xícara**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal de Viçosa, 53p, 2002.

BECALSKI, A.; LAU, B. P.; LEWIS, D.; SEAMAN, S. W. Acrylamide in foods: occurrence, sources, and modeling. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 3, p. 802-808, 29 jan. 2003. DOI: 10.1021/jf020889y. PMID: 12537461.

BOSS, Edinara Adelaide. **Modelagem e otimização do processo de liofilização: aplicação para leite desnatado e café solúvel**. 2004. 107p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1596991>. Acesso em: 03 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Conheça a história do café no mundo e como o Brasil se tornou o maior produtor e exportador da bebida**. Brasil, 14 abr. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/conheca-a-historia-do-cafe-no-mundo-e-como-o-brasil-se-tornou-o-maior-produtor-e-exportador-da-bebida>. Acesso em: 30 maio 2024.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 7 de maio de 2021. Estabelece o regulamento técnico para a qualidade da água potável. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 maio 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 26 nov. 2024.

BRASIL: a nação do café. **Conselho Nacional do Café**, 14 abr. 2022. Disponível em: <https://cncafe.com.br/cafe-do-brasil-historia/>. Acesso em: 2 jun. 2024.

CABRAL, L. et al. **Concentração de componentes do aroma do café por evaporação**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2007.

CAMARGO, M.C.R. TOLEDO, M.C.F. Teor de cafeína em café brasileiro. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v.18, nº4, p.421-424, 1998.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Acrilamida**. 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Acrilamida.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2024.

CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffee**: Volume 1: Chemistry. Softcover Reprint of the Original 1st ed. Londres: Springer, 2011. 306 p.

CLASSIFICAÇÃO DO GRÃO VERDE DO CAFÉ. **Revista Cafeicultura**, 2012. Disponível em: <https://revistacafeicultura.com.br/classificacao-do-grao-verde-do-cafe/>. Acesso em: 19 jul. 2024.

COCAM. **Cocam - Muito mais café solúvel**. Disponível em: <https://www.cocam.com.br/>. Acesso em: 31 maio. 2024.

COFFEE AT CORNER. **Brewing temp for coffee**. Disponível em: <https://coffeeatcorner.com/brewing-temp-for-coffee/>. Acesso em: 15 nov. 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Produção de café cresce 8,2% em 2023 e chega a 55,1 milhões de sacas**. 14 dez. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5323-producao-de-cafe-cresce-8-2-em-2023-e-chega-a-55-1-milhoes-de-sacas>. Acesso em: 22 jul. 2024.

DA COSTA, D. S.; ALBUQUERQUE, T. G.; COSTA, H. S.; BRAGOTTO, A. P. A. **Thermal contaminants in coffee induced by roasting: A review**. International Journal of Environmental Research and Public Health, [S. l.], v. 20, n. 8, p. 5586, 20 abr. 2023. DOI: 10.3390/ijerph20085586. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph20085586>. Acesso em: 04 nov. 2024.

DE MARIA, C.A.B.; MOREIRA, R.F.A.; TRUGO, L.C. Componentes voláteis do café torrado, parte 1: compostos heterocíclicos. **Química Nova**, v. 22, nº 2, p. 209-217, 1999.

DE PAULA, N. C. C.; SILVA, F. C. Café (Coffea L): matéria-prima, processamento e qualidade. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 10, n. 4, p. 144-165, out./dez. 2019. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa>. Acesso em: 23 jul. 2024.

DIAS, D. A. et al. **Reduction of acrylamide in coffee by the control of asparagine and other precursors**. *Food Chemistry*, v. 107, n. 2, p. 628-633, 2008.

ESTEVES, B. N. **Influência do processo de secagem por pulverização mecânica (Spray Dryer) no tamanho de partícula e densidade aparente do café solúvel**, 2006. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

European Food Safety Authority (EFSA). Scientific opinion on acrylamide in food. **EFSA Journal**, v. 13, n. 6, p. 4104, 2015.

FARAH, A.; MONTEIRO, M.C.; CALADO, V.; FRANCA, A.S.; TRUGO, L.C. Correlation Between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**. V.98, n.07, p.373-380. 2006.

FARINHOTO, Rute Judite Camelo da Rocha. **Análise física e química de cafés verdes com diferentes origens geográficas**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2012.

FERREIRA, Lucas Tadeu; CAVATON, Thiago. **Cafés do Brasil tem receita bruta estimada em R\$ 57,24 bilhões para o ano-cafeeiro 2024**. Embrapa, 16 abr. 2024. Disponível em: [https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/88485186/cafes-do-brasil-tem-receita-bruta-estimada-em-r-5724-bilhoes-para-o-ano-cafeeiro-2024#:~:text=%2C24%20bilh%C3%B5es\).- ,Dessa%20forma%2C%20verifica%2Dse%20que%20o%20estado%20de%20Mina s%20Gerais,%2C8%25%20do%20total%20geral](https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/88485186/cafes-do-brasil-tem-receita-bruta-estimada-em-r-5724-bilhoes-para-o-ano-cafeeiro-2024#:~:text=%2C24%20bilh%C3%B5es).- ,Dessa%20forma%2C%20verifica%2Dse%20que%20o%20estado%20de%20Mina s%20Gerais,%2C8%25%20do%20total%20geral). Acesso em: 17 jul. 2024.

FERREIRA, Lucas Tadeus. **Produção mundial de café para safra 2023-2024 totaliza 171,4 milhões de sacas de 60kg**. Embrapa, 18 abr. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/88547345/producao-mundial-de-cafe-para-safra-2023-2024-totaliza-1714-milhoes-de-sacas-de-60kg>. Acesso em: 17 jul. 2024.

FOOD and Drug Administration - Guidance for Industry: **Acrylamide in Foods**, 2016. Disponível em: <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fdaguidance-documents/guidance-industry-acrylamide-foods>. Acesso em: 27 jul. 2024.

Halal, Shanise Lisie Mello El. **Composição, Processamento e Qualidade do Café**. 2008. 45f. Bacharelado em Química de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

HENDRIKSEN, H. V.; KORNBRUST, B. A.; ØSTERGAARD, P. R.; STRINGER, M. A. Evaluating the potential for enzymatic acrylamide mitigation in a range of food products using an asparaginase from *Aspergillus oryzae*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 10, p. 4168-4176, 2009. DOI: 10.1021/jf900174q. Epub 2009 Apr 23. PMID: 19388639.

HERNÁNDEZ, Alba. **Do que é realmente feito o café instantâneo**. Publicado originalmente em: The NY Journal. Associação Brasileira da Indústria de Café Solúvel, 10 out. 2020. Disponível em: <https://abics.com.br/do-que-e-realmente-feito-o-cafe-instantaneo/>. Acesso em: 9 jul. 2024.

HISTÓRIA do café à industrialização. **Revista Cafeicultura**, 4 jan. 2009. Disponível em: <https://revistacafeicultura.com.br/historia-do-cafe-a-industrializacao/>. Acesso em: 18 jul. 2024.

HISTORY OF COFFEE. **Origin and history of instant coffee**. 2024. Disponível em: <http://www.historyofcoffee.net/coffee-history/instant-coffee-history/>. Acesso em: 19 jul. 2024.

HOFFMANN, C.E. **Resfriamento no processo de torra nas características de qualidade tecnológica e sensorial do café**. 86p. Dissertação (Mestrado em ciências) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas- RS, 2001.

IARC. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. WHO. World Health Organization. **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Some traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene and styrene**, v. 82. Lyon: IARC PRESS, 2002. 601 p. Disponível em: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On- The->

Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Some-Traditional-Herbal-Medicines-Some- Mycotoxins-Naphthalene-And-Styrene-2002. Acesso em: 4 abr. 2024.

INDICADORES da Indústria de Café em 2023. **Associação Brasileira da Indústria de Café**, 2024. Disponível em: <https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2023/>. Acesso em: 3 jun. 2024.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: acrylamide. **IARC Monographs**, v. 60, p. 389-433, 1994.

JESUS, Susana Patrícia Alegria de. **Estratégias de redução e mitigação da acrilamida em produtos de panificação**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/71861/1/Jesus_2016.pdf. Acesso em: 7 nov. 2024.

JOINT FAO/WHO CONSULTATION ON HEALTH IMPLICATIONS OF ACRYLAMIDE IN FOOD (2002: Genebra, Suíça); WHO FOOD SAFETY PROGRAMME. *Health implications of acrylamide in food: report of a joint FAO/WHO consultation*, WHO Headquarters, Geneva, Switzerland, 25-27 June 2002. Genebra: World Health Organization, 2002. Disponível em: <https://iris.who.int/handle/10665/42563>. Acesso em: 05 nov. 2024.

KOCADAĞLI, T.; GÖNCÜOĞLU, N.; HAMZALIOĞLU, A.; GÖKMEN, V. In depth study of acrylamide formation in coffee during roasting: role of sucrose decomposition and lipid oxidation. **Food Function**, v. 3, n. 9, p. 970-975, 2012. DOI: 10.1039/c2fo30038a. Epub 2012 Jul 16. PMID: 22796869.

LIMA, Erykson et al. A FORMAÇÃO NATURAL DE ACRILAMIDA EM ALIMENTOS E SEUS RISCOS PARA A SAÚDE. **Revista Presença**, v. 8, n. 17, p. 41 - 73, jul 2022. ISSN 2447-1534. Disponível em: <<https://revistapresenca.celsolisboa.edu.br/index.php/numerohum/article/view/376>> . Acesso em: 20 jul. 2024.

LÜTZOW, Manfred. **Acrylamide in food**. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/3/Y4267M/y4267m10.htm>. Acesso em 25 jul. 2024.

MACHADO, M.M.L. **Associação do consumo de café com o nível de atividade física, a idade e o sexo, controlando-se parâmetro sócio - econômico-comportamentais clínicos e bioquímicos de trabalhadores de empresas de Belém-PA**. 2006.68f. Dissertação (mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MAMANI, M.Y.R. **Acidez do café e a qualidade da bebida**. 2007.82f. Dissertação (mestrado em ciências dos alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

MENEZES, H. C. **Variação dos monoisômeros e diisômeros do ácido cafeoilquínico com maturação de café**. 1990. 171 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Gabinete do Ministro. Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 17 abr. 2024.

MIRET, Camila. União Europeia deverá estabelecer limites para acrilamida em 2018. **Food Safety Brasil**, 2017. Disponível em: <https://foodsafetybrazil.org/114034-2/>. Acesso em: 25 jul. 2024.

MONTEIRO, Mariana C.; TRUGO, Luiz C. Determinação de Compostos Bioativos em amostras comerciais de café torrado. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p.637-641, ago. 2005.

MOREIRA, R.F.A.; TRUGO, L.C.; DE MARIA, C.A.B. Componentes voláteis do café torrado, parte 2: compostos alifáticos, alicíclicos e aromáticos. **Química Nova**, v.23, n. 2, p. 195-203, 2000.

NEVES, Lincoln W. de A. **Fazer ou Comprar: uma análise sob a perspectiva das teorias da Economia dos Custos de Transação e da Visão Baseada nos Recursos**, 2009. 171 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio, Rio de Janeiro. 2009.

OLIVEIRA, G. S. de. **Comparação química dos grãos de café (Coffea arabica), sadio e seus grãos PVA (pretos, verdes, ardidos) oriundos do Sul de Minas e do Cerrado Mineiro, submetidos a diferentes graus de torrefação**. 101p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2006.

OLIVEIRA, G. S. de. **Comparação química dos grãos de café (Coffea arabica), sadio e seus grãos PVA (pretos, verdes, ardidos) oriundos do Sul de Minas e do Cerrado Mineiro, submetidos a diferentes graus de torrefação**. 2006, 101 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2006.

ONISHI, Y.; PRIHANTO, A. A.; YANO, S.; TAKAGI, K.; UMEKAWA, M.; WAKAYAMA, M. **Effective treatment for suppression of acrylamide formation in fried potato chips using L-asparaginase from *Bacillus subtilis***. *3 Biotech*, v. 5, n. 5, p. 783-789, out. 2015. DOI: 10.1007/s13205-015-0278-5. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28324531/>. Acesso em: 02 nov. 2024.

ORIGEM do Café. **ABIC**, 28 jun. 2021. Disponível em: <https://www.abic.com.br/tudo-de-cafe/origem-do-cafe/>. Acesso em: 9 jul. 2024.

PINTO, N. A. V. D. Avaliação química e sensorial de diferentes padrões de bebida do café arábica cru e torrado. 2002. 92 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

REVISED exposure assessment of acrylamide in food. **Health Canada**, 2012. Disponível em: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/revised-exposure-assessment-acrylamide-food.html>. Acesso em: 28 jul. 2024.

REVISTA CAFEICULTURA. **A evolução do cafézinho solúvel, descafeinado, liofilizado e expresso.** 2006. Disponível em: <https://revistacafeicultura.com.br/a-evolucao-do-cafezinho-soluvel-descafeinado-liofilizado-e-espresso/>. Acesso em: 2 jun 2024.

SAFRA dos Cafés do Brasil de Coffea arabica atinge 38,90 milhões de sacas e equivale a 40% da produção mundial dessa espécie. **Consórcio Pesquisa Café**, 18 jan. 2024. Disponível em: <http://www.consorciopesquisacafe.com.br/index.php/imprensa/noticias/1194-2024-01-18-14-41-11>. Acesso em: 20 maio 2024.

SALVA, T.J.G.; LIMA, V.B. A composição química do café e as características da bebida e do grão. **O Agrônomo**, Campinas, v.59, n.1, p.57-59, 2007.

SCHOUTEN, M. A.; TAPPI, S.; ANGELONI, S.; CORTESE, M.; CAPRIOLI, G.; VITTORI, S.; ROMANI, S. **Acrylamide formation and antioxidant activity in coffee during roasting - A systematic study.** *Food Chemistry*, v. 343, p. 128514, 1 maio 2021. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128514. Epub 2020 nov. 1. PMID: 33187741.

SCHOUTEN, M. A.; TAPPI, S.; ROMANI, S. **Acrylamide in coffee: formation and possible mitigation strategies - a review.** *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 60, n. 22, p. 3807-3821, 2020. doi: 10.1080/10408398.2019.1708264. Epub 2020 Jan 5. PMID: 31905027.

SHIBAMOTO, T. **Volatile chemicals from thermal degradation of less volatile coffee components.** In: *Coffee in Health and Disease Prevention*. Elsevier, 2014.

SHIBAO, J.; BASTOS, D. H. M. **Produtos da reação de Maillard em alimentos: implicações para a saúde.** *Revista de Nutrição*, São Paulo, v. 24, n. 6, p. 895-904, nov./dez. 2011.

SIVETZ, M.; DESROSIER, N. W. **Coffee technology.** Westport, Connecticut: AVI Publishing Company, 1979. 716 p.

SOARES, Cristina Maria Dias. **Determinação dos teores de acrilamida em alimentos.** 2006. 184 f. Dissertação (Mestrado em Bromatologia) - Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto, Porto, 2006.

SOUZA, F. de F.; SANTOS, J. C. F.; COSTA, J. N. M.; SANTOS, M. M. dos. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004. 21 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54346/1/Doc93-cafe.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2024.

Tareke E, Rydberg P, Karlsson P, Eriksson S, Törnqvist M. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 17, p. 4998-5006, 14 ago. 2002. DOI: 10.1021/jf020302f. PMID: 12166997.

TODA, Tatiane Akemi; SCHARLACK, Nayara Kastem; RODRIGUES, Christianne Elisabete da Costa. Extração de óleo da borra de café utilizando solvente

renovável para agregação de valor aos resíduos do processamento do café solúvel. **Anais**. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, 2015.

UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (UE) 2017/2158 do Parlamento Europeu e do Conselho de 20 de novembro de 2017. **Sobre a redução da acrilamida nos alimentos. Diário Oficial da União Europeia**. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32017R2158>. Acesso em: 20 jul. 2024.

VIGOLI, J. A.; BASSOLI, D. G.; BENASSI M. T. Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The influence of processing conditions and raw material. **Food Chemistry**. Reino Unido, v. 124, n. 3, p. 863-868, fev. 2011.

WANG, W.; WANG, S.; PAN, Y.; YANG, J.; ZHANG, S.; CHEN, G. Abordagem de material congelado poroso para liofilização de café instantâneo. **Drying Technology**, v. 37, n. 16, p. 2126–2136, 2019. DOI: 10.1080/07373937.2018.1564759.