



**ANTONIO MOREIRA BOTAN**

**TORREFAÇÃO DE CAFÉS POR MICRO-ONDAS**

**LAVRAS – MG  
2022**

**ANTONIO MOREIRA BOTAN**

**TORREFAÇÃO DE CAFÉS POR MICRO-ONDAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Irineu Petri Júnior  
Orientador

**LAVRAS – MG**  
**2022**

**ANTONIO MOREIRA BOTAN**

**TORREFAÇÃO DE CAFÉS POR MICRO-ONDAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 15 de setembro de 2022.

---

Eng<sup>a</sup>. Emanuelle Aparecida da Costa  
PPGCA/UFLA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lidja Dahiane Menezes Santos Borel  
DEG/UFLA

---

Prof. Dr. Irineu Petri Junior  
DEG/UFLA

**LAVRAS – MG  
2022**

*Be kind!*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu pai, que partiu antes de ver seu sonho se tornar realidade.

## RESUMO

O café é uma bebida estimulante consumida em larga escala ao redor do mundo. Ela é extraída de um grão torrado, fruto do cafeeiro. Alguns estudos mostram que o futuro do consumo dessa bebida está diretamente ligado com o consumidor estar inserido em todas as etapas de produção da mesma, do campo até a mesa. Esse é o significado da quarta onda do café, onde o usuário se torna protagonista na hora de consumir café. O presente trabalho teve como objetivo entender o comportamento de amostras de café quando submetidas a um processo de torra via micro-ondas, bem como caracterizá-las sensorialmente, a fim de se criar uma alternativa para realizar a torra de café de forma manual e caseira. Foi utilizado um protótipo de torrador a partir de um forno micro-ondas com algumas adaptações. Foram testadas amostras de 100g e 200g que foram submetidas a diversos experimentos variando o tempo de torra, e mesclando potências do equipamento. Para as amostras de 100g, foram utilizados tempos variando entre 1 minuto e 40 segundos e 7 minutos, sempre utilizando a potência de 100% para os primeiros 2 minutos, e a potência de 40% para o restante da torra. Para as amostras de 200g, foram utilizados tempos variando entre 3 minutos e 23 minutos, sempre utilizando a potência de 100% para os primeiros 3 minutos, e a potência de 50% para o restante da torra. Para cada tamanho de amostra, foi construída sua curva de torra. Todas as amostras testadas foram avaliadas sensorialmente, levando em consideração a cor, o sabor, o aroma e os aspectos gerais. Foi possível concluir que, para uma amostra de 100g, o tempo ideal de torra é de 4 minutos e 30 segundos, sendo 2 minutos com potência 100% e 2 minutos e 30 segundos com potência de 40%. Para uma amostra de 200g, o tempo ideal é de 17 minutos, sendo 3 minutos com potência de 100% e 14 minutos com potência de 50%. Para ambos os tamanhos de amostra, a temperatura máxima alcançada pelos grãos ficou perto dos 200°C, temperatura próxima com o que se alcança em um torrador tradicional. Considerando todos os dados obtidos, foi possível concluir que é possível obter um café sensorialmente aceito quando torrado via micro-ondas em condições específicas.

**Palavras-chave:** Torra, Grãos, quarta onda, Forno micro-ondas, Prova de xícara, Análise sensorial.

## ABSTRACT

Coffee is a stimulant drink consumed on a large scale around the world. It is extracted from a roasted bean, fruit of the coffee tree. Some studies show that the future of the consumption of this drink is directly linked with the consumer being inserted in all stages of production of the same, from the field to the table. This is the meaning of the fourth wave of coffee, where the user becomes the protagonist when it comes to consuming coffee. The present work aimed to understand the behavior of coffee samples when submitted to a roasting process via microwave, as well as to characterize them sensorially, in order to create an alternative to perform the coffee roasting manually and at home. A prototype roaster from a microwave oven with some adaptations was used. Samples of 100g and 200g were tested and submitted to several experiments varying the roasting time, and mixing equipment powers. For the 100g samples, times ranging between 1 minute and 40 seconds and 7 minutes were used, always using 100% power for the first 2 minutes and 40% power for the rest of the roast. For the 200g samples, times ranging from 3 minutes to 23 minutes were used, always using 100% power for the first 3 minutes, and 50% power for the rest of the roast. For each sample size, its roasting curve was constructed. All tested samples were evaluated sensorially, considering color, flavor, aroma and general aspects. It was possible to conclude that, for a 100g sample, the ideal roasting time is 4 minutes and 30 seconds, being 2 minutes with 100% power and 2 minutes and 30 seconds with 40% power. For a 200g sample, the ideal time is 17 minutes, with 3 minutes at 100% power and 14 minutes at 50% power. For both sample sizes, the maximum temperature reached by the beans was close to 200°C, a temperature close to what is reached in a traditional roaster. Considering all the data obtained, it was possible to conclude that it is possible to obtain a sensorially acceptable coffee when roasted via microwave under specific conditions.

**Keywords:** Roasting, Grains, Fourth Wave, Microwave oven, Cupping, Sensory Analysis.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\gamma$	Comprimento de onda	[-]
$f$	Frequência de onda	[Hz]
$c$	Velocidade da luz	[m/s]

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de colheita utilizando máquina colhedora. ....	6
Figura 2 - Ciclos da obtenção do grão de café cru. ....	6
Figura 3 - Etapas do preparo do fruto do café. ....	7
Figura 4 - Terreiro utilizado para secagem de café. ....	8
Figura 5 - Torrador industrial de café. ....	9
Figura 6 – Exemplo de curva de torra. ....	11
Figura 7 - Propaganda de café solúvel do século XX. ....	13
Figura 8 - Roda de Sabores desenvolvida pela SCA. ....	16
Figura 9 - Amostras de café de um <i>cupping</i> . ....	17
Figura 10 - Diferentes faixas de ondas eletromagnéticas. ....	18
Figura 11 - Esquema de um forno micro-ondas. ....	20
Figura 12 – Primeira adaptação do forno micro-ondas. ....	22
Figura 13 – Pesagem de uma amostra de 200 g. ....	23
Figura 14 – Limite inferior para amostra de 100 g. ....	24
Figura 15 – Limite superior para amostra de 100 g. ....	24
Figura 16 – Limite inferior para amostra de 200g. ....	24
Figura 17 – Limite superior para amostra de 200g. ....	24
Figura 19 – Homogeneização dos grãos de uma amostra. ....	26
Figura 20 – Moedor da marca <i>Bunn</i> utilizado na moagem das amostras. ....	26
Figura 21 – Aferição da temperatura com auxílio de um multímetro. ....	27
Figura 22 – Xícaras de prova. ....	28
Figura 23 – Amostras sendo preparadas pela barista Emanuelle Costa. ....	28
Figura 24 – Curva de Torra para amostra de 100g. ....	31
Figura 25 - Curva de Torra para amostra de 200g. ....	31
Figura 26 – Avaliação da cor, do sabor e do aroma para amostras de 100g. ....	33
Figura 27 - Impressão global em relação ao tempo de torra para amostras de 100g. ....	34
Figura 28 - Avaliação da cor, do sabor e do aroma para amostras de 200g. ....	35
Figura 29 - Impressão global em relação ao tempo de torra para amostras de 200g. ....	36
Figura 30 - Amostra de 100g em grão torrada por a) 1 minuto e 40 segundos; b) 2 minutos; c) 2 minutos e 30 segundos; d) 3 minutos; e) 3 minutos e 30 segundos; f) 4 minutos; g) 4 minutos e 30 segundos; h) 5 minutos; i) 5 minutos e 30 segundos; j) 6 minutos; k) 6 minutos e 30 segundos; l) 7 minutos. ....	44
Figura 31 - Amostra de 100g moido torrada por a) 1 minuto e 40 segundos; b) 2 minutos; c) 2 minutos e 30 segundos; d) 3 minutos; e) 3 minutos e 30 segundos; f) 4 minutos; g) 4 minutos e 30 segundos; h) 5 minutos; i) 5 minutos e 30 segundos; j) 6 minutos; k) 6 minutos e 30 segundos; l) 7 minutos. ....	45
Figura 32 - Amostra de 200g em grão torrada por a) 3 minuto; b) 5 minutos; c) 7 minutos; d) 9 minutos; e) 11 minutos; f) 13 minutos; g) 15 minutos; h) 17 minutos; i) 19 minutos; j) 21 minutos; k) 23 minutos. ....	46

Figura 33 - Amostra de 200g em grão torrada por a) 3 minuto; b) 5 minutos; c) 7 minutos; d) 9 minutos; e) 11 minutos; f) 13 minutos; g) 15 minutos; h) 17 minutos; i) 19 minutos; j) 21 minutos; k) 23 minutos. ....47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grau de moagem para cada tipo de extração. ....	10
Tabela 2 – Experimentos realizados para amostras de 100g. ....	25
Tabela 3 – Experimentos realizados para amostras de 200g. ....	26
Tabela 4 – Escala utilizada para avaliação sensorial. ....	28
Tabela 5 – Resultado das análises sensoriais realizadas nas amostras de 100g. ....	32
Tabela 6 – Resultado das análises sensoriais das amostras de 200g. ....	35

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	OBJETIVOS .....	3
1.1.1	Objetivos gerais .....	3
1.1.2	Objetivos específicos.....	3
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	4
2.1	CAFÉ .....	4
2.1.1	A origem do café .....	4
2.1.1.1	Chegada do café no Brasil.....	4
2.1.2	Importância econômica.....	4
2.1.3	Cadeia produtiva.....	5
2.1.3.1	Colheita .....	5
2.1.3.2	Preparo .....	7
2.1.3.3	Secagem .....	7
2.1.3.4	Armazenamento e beneficiamento .....	9
2.1.3.5	Torrefação e moagem.....	9
2.1.4	Regulamentação da indústria.....	12
2.1.5	As ondas de consumo de café.....	12
2.1.5.1	Primeira Onda .....	12
2.1.5.2	Segunda Onda .....	13
2.1.5.3	Terceira Onda.....	13
2.1.5.4	O futuro: a Quarta Onda.....	14
2.2	ANÁLISE SENSORIAL.....	14
2.2.1	Definição .....	14
2.2.1.1	Cor.....	14
2.2.1.2	Sabor.....	15
2.2.1.3	Aroma.....	15
2.2.2	Perfil sensorial do café brasileiro .....	15
2.2.3	Perfil sensorial do café especial.....	15
2.2.4	Teste de qualidade sensorial de café.....	17
2.3	ONDAS ELETROMAGNÉTICAS .....	18
2.3.1	Micro-ondas.....	19
2.3.1.1	Forno micro-ondas .....	19
2.4	TRABALHOS CORRELATOS.....	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	22
3.1	TORRA .....	22
3.1.1	Curva de torra .....	27
3.2	PERFIL SENSORIAL .....	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	30
4.1	TORRA .....	30

4.1.1	Curva de torra .....	30
4.2	PERFIL SENSORIAL .....	32
5	CONCLUSÕES.....	38
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	38
6	REFERÊNCIAS .....	39
	APÊNDICE .....	44

# 1 INTRODUÇÃO

O café é uma bebida que desempenha um papel extremamente importante na cultura do consumo. O produto, que é considerado a bebida mais importante do período pós-modernismo, representa um grande significado cultural, estando presente constantemente na mídia (QUINTÃO, 2017).

Hoje, a produção de café ocupa uma área aproximada de 1,82 milhão de hectares no país (EMBRAPA, 2021) e chegou a movimentar cerca de 20 bilhões de reais no ano de 2019. (G1, 2019). Já o café especial, aquele que apresenta uma nota superior a 80 em uma escala definida pela SCA, a *Specialty Coffee Association*, pretende chegar até um patamar global de 50 bilhões de dólares até 2027 (KAPOOR, 2022).

Uma das diversas etapas que compõem a produção de café é a torra. É nela que ocorrem diversas reações químicas, tais quais as reações de *Maillard*, que irão influenciar em diversos aspectos do produto, como cor, aroma e sabor (YU, 2021).

Uma forma de entender o comportamento dos grãos de café nessa etapa é através da curva de torra. Essa curva leva em consideração a temperatura em relação ao tempo de processo. Nela é possível acompanhar as fases que o café passa, como a secagem, reações de *Maillard* e o resfriamento (PERFECT DAILY GRIND, 2020).

Em 2002, o barista Trish Skeie publicou um artigo intitulado “*Norway and Coffee*” em que descrevia um novo conceito, batizado de “ondas do café”. Para ele, houve três movimentos, batizados de ondas, que influenciaram o mercado e o consumo de cafés especiais no mundo. Cada uma dessas ondas teve seus respectivos conjuntos de prioridades e filosofias, que influenciavam na experiência do consumo de café. Por consequência dessas diferenças, o surgimento de uma nova onda não acarretava o desaparecimento da anterior, consentindo a coexistência entre elas (GUIMARÃES, 2016).

Nos últimos anos vem crescendo o interesse da população mundial por cafés especiais, onde o consumidor vem buscando cada vez mais por qualidade e inovação. Esse fenômeno é consequência de uma procura cada vez maior por produtos originais, autênticos, das mais diversas origens e cada vez mais exclusivos (GUIMARÃES et. al., 2018).

Diversas formas alternativas para se torrar café vêm sendo estudadas nos últimos anos. O forno micro-ondas é um eletrodoméstico largamente encontrado nos lares do mundo inteiro. Esse equipamento tem como sua principal funcionalidade o aquecimento de alimentos e bebidas. O que faz acontecer o aquecimento de um alimento dentro de um forno micro-ondas doméstico é a conversação das ondas eletromagnéticas junto ao dipolo elétrico da molécula

(BARBOZA, 2001). Com adaptações, é possível desenvolver diversos protótipos para dar outras funcionalidades para o dispositivo. Esse trabalho testa a viabilidade de se utilizar desse eletrodoméstico para realizar a torra de grãos de café, tornando uma alternativa para o consumidor que queira fazer o processo em casa.

## **1.1 OBJETIVOS**

### ***1.1.1 Objetivos gerais***

Este trabalho teve como objetivo principal entender o comportamento de amostras de café quando submetidas a um processo de torra via micro-ondas. Foi estudado inicialmente o processo de torra em si, buscando compreender qual o comportamento dos grãos quando expostos a micro-ondas. Além disso, foram estudados os aspectos sensoriais que essas amostras apresentam.

### ***1.1.2 Objetivos específicos***

Para alcançar o resultado esperado para o trabalho, foram estipulados alguns objetivos específicos, que são listados abaixo.

- Definição de limites aceitáveis para realização das torras via forno micro-ondas.
- Avaliação de diversos tempos de torra para amostras de 100g e 200g de café.
- Construção das curvas de torra para amostras de 100g e 200g torradas via micro-ondas.
- Avaliação sensorial das amostras de café torradas via micro-ondas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CAFÉ

#### 2.1.1 A origem do café

O café é uma fruta vermelha que se desenvolve de uma flor branca e perfumada. Os primeiros pés dessa fruta tiveram origem no nordeste africano, na região de Kafa, hoje conhecida como Etiópia. Os etíopes foram os primeiros a consumirem o café, ainda na forma inicial de fruta, e utilizavam sua polpa para se alimentar, e seu suco para a produção de uma bebida fermentada alcoólica (MARTINS, 2012).

Apesar de ter tido sua origem na África, o domínio da técnica de plantio e de sua preparação foi responsabilidade dos árabes, quando o fruto chegou na península arábica no ano de 575, segundo manuscritos da época. Porém, foi só por volta do ano 1000 que sua infusão começou a ser difundida, ainda utilizando apenas a fruta crua. Na época, o café era utilizado para fins medicinais e como uma bebida estimulante. Foi apenas no século XIV que se iniciou a torrefação dos grãos, originando a bebida que conhecemos hoje (MARTINS, 2012).

##### 2.1.1.1 Chegada do café no Brasil

A primeira muda de café chegou no Brasil no ano de 1727, trazida da Guiana Francesa pelo sargento-mor Francisco de Melo Palhete. Logo foi iniciado o cultivo da planta no território que hoje se localiza o Pará. Devido as favoráveis condições climáticas do local, foi viável se iniciar uma produção que suprisse o consumo regional (EPIFÂNIO, 2020).

Conforme o consumo ia crescendo, a produção dos grãos também se expandia. João Alberto de Castello foi o responsável por iniciar as plantações no Sudeste brasileiro, introduzindo as mudas de *Coffea arabica* na região do Vale do Rio Paraíba, nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo (EPIFÂNIO, 2020). Essa expansão fez com que o país iniciasse um novo ciclo econômico, em que por quase um século, o café fosse considerado a maior riqueza nacional, sendo o mais relevante produto das exportações brasileiras (MAPA, 2017).

##### 2.1.2 Importância econômica

O Brasil concentra a maior produção e exportação de café do mundo, além de ser o segundo país no *ranking* de consumo do produto. No ano de 2021, o país exportou um total de 40,372 milhões de sacas de café, gerando uma receita próxima de US\$6,242 bilhões, e fazendo

com que ele fosse o quinto produto mais comercializado no exterior pelo agronegócio brasileiro (CANAL AGRO, 2022).

Outro dado que retrata a importância do café para a economia brasileira é em relação ao mercado de trabalho. O processo produtivo do bem, em seu todo, empregava, no ano de 2017, aproximadamente 8 milhões de trabalhadores em território nacional (MAPA, 2017).

Uma vez que o café tem sua origem vegetal, sua qualidade é adquirida no campo. É primordial a utilização de sementes e mudas de boa procedência, além de ser crucial que se respeitem as características genéticas necessárias para cada região que se fará o plantio. Além disso, é essencial o acompanhamento de todo o cultivo, visando uma boa floração para o desenvolvimento dos frutos (SILVA, 2012).

O café arábica (*Coffea arábica L.*) representa aproximadamente 70% de todo o café comercializado mundialmente, e é a espécie mais importante do gênero *coffea*. Essa espécie se reproduz principalmente por autofecundação, onde quase 90% das suas flores são fertilizadas pelos seus próprios pólenes e óvulos (SOUZA, 2004).

### **2.1.3 Cadeia produtiva**

Acerca da produção de café, tem-se uma relação direta entre a qualidade do grão e a matéria prima utilizada em sua cadeia produtiva. Para a indústria do café torrado e do café solúvel, se utiliza o grão de café beneficiado, também conhecido como café cru (SILVA, 2012).

#### **2.1.3.1 Colheita**

O processo de colheita possui uma grande influência na qualidade final do café. É essencial que se respeite o tempo certo dessa etapa, uma vez que uma colheita precoce pode acarretar uma maior quantidade de grãos verdes, enquanto uma colheita tardia pode resultar numa grande perda em razão da queda dos frutos (SANTINATO et al, 2016).

A colheita é normalmente realizada entre o sétimo e o oitavo mês após a floração. O esperado é que após esse tempo, certa de 90% dos frutos estejam maduros, e que possuam um teor de água variando entre 45 e 65%. Porém, por se tratar de um produto natural, é normal que em uma mesma planta se encontre uma heterogeneidade na massa dos frutos, fazendo com que a colheita forneça frutos maduros (também chamados de cerejas), verdes, passas e secos. Além disso, muitas vezes também são colhidas impurezas, como ramos, gravetos, ervas daninhas, pedras e partículas de solo (SILVA, 2012).

Essa operação pode ocorrer principalmente de duas maneiras. A primeira é se fazendo do uso de máquinas colhedoras, e a segunda, através de derrças manuais ou mecanizadas (SILVA, 2012). A mecanização da colheita, seja ela total ou parcial, vem crescendo cada vez mais com o tempo, como resultado do alto valor financeiro do processo (SANTINATO et al., 2016). Na Figura 1 é possível observar um exemplo de colheita de café.

Figura 1 - Processo de colheita utilizando máquina colhedora.

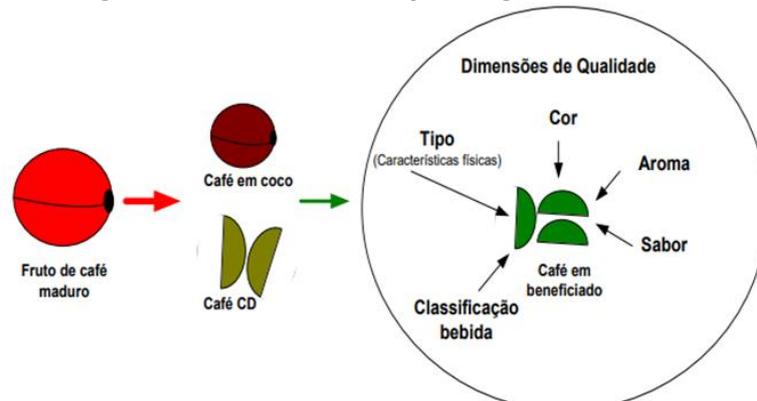


Fonte: CAMPO E NEGÓCIOS (2018)

Acerca da produção de café, tem-se uma relação direta entre a qualidade do grão e a matéria prima utilizada em sua cadeia produtiva. Para a indústria do café torrado e do café solúvel, se utiliza o grão de café beneficiado, também conhecido como café cru (SILVA, 2012).

O processo de obtenção do café cru pode partir de duas vias distintas. Ao colher o fruto de café maduro por via seca, se obtém o café em coco, e se utilizada a via úmida, se obtém o café descascado (CD), também conhecido como cereja descascado. Esse processo pode ser visualizado na Figura 2. Esses grãos ainda passam por diversas etapas antes de chegarem na xícara do consumidor final, como secagem, beneficiamento, armazenagem e industrialização (SILVA, 2012).

Figura 2 - Ciclos da obtenção do grão de café cru.



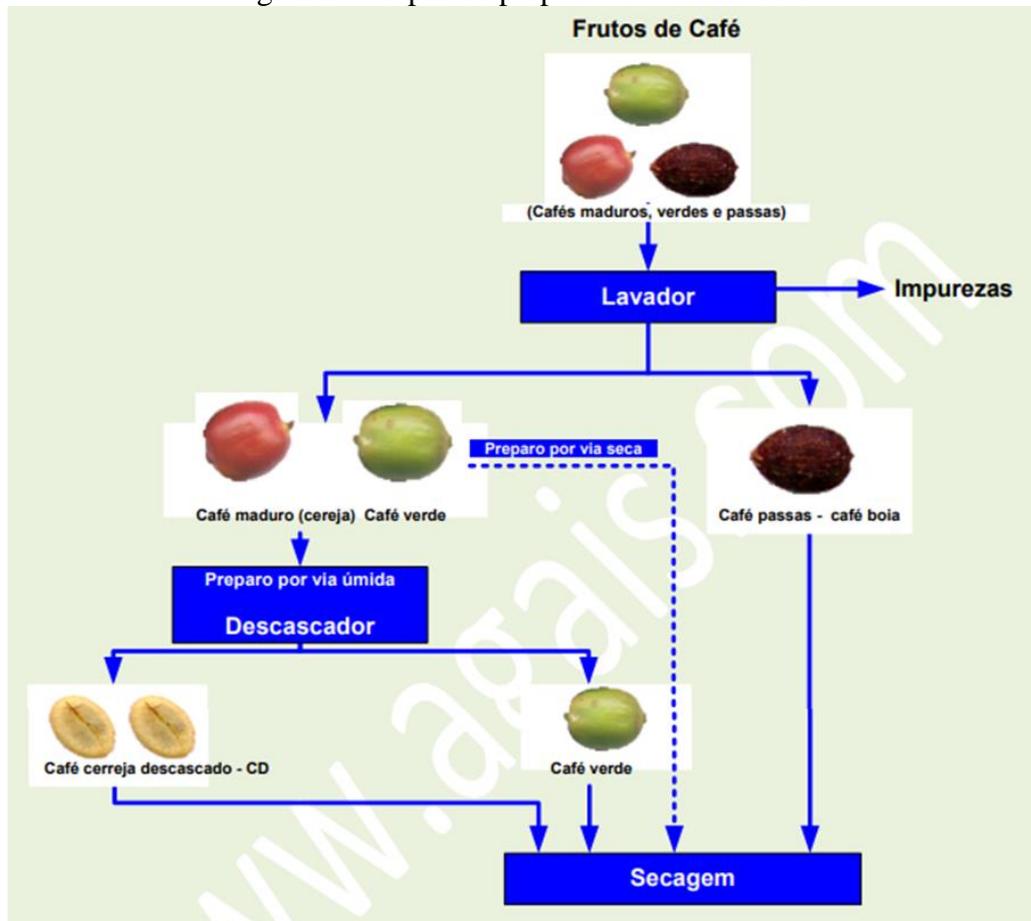
Fonte: SILVA (2012).

### 2.1.3.2 Preparo

Antes de ser seco, o café precisa passar por alguns preparos especiais. Inicialmente, os frutos colhidos passam por lavadores, responsáveis pela remoção das impurezas. Em seguida, é realizado um processo de estratificação com o intuito de separar o produto em dois lotes, de acordo com sua massa específica. Esses lotes são de um lado os frutos maduros e verdes, e do outro, os frutos passas e secos (SILVA, 2012).

Outro preparo necessário é o descascamento dos frutos, que é realizada para a remoção do epicarpo, a casca, e do mesocarpo, a polpa. Essa operação é feita em descascadores mecânicos, onde se obtém três produtos: o café descascado envolto por mucilagem, as cascas junto à polpa e os frutos verdes (SILVA, 2012). Esse processo pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Etapas do preparo do fruto do café.



Fonte: SILVA (2012).

### 2.1.3.3 Secagem

Os grãos são colhidos em um ponto classificado como maturidade fisiológica, ou seja, eles apresentam um alto teor de água, amido, proteínas e óleos. Por conta disso, o café se torna

um ambiente propício para o crescimento de fungos e insetos. Para evitar a proliferação desses corpos indesejados, se necessita a remoção da água presente no grão, que é feita através da secagem (REINATO, 2006).

No país, existem três principais formas de secar café: por meio de terreiros, utilizando secadores mecânicos, ou por uma conciliação dos dois métodos (REINATO, 2006).

Quando se escolhe a secagem por terreiro, o café é espalhado sobre pisos de cimento, asfalto, tijolo ou chão batido, com o intuito de expor o grão à radiação solar e a movimentação natural do ar. O produto é frequentemente mexido com o auxílio de um rodo. Por conta do seu baixo custo, ele ainda é o método mais utilizado para secagem no Brasil (MOREIRA, 2015).

Quando o café é submetido a uma secagem mecânica, uma corrente de ar aquecida passa por entre a massa de grãos via um sistema de ventilação forçada. Sua maior vantagem é o baixo tempo de secagem e a possibilidade de se controlar a temperatura do processo (MOREIRA, 2015).

Como já dito anteriormente, o teor de água presente no fruto maduro varia entre 45 e 60%. O processo de secagem do café é dividido em duas etapas, tendo como objetivo comum a redução do teor de água no grão de café. Na primeira etapa é feita a redução do teor inicial até um valor aproximado de 30%. Em seguida, esse valor é reduzido até 13%, utilizando os mesmos recursos da etapa anterior ou podendo ser empregados secadores de fluxos cruzados, concorrentes, contracorrentes ou mistos (SILVA, 2012).

É de extrema importância que não se utilize fornalhas de fogo direto para aquecer o ar que será usado no processo de secagem do café. Muitas vezes a fumaça gerada pela combustão pode trazer notas sensoriais indesejadas para o café (SILVA, 2012). Na Figura 4 pode ser observado um exemplo de terreiro utilizado para secagem de café.

Figura 4 - Terreiro utilizado para secagem de café.



Fonte: CANAL RURAL (2019).

#### 2.1.3.4 *Armazenamento e beneficiamento*

O armazenamento tem como obrigação conservar a qualidade dos grãos do café, buscando diminuir ao máximo seu contato com o ambiente externo. Alguns pontos são de grande importância para preservar as características do café, como a umidade relativa do ar, que deve permanecer perto de 60%, a temperatura, que deve permanecer na faixa de 25°C e a luminosidade. Além disso, é necessário garantir as normas de higiene, buscando evitar insetos e microrganismos (DE PAULA, 2019).

Após o processo de secagem, o café é armazenado em *bags* ou embalagens próprias para o armazenamento de café. É fundamental que esse armazenamento se estenda por cerca de 10 dias, com o intuito de se estabilizarem as reações químicas oriundas do processo anterior (SILVA, 2012).

O principal objetivo do beneficiamento é a obtenção de lotes homogêneos do produto, que apresentem um padrão para sua comercialização. Nessa etapa, o café é limpo, descascado e classificado de acordo com parâmetros como o número de defeitos, a coloração e o formato (DE PAULA, 2019).

#### 2.1.3.5 *Torrefação e moagem*

No processo de torra tem-se os grãos submetidos a altas temperaturas, que podem variar entre 200°C e 280°C, e fazendo com que ocorra a reação dos polissacarídeos, proteínas, ácidos clorogênicos e trigonelina presentes nos grãos de café, resultando na formação do sabor, da cor e do aroma do café torrado (VENEGAS, 2015). A Figura 5 mostra um torrador industrial de café.

Figura 5 - Torrador industrial de café.



Fonte: AGROLEV (2022).

Nesse tipo de equipamento é possível observar dois tipos principais de transferência de calor: a convecção e a condução. A principal forma de transferência por convecção vem do fluxo de ar quente que cruza com os grãos no torrador, enquanto a principal forma proveniente da condução é resultado do contato dos grãos, transferindo calor entre eles (ATILLA, 2021).

Esse estágio da cadeia produtiva pode ser dividido em três fases: a secagem, a homônima torrefação e o resfriamento. Durante a secagem é possível observar uma redução na massa do grão, resultante da evaporação de água e da liberação de alguns compostos voláteis. A coloração do grão também muda no decorrer dessa fase, variando entre tons de verde para tons de amarelo. Na torrefação ocorre a química principal do processo, e tem seu início quando o grão atinge aproximadamente 150°C. É nela que se ocorrem as reações exotérmicas de pirólise, uma vez que uma quantidade considerável de gás carbônico é liberada, a composição química dos grãos é alterada. Nessa fase, os grãos atingem uma coloração que pode variar entre marrom claro e escuro. Essa alteração na coloração é consequência da caramelização dos açúcares presentes nos grãos, além das Reações de Maillard, que advém da existência de aminoácidos e sacarose. Durante a torrefação é possível observar também a expansão dos grãos, que podem até duplicar seu tamanho durante o processo. A terceira e última fase desse processo é o resfriamento, que consiste na injeção de ar frio no café, a fim de se evitar que os grãos carbonizem (CAMPOS, 2016).

Como dito anteriormente, é nessa fase que compostos voláteis dos grãos são formados. Após realizar a extração, é possível identificar mais de mil compostos químicos no café, dentre eles, mais de trezentos compostos heterocíclicos, como o pirol, o oxazol, a pirazina, o furano, o imidazol e o thiazol, que contribuem significativamente para a formação de sabor para a bebida (MOON, 2009).

Após passar pelo resfriamento, o produto é embalado de duas maneiras: em grãos ou moído. No caso do café moído, sua granulometria é definida conforme o método de preparo da bebida (SILVA, 2012). Na Tabela ,1 é possível observar a relação entre o grau de moagem e o tipo da bebida.

Tabela 1 – Grau de moagem para cada tipo de extração.

<b>Grau de Moagem</b>	<b>Tamanho Comparativo</b>	<b>Método de Extração</b>
Pulverizado	Farinha de trigo	Prensagem
Fina	Açúcar mascavo	Filtragem
Média	Areia de praia	Espresso
Grossa	Sal grosso	Percolação

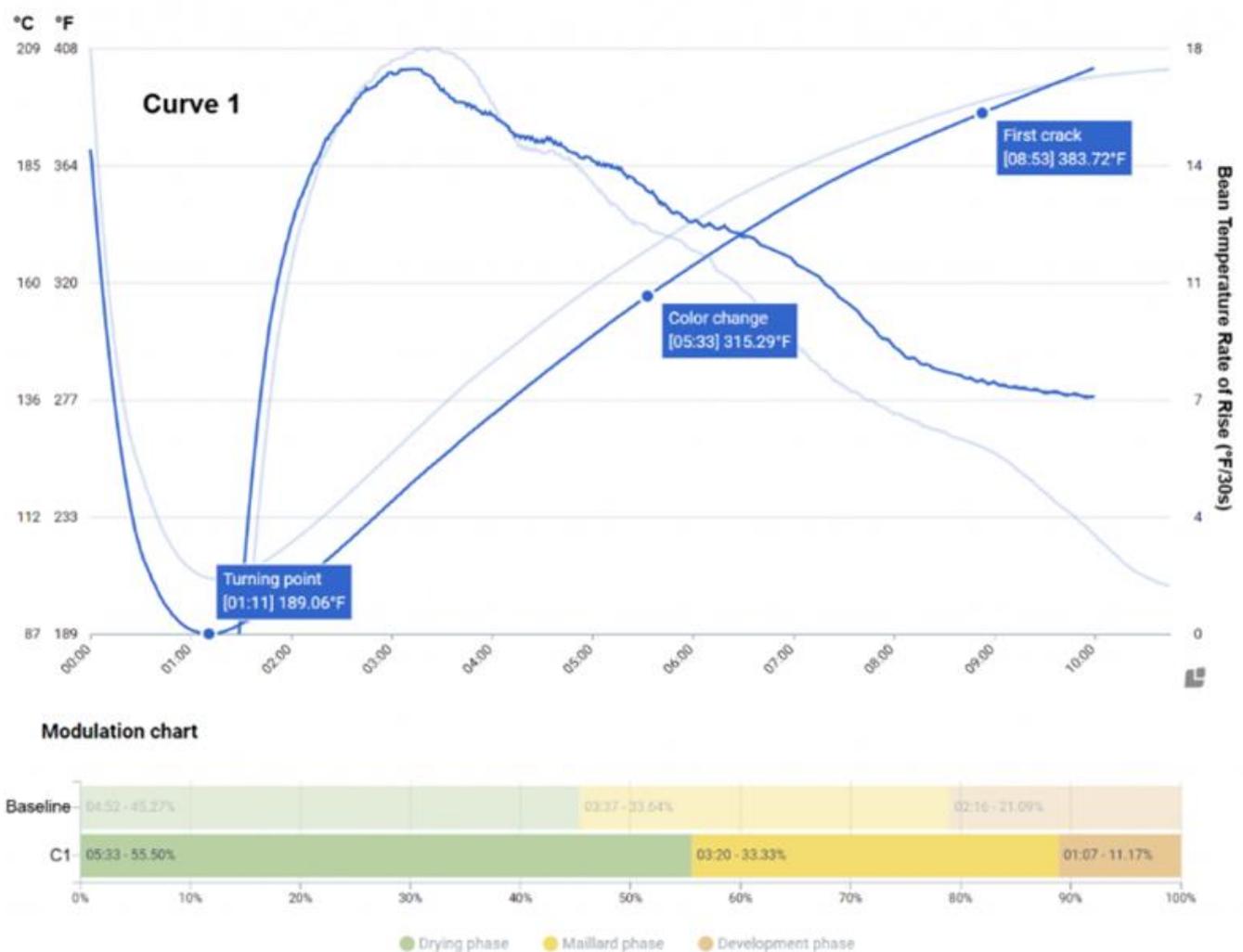
Fonte: SILVA, 2012.

### 2.1.3.5.1 Curva de torra

A temperatura é uma das variáveis que mais influenciam na qualidade da torra de um café. Por isso, foi desenvolvida uma ferramenta que é crucial para monitorar o calor dentro de um torrador, a curva de torra. Essas curvas são essenciais para desenvolver o perfil de torra de um café, facilitando o entendimento de quanto calor deve ser aplicado no processo, auxiliando na padronização das bateladas (PERFECT DAILY GRIND, 2020).

Na Figura 6 é possível visualizar um exemplo de curva de torra.

Figura 6 – Exemplo de curva de torra.



Fonte: PERFECT DAILY GRIND, 2020.

Na Figura 4 é possível observar os principais pontos que o grão passa durante o processo de torra. O primeiro deles é o *turning point*, que é quando a temperatura do torrador e a temperatura dos grãos que foram inseridos em temperatura ambiente se igualam. Em seguida, próximos aos 160°C, nós temos o ponto de *color change*. É nele que ocorrem as reações de

*Millard* citadas anteriormente. O terceiro ponto característico da curva é o *first crack*, onde os grãos já expandiram bastante por causa do calor e então eles estouram, liberando gás carbônico.

#### **2.1.4 Regulamentação da indústria**

Em 1973, foi fundada a ABIC, Associação Brasileira da Indústria de Café, órgão responsável por representar as indústrias de torrefação e moagem de café em todo território nacional. Esse órgão foi criado com o intuito de se formar uma entidade nacional que conseguisse negociar com o governo políticas que favorecessem o setor cafeeiro. Além disso, buscavam uma solução para a acelerada queda no consumo de café que ocorreu na década de 1970 e devastou as vendas do produto (ABIC, 2021).

Hoje, a associação tem sede no Rio de Janeiro e tem como sua principal missão a promoção do desenvolvimento da indústria brasileira de café, incentivando a melhoria contínua da qualidade, a educação para o consumo, o estímulo à inovação e a integração da cadeia produtiva (ABIC, 2021).

Aqueles que se associam à ABIC, possuem uma vasta gama de ferramentas para suportarem seu negócio. Dentro os serviços ofertados pela associação temos: pesquisas de opinião e de mercado; orientação jurídica nas áreas fiscal, trabalhista, constitucional e de defesa do consumidor; informações estatísticas de produção e consumo; assessoria financeira e empresarial (ABIC, 2021).

#### **2.1.5 As ondas de consumo de café**

##### **2.1.5.1 Primeira Onda**

A Primeira Onda é datada do século XIX, como resultado do início da industrialização do café, e conseqüentemente do exponencial crescimento no consumo do mesmo. Nesse período, o café deixou de ser considerado um artigo de luxo, e passou a ser comercializado em supermercados comuns (BARISTA WAVE, 2022).

Foi nessa época que surgiram os primeiros cafés solúveis, de péssima qualidade, que muitas vezes eram fabricados a partir de cafés não vendidos. Porém, após a Segunda Guerra Mundial, a popularidade desse tipo de café diminuiu, pois passou a ser considerado a bebida que se tomava quando não tinha “café de verdade” (BARISTA WAVE, 2022).

Os cafés comercializados nessa Primeira Onda ficaram conhecidos por serem bastante amargos e fracos (BARISTA WAVE, 2022). Na Figura 7 é apresentada uma das primeiras propagandas de café solúvel que surgiu nesse período.

Figura 7 - Propaganda de café solúvel do século XX.



Fonte: BARISTA WAVE (2022).

### 2.1.5.2 Segunda Onda

A Segunda Onda teve início no final dos anos 60, conseguindo se manter até meados dos anos 90. Sua origem foi consequência da má qualidade dos cafés da onda anterior, sendo berço de uma nova maneira de tomar café, agora como forma de prazer. As cafeterias surgidas nesse período passaram a transformar o café em uma experiência para o cliente, inserindo em seu vocabulário palavras como *barista* e *latte*, além da propagação de informações sobre a origem dos cafés e como eles eram torrados. Um dos maiores marcos dessa onda foi o surgimento da franquia mundialmente famosa Starbucks, em Seattle no ano de 1971 (BARISTA WAVE, 2022). Na Figura 8 é possível observar como está nos dias de hoje a primeira loja da marca.

Foi nessa onda também que se ouviu pela primeira vez a ideia de café especial. Na época, essa variedade era descrita como um café *in natura* com alta qualidade e oriundo de um lote limitado vendido por pequenos torrefadores (ANDRADE, 2015).

### 2.1.5.3 Terceira Onda

A Terceira Onda revolucionou ainda mais o jeito de se produzir e servir café, uma vez que o consumidor passou a procurar cada vez mais o “novo”, incentivando os processos de inovação na área, e agregando cada vez mais valor ao produto (ANDRADE, 2015).

É nesse período que o café começa a ser percebido como um produto artesanal, sendo classificado perante a diversos atributos, como qualidade, origem, método de preparo e torra. Em uma ampla perspectiva, a Terceira Onda também proporcionou algumas mudanças na

cadeia produtiva do café, como o encurtamento da cadeia de suprimentos e um maior nível de conhecimento e informação em todos os elos da produção (GUIMARÃES, 2016).

#### *2.1.5.4 O futuro: a Quarta Onda*

Uma barreira muito grande no consumo de café ainda existe entre o consumidor de cafés especiais e um consumidor comum. Este segundo, que representa uma fatia bem grande no consumo, ainda não tem o conhecimento ou os equipamentos necessários para entender sobre diferentes torras, variedades e métodos. O futuro do café vem com o objetivo da democratização no consumo, querendo deixar cada vez mais o café especial acessível para esses consumidores comuns (PERFECT DAILY GRIND, 2021).

## **2.2 ANÁLISE SENSORIAL**

### *2.2.1 Definição*

Segundo a ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, a análise sensorial é expressa como a ciência utilizada para evocar, medir, analisar e interpretar reações das características dos alimentos e materiais como são captados pelos sentidos da visão, olfato, paladar, audição e tato (ABNT, 1993).

Esse tipo de análise é normalmente aplicado por uma pessoa ou grupo de pessoas com o intuito de examinar as características sensoriais de um produto. Inúmeros podem ser os motivos para se aplicar uma análise sensorial, como por exemplo o teste de novas matérias primas, o efeito de diferentes tipos de processamento e a estabilidade de armazenamento. Para cada um desses objetivos, são desenvolvidos métodos de avaliação diferentes, com o intuito de se obter as respostas necessárias (TEIXEIRA, 2009).

A partir do sistema sensorial de uma pessoa, que é composto pelo conjunto de percepções gustativas, olfativas, táteis, visuais e auditivas, é possível avaliar diversos atributos de um produto (TEIXEIRA, 2009). A seguir abordaram-se algumas das principais propriedades: a cor, o sabor e o aroma.

#### *2.2.1.1 Cor*

A cor é o principal aspecto visual avaliado em um produto e é normalmente a primeira impressão que o consumidor tem ao adquirir um bem. É esperado que todo produto tenha uma cor e uma aparência que seja relacionada com o grau de aceitação ou rejeição do seu usuário (TEIXEIRA, 2009).

Existem três características que definem a cor: o tom, que é o comprimento de onda da luz refletida pelo produto, o brilho, caracterizado pela quantidade de luz refletida pelo objeto comparado com a quantidade de luz que incide sobre ele, e a intensidade, relacionada com a quantidade de substâncias corantes dentro do mesmo (TEIXEIRA, 2009).

#### **2.2.1.2 Sabor**

O sabor é um dos atributos mais complexos para ser avaliado, principalmente por agregar percepções oriundas do paladar, do olfato e do tato. Ele está inserido dentro do grupo classificado como gosto, que distingue as sensações básicas de um alimento: ácido, amargo, doce, salgado e umami (TEIXEIRA, 2009).

#### **2.2.1.3 Aroma**

O aroma é caracterizado pela percepção de substâncias aromáticas de um produto após ser inserido na boca, via retronasal, e caminha junto com o sabor. Quando falamos de café, esse atributo é avaliado pressionando a amostra com a língua contra o palato, fazendo com que as substâncias aromáticas se difundam pela membrana palatina, e as moléculas volatizadas sejam aspiradas pelo nariz (TEIXEIRA, 2009).

### **2.2.2 Perfil sensorial do café brasileiro**

O café comercializado popularmente no Brasil é classificado como uma bebida de baixa qualidade. Com objetivo de mascarar as impurezas e defeitos da matéria-prima, frequentemente o grão é submetido a torras excessivas, deixando-o com um aspecto de queimado e acarretando uma bebida extremamente escura, amarga e com a presença escassa de aroma (MOURA et al, 2007). Na Figura 9 é possível observar um exemplo de café torrada que é comercializado no Brasil.

### **2.2.3 Perfil sensorial do café especial**

Para ser classificado como café especial, um lote do produto precisa atingir a marca mínima de 80 pontos, em uma escala que vai até 100 e que foi desenvolvida pela SCA, a *Specialty Coffee Association*, que no Brasil, é representada pela BSCA, a *Brazilian Specialty Coffee Association*. Essa escala leva em consideração variados atributos, como aroma, ausência de defeitos, doçura, corpo, uniformidade, acidez, finalização, harmonia, fragrância (BARISTA WAVE, 2021).



### 2.2.4 Teste de qualidade sensorial de café

Quando falamos de teste de qualidade sensorial de café, diversos cuidados devem ser tomados. O principal deles é referente a temperatura das amostras que serão avaliadas, uma vez que o café estar quente ou estar frio pode mascarar defeitos e até mesmo eliminar alguns atributos (PAIVA, 2005).

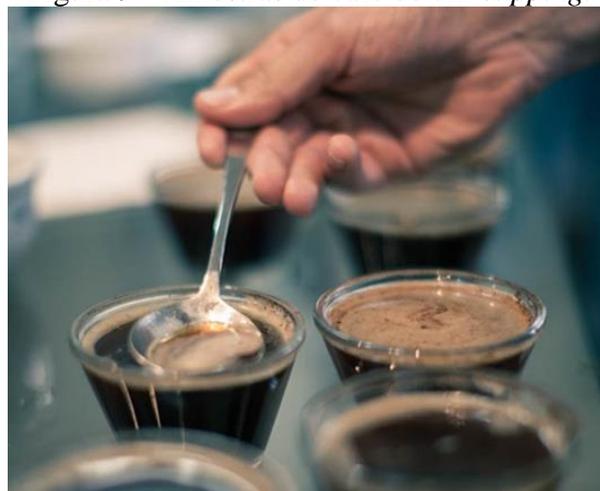
O protocolo estabelecido pela SCAA (2008) para a realização de um *cupping* é extremamente rigoroso e possui uma série de passos a serem seguidos. Dentre as dezenas de determinações estão:

- Um tipo de copo de vidro específico é indicado, o *Manhattan*, com volume de 150ml ou 240ml.
- As amostras devem ser torradas dentro de um prazo de 24 horas antes da degustação, e precisam ser descansadas por no mínimo 8 horas antes de serem provadas.
- A concentração ideal para ser feita a extração da amostra a ser analisada é de 5,5% m/v, por exemplo, se tivermos 150ml de água, o indicado é se utilizar 8,25g de café.
- As amostras devem ser moídas imediatamente antes da infusão com água.
- Após a adição de água, as amostras devem permanecer sem perturbação por 3 a 5 minutos para então realizar a avaliação.
- São onze os atributos avaliados quando seguido o protocolo: aroma, uniformidade, ausência de defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio, defeitos e avaliação global, tendo cada um desses atributos suas próprias regras para avaliação.

Esse protocolo é utilizado para a realização do *cupping* para amostras de café Arábica.

Na Figura 9 é possível observar um exemplo de amostras de um *cupping*.

Figura 9 - Amostras de café de um *cupping*.

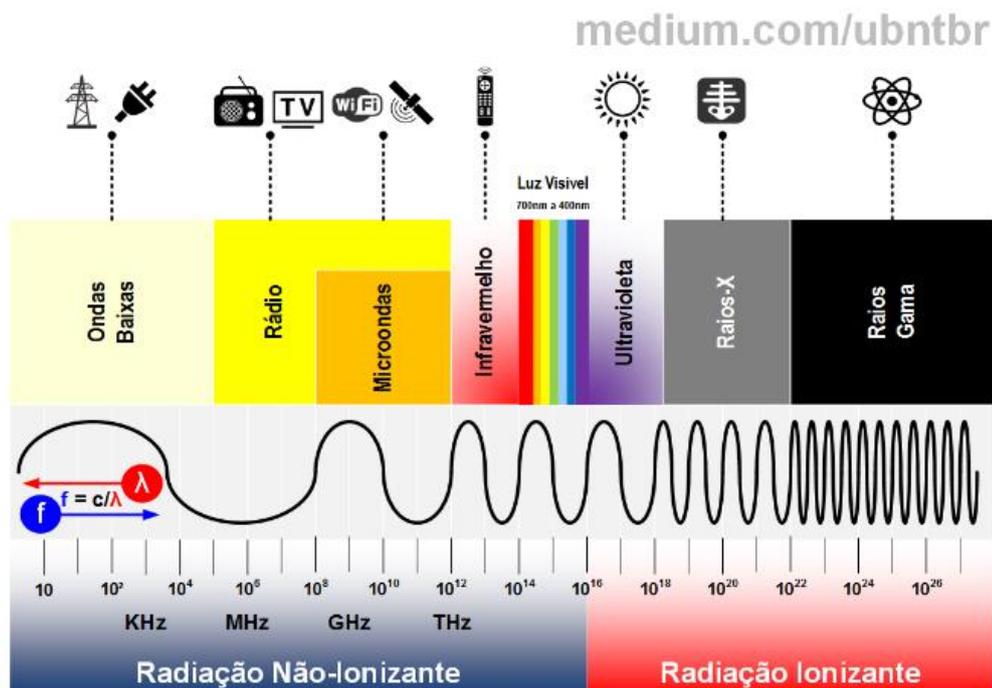


Fonte: ESPRESSO (2021)

## 2.3 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

As ondas eletromagnéticas são aquelas produzidas quando ocorre a variação de um campo elétrico e um campo magnético. Diferentemente das ondas mecânicas, esse tipo em específico não necessita de um meio material para se propagar. Como exemplo disso, temos a luz de uma estrela, que viaja anos-luz através do espaço sem nenhuma dificuldade. Entre os principais tipos de ondas eletromagnéticas estão: o filamento de uma lâmpada incandescente, as ondas emitidas por rádios, a luz visível aos olhos, os raios X, a radiação gama e as micro-ondas. As duas coisas que distinguem esses tipos de ondas são a frequência e o comprimento de onda (YOUNG; FREEDMAN, 2005). Na Figura 10 é possível observar exemplos de ondas eletromagnéticas e seus comprimentos.

Figura 10 - Diferentes faixas de ondas eletromagnéticas



Fonte: UBNT – BR (2018)

O comprimento de onda é definido como a distância mínima em que um padrão de onda se repete, e leva em consideração a velocidade da onda e sua frequência. A frequência é definida como o número de oscilações que a onda sofre em um determinado período (YOUNG; FREEDMAN, 2008).

$$\gamma = \frac{c}{f} \quad (1)$$

$$c = \gamma f \quad (2)$$

Nas Equações 1 e 2 é possível observar as equações para o cálculo do comprimento de onda e sua frequência, onde  $\lambda$  representa o comprimento de onda,  $c$  representa a velocidade da luz e  $f$  a frequência de onda. A velocidade da luz pode ser considerada de aproximadamente 300.000 km/s.

### **2.3.1 Micro-ondas**

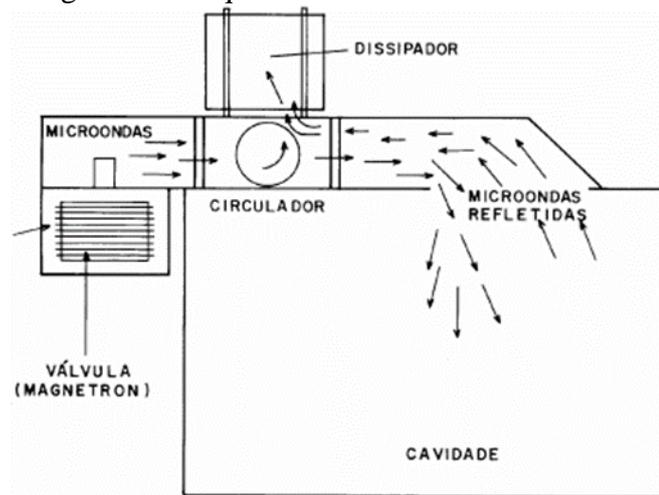
As micro-ondas são caracterizadas por possuírem comprimento de onda variando entre 1 mm e 1 m, ou 300 GHz e 300 MHz respectivamente. Por conta disso, esse tipo de onda fica localizada, dentro do espectro eletromagnético, no intervalo que contempla as ondas de rádio. O que difere as micro-ondas das ondas de rádio são suas frequências, um pouco maior nas micro-ondas, e suas aplicações (YOUNG; FREEDMAN, 2005).

#### *2.3.1.1 Forno micro-ondas*

O forno micro-ondas foi um eletrodoméstico que revolucionou o jeito de se cozinhar em casa. Sua maior vantagem está relacionada com a velocidade de se preparar um alimento. Para se ter um exemplo, uma batata leva em torno de 45 minutos para ser cozida em um forno convencional, enquanto em um forno micro-ondas se leva em torno de 8 minutos para concluir o cozimento. Outra vantagem desse tipo de equipamento é a existência de um aquecimento seletivo. No forno convencional, todos os corpos em seu interior sofrem aquecimento, enquanto no forno micro-ondas o aquecimento dependerá do tipo do material em seu interior, e terá relação direta com a sua constante dielétrica e sua frequência de relaxação (BARBOZA, 2001).

O funcionamento de um forno micro-ondas começa em um dispositivo no seu interior chamado *magnetron*, uma ferramenta sob vácuo que faz a conversão de energia elétrica em micro-ondas. Em seguida, uma diferença de potencial constante é aplicada entre um ânodo e um cátodo. Nesse processo, os elétrons são acelerados do cátodo para o ânodo e descrevem uma trajetória curva, seguindo um caminho em espiral, e conseqüentemente, gerando radiofrequência. Todo esse processo é causado pela presença de um campo magnético que é produzido por um eletroímã localizado entre os dois polos. Em seguida, um mecanismo mais complexo emite ondas eletromagnéticas com o auxílio de uma antena localizada no ânodo. Essas ondas são guiadas, com o auxílio de um guia de onda, até a cavidade onde está o material a ser esquentado (BARBOZA, 2001). Na Figura 11 é possível observar o esquema de funcionamento de um forno micro-ondas.

Figura 11 - Esquema de um forno micro-ondas.



Fonte: BARBOZA (2001)

O que faz acontecer o aquecimento de um alimento dentro de um forno micro-ondas doméstico é a conversação das ondas eletromagnéticas junto ao dipolo elétrico da molécula. Esse processo envolve diversos princípios físico-químicos, como capacidade calorífica, ligação química, temperatura, constante dielétrica e estrutura molecular. Dois mecanismos explicam o aumento rápido de temperatura que acontece em um alimento: a migração iônica e a rotação de dipolos. O primeiro mecanismo é caracterizado pelo movimento eletroforético dos íons de uma posição para outra adentro da amostra, recorrente das interações entre as espécies iônicas e o campo magnético oscilante das micro-ondas. Logo, a elevação da temperatura é consequência do fluxo de corrente gerado pelo deslocamento desses íons (DE SOUZA, 2002). A rotação de dipolos pode ser explicada da seguinte maneira: as moléculas de água presentes na composição dos alimentos possuem uma carga elétrica diferente em seus polos e giram com uma polaridade variável do campo elétrico. Por consequência da fricção entre essas moléculas giratórias, calor é produzido e o alimento cozido. O que faz um recipiente também aquecer é a condução de calor exercida pelo alimento aquecido. Por conta da alta capacidade de penetração das micro-ondas, o cozimento acontece também no interior de um alimento, e não somente em sua superfície (BARBOZA, 2001).

#### 2.4 TRABALHOS CORRELATOS

Canto (2001) utilizou de um gerador de micro-ondas acoplado a um secador de café para realizar a torra desse material. No experimento, foram torrados grãos de diferentes qualidades, variando a potência (3500W, 3700W e 3850W), e diferentes temperaturas (127°C, 129°C, 137°C e 139°C), sempre utilizando o tempo de 12 minutos de torra. Para o café duro, o

pior do estudo, foi observado um aumento na qualidade dos grãos, quando torrado nas potências de 3500W e 3700W, e quando comparado ao mesmo café torrado de forma tradicional. Esse café apresentou características de qualidade mole após o processo. Quando a amostra de café mole foi submetida a torra por micro-ondas, foi possível observar a estabilidade em sua qualidade quando torrado na potência de 3500W e uma queda na qualidade quando submetida a uma potência de 3700W.

Montoya (2013) utilizou de um forno micro-ondas caseiro para avaliar os efeitos da torra de amostras de café. Para avaliar o efeito do tempo de torra, foram utilizadas amostras de 50g, tempos variando de 0s a 120s, e 10% de potência do forno. Foi possível observar no experimento um crescimento acelerado no início do processo, até cerca de 60s e 140°C, e em seguida uma diminuição na velocidade de aquecimento, até atingir 180°C, onde os grãos passavam a queimar.

Nebesny (2006) utilizou de grãos de café Robusta para comparar a torra via micro-ondas com uma torra por convecção. Quando torrado a uma potência de 700W, foi observada uma temperatura final menor do que a torra realizada pelo método convectivo, o que resultou numa maior presença de compostos aromáticos, além de um menor grau de carbonização na superfície dos grãos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 TORRA

Para o processo de torra, foram recebidos 8 quilos de um café especial cru e seco, plantados na região do Sul de Minas Gerais, de doação da Cafeteria Escola Cafesal, projeto de extensão da Universidade Federal de Lavras. Desse total, foram utilizados aproximadamente 7,1 quilos no processo de torra.

O equipamento utilizado foi um forno micro-ondas da marca Electrolux, modelo MI41S Silver. O aparelho apresenta uma cavidade de 1500W de potência, porém uma potência de saída de 1000W. Algumas adaptações foram feitas no aparelho. A princípio foram feitos dois furos no topo do forno, onde foram inseridas duas hastes para auxiliar na agitação dos grãos. Porém, nos testes preliminares foi possível observar que as hastes não eram tão eficientes, e logo, removidas. Outra adaptação feita foi a adição de um botão que permitia que o prato do forno micro-ondas continuasse girando mesmo com a porta aberta e em *stand by*, o que facilitava na hora de agitar e resfriar os grãos. Na Figura 12 é possível observar a primeira adaptação feita no forno micro-ondas.

Figura 12 – Primeira adaptação do forno micro-ondas.



Fonte: Do autor (2022)

Durante os testes preliminares, foi possível fazer algumas constatações que foram úteis para definir como decorreria o experimento. Ao decorrer do experimento, a porta do forno micro-ondas era aberta esporadicamente, fazendo com que entrasse ar ambiente e perdesse

calor. As hastes utilizadas inicialmente para fazer a homogeneização dos grãos tiveram uma ação adicional indesejada, a de efeito antena, fazendo com que o café queimasse de forma prematura. Outro ponto concluído foi em relação a potência. Os testes utilizando apenas a potência de 100% do forno micro-ondas queimava precocemente as amostras, enquanto os testes utilizando potências baixas, apenas cozinhava os grãos, e não torrava.

Foi definido que seriam realizados testes para duas massas de grão diferentes: 100 g e 200 g. O primeiro passo foi estipular quais seriam os limites de torra do experimento. Para isso, foi feita uma torra em que os grãos ficassem com um aspecto ainda cru, e outra em que os grãos ficassem com um aspecto bastante torrado.

As amostras foram pesadas com o auxílio de um recipiente cilíndrico de cerâmica, e foi utilizada uma balança da marca Even, com duas casas decimais para a medição. Na Figura 13 é possível observar como era feita a pesagem das amostras.

Figura 13 – Pesagem de uma amostra de 200 g.



Fonte: Do autor (2022)

Para a amostra de 100g, foi definido o limite inferior de torra de 1 minuto e 40 segundos, na potência de 100%, e limite superior de 2 minutos na potência de 100% e mais 5 minutos na potência de 40%, que para esse modelo de forno micro-ondas, representa uma potência de aproximadamente 400W. Foi definido que, no intervalo em que a potência estivesse em 100%, seria pausado o forno micro-ondas a cada 20 segundos para que, com o auxílio de uma colher, fosse feita a homogeneização dos grãos, que levava cerca de 5 segundos. No intervalo em que a potência estivesse em 40%, essa pausa foi feita a cada 30 segundos. Todos esses parâmetros foram definidos através de testes preliminares. Nas Figuras 14 e 15 é possível observar amostras de 100g para os limites inferiores e superiores.

Figura 14 – Limite inferior para amostra de 100 g.



Fonte: Do autor (2022)

Figura 15 – Limite superior para amostra de 100 g.



Fonte: Do autor (2022)

Para a amostra de 200 g, foi definido o limite inferior de torra de 3 minutos na potência de 100%, e limite superior de 3 minutos na potência de 100% e mais 20 minutos na potência de 50%, que para esse modelo de forno micro-ondas, representa uma potência de aproximadamente 500W. Foi definido que, no intervalo em que a potência estivesse em 100%, seria pausado o forno micro-ondas a cada 20 segundos para que, com o auxílio de uma colher, fosse feita a homogeneização dos grãos, que levava cerca de 10 segundos. No intervalo em que a potência estivesse em 50%, essa pausa foi feita a cada 30 segundos. Novamente esses parâmetros foram definidos através de testes preliminares. Nas Figuras 16 e 17 é possível observar as amostras de 200 g torradas nos limites inferior e superior.

Figura 16 – Limite inferior para amostra de 200g.



Fonte: Do autor (2022)

Figura 17 – Limite superior para amostra de 200g.



Fonte: Do autor (2022)

Uma vez definidos os extremos de torra para cada tamanho de amostra, foi possível fazer o planejamento geral dos experimentos. Para as amostras de 100g, o experimento iniciou no limite inferior, e em seguida, foram sendo acrescidos 30 segundos de tempo de torra em relação ao teste anterior, na potência de 40% e tendo como fim o limite superior. Os experimentos foram realizados em duplicata. Na Tabela 2 é possível observar todos os ensaios.

Tabela 2 – Experimentos realizados para amostras de 100g.

<b>Experimento</b>	<b>Tempo em potência 100%</b>	<b>Tempo em potência 40%</b>	<b>Tempo total</b>
1	1min e 40s	-	1 min e 40s
2	2min	-	2 min
3	2min	30s	2 min e 30s
4	2min	1min	3 min
5	2min	1min e 30s	3 min e 30s
6	2min	2min	4 min
7	2min	2min e 30s	4 min e 30s
8	2min	3 min	5 min
9	2min	3min e 30s	5 min e 30s
10	2min	4min	6 min
11	2min	4min e 30s	6 min e 30s
12	2min	5min	7 min

Fonte: Do autor (2022).

Para as amostras de 200 g, o experimento iniciou no limite inferior, e em seguida, foram sendo acrescidos 2 minutos de tempo de torra em relação ao teste anterior, na potência de 50% e tendo como fim o limite superior. Os experimentos foram realizados em duplicata. Na Tabela 3 é possível observar todos os ensaios realizados.

Na Figura 18 é possível observar como foi feito o processo de homogeneização dos grãos das amostras.

Cerca de 3 dias após as torras, foi realizada a moagem de todas as amostras, que estavam armazenadas em potes plásticos. Esse processo foi realizado em um moedor da marca *Bunn*, e modelo G3 HD, disponibilizado pela Cafeteria Escola Cafesal. Essa etapa da maneira que foi executada pode ter influenciado diretamente na percepção sensorial do café estudado. O ideal é que o café seja preparado assim que o processo de moagem é realizado, uma vez que o pó perde cerca de 60% de seus aromas nos primeiros 15 minutos após ser moído (SEVERINI,

2017). Foi utilizada uma granulometria fina, a mesma utilizada na extração de cafés coados. Na Figura 19 é apresentado o moedor utilizado no processo.

Tabela 3 – Experimentos realizados para amostras de 200g.

Experimento	Tempo em potência 100%	Tempo em potência 50%	Tempo Total
13	3min	-	3 min
14	3min	2min	5 min
15	3min	4min	7 min
16	3min	6min	9 min
17	3min	8min	11 min
18	3min	10min	13 min
19	3min	12min	15 min
20	3min	14min	17 min
21	3min	16min	19 min
22	3min	18min	21 min
23	3min	20min	23 min

Fonte: Do autor (2022).

Figura 18 – Homogeneização dos grãos de uma amostra.



Fonte: Do autor (2022)

Figura 19 – Moedor da marca *Bunn* utilizado na moagem das amostras.



Fonte: Do autor (2022)

### 3.1.1 Curva de torra

Para construir a curva de torra do experimento, foram realizadas quatro torras adicionais, duas com amostras de 100g e duas com amostras de 200g. Para as duas massas de amostra, foram utilizados os tempos de seus respectivos limites superiores. Foi utilizado o mesmo processo descrito no item anterior, com uma única exceção. A cada parada para homogeneizar os grãos, era feita a aferição da temperatura da amostra com um termopar tipo PT100 acoplado a um multímetro digital da marca Minipa. Ao compilar os valores, utilizando as médias de temperaturas de cada momento, foi possível descrever a curva de torra. Na Figura 20 é possível observar um exemplo de como foi aferida a temperatura da amostra.

Figura 20 – Aferição da temperatura com auxílio de um multímetro.



Fonte: Do autor (2022)

## 3.2 PERFIL SENSORIAL

A etapa de perfil sensorial foi realizada com a ajuda da barista e agrônoma Emanuelle Costa, nas dependências da Universidade Federal de Lavras.

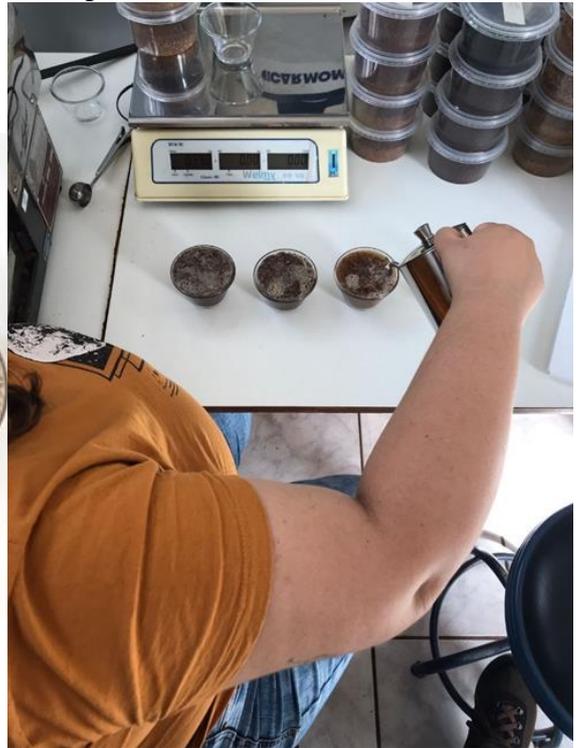
Todas as 46 amostras, sendo elas 12 torradas com massa de 100g e 11 torradas com massa de 200g, e realizadas em duplicata, passaram exatamente pelo mesmo processo de avaliação. Para cada amostra, foram utilizados 10g de café moído e 170ml de água, triplicados em três xícaras de prova. A água e o café foram pesados em uma balança *Welmy BCW-30*, com duas casas decimais. Na Figura 21 é possível observar um exemplo das xícaras de prova prontas para serem provadas, enquanto na Figura 22 é possível observá-las sendo preparadas.

Figura 21 – Xícaras de prova.



Fonte: Do autor (2022)

Figura 22 – Amostras sendo preparadas pela barista Emanuelle Costa.



Fonte: Do autor (2022)

Foram avaliados quatro atributos para cada torra: cor, aroma, sabor e impressão global. Foi utilizada a escala hedônica, que pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4 – Escala utilizada para avaliar o perfil sensorial.

<b>Nota</b>	<b>Avaliação</b>
9	Gostei muitíssimo
8	Gostei muito
7	Gostei moderadamente
6	Gostei ligeiramente
5	Nem gostei, nem desgostei
4	Desgostei ligeiramente
3	Desgostei moderadamente
2	Desgostei muito
1	Desgostei muitíssimo

Fonte: Do autor (2022)

Além das notas, as amostras foram divididas em três grupos de acordo com suas características em comum:

- Cafés queimados: amostras que apresentam forte gosto amargo e com aroma extremamente pungente.
- Cafés cozidos: amostras que apresentam características fortes de cozidas, com notas olfativas de cereais, amendoim, feijão cozido e palha.
- Cafés com boas notas de cor, porém, ainda que equilibrados, apresentam características de café cozido.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 TORRA

Todas as amostras foram torradas de acordo com o procedimento estipulado. No Apêndice A é possível observar todas as amostras, em grãos e moídas, para os experimentos de 100 g e 200 g.

É possível observar que conforme o tempo de torra aumenta para os experimentos de 100g, as amostras começam a apresentar um aspecto de torrado. A partir da torra com tempo de 6 minutos, representada pela Figura 29j do Apêndice A, já era possível observar uma fumaça preta saindo do forno micro-ondas, além de um forte cheiro de torrado.

Outra observação é quanto à homogeneidade dos grãos. Mesmo com as pausas para misturar as amostras, ainda é possível observar vários grãos destoando dos demais, independente do tempo que foi utilizado na torra.

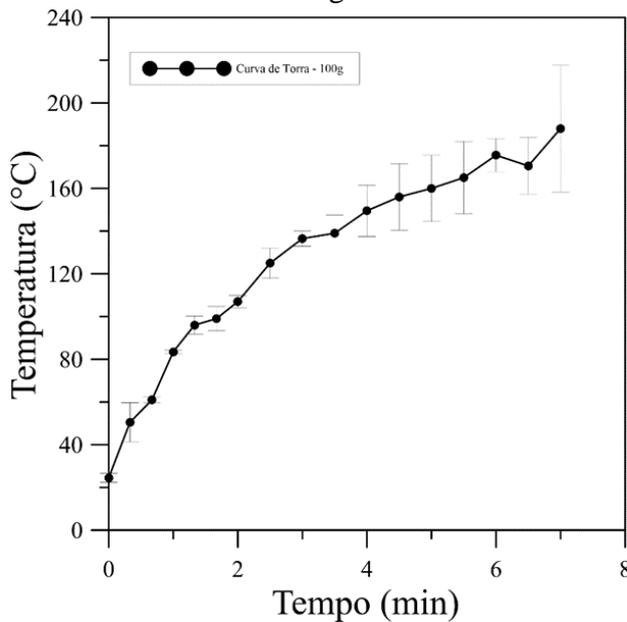
Quando analisamos os experimentos de 200 g, novamente é possível observar as amostras escurecendo conforme o tempo de torra. Para essas amostras não foi observada fumaça fora do normal, assim como ocorrido na amostra de 100 g, para nenhum tempo de torra, porém a partir dos 21 minutos, o cheiro de queimado já era perceptível.

#### 4.1.1 *Curva de torra*

A curva de torra do experimento foi desenvolvida de acordo com a metodologia estipulada. Nas Figuras 23 e 24 estão plotadas as Curvas de Torra, que foram torradas por 7 minutos e 23 minutos respectivamente. Para traçar a curva, foi utilizada a temperatura média entre as duas amostras de mesmo peso.

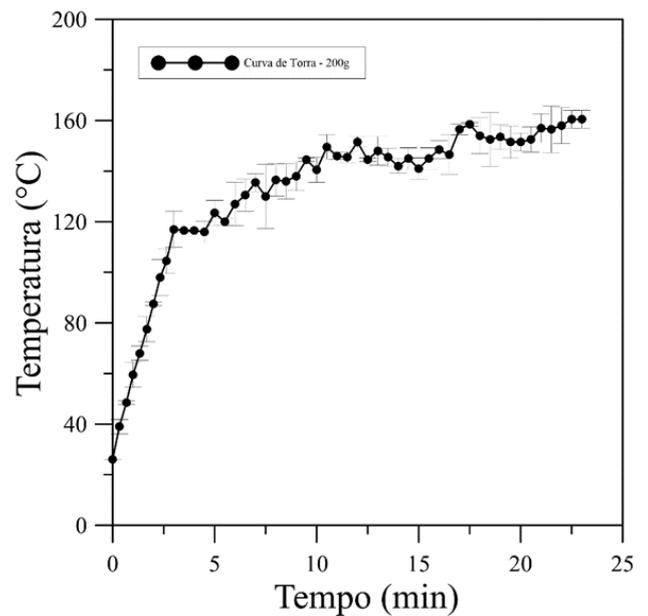
Não é possível fazer uma comparação fiel as curvas de torra disponíveis na literatura, uma vez que elas utilizam um diferente tipo de medição. Nesse experimento, foram medidas as temperaturas dos grãos no decorrer da torra, enquanto a literatura apresenta medições do calor no interior do torrador. Como um torrador industrial permanece com seu baú fechado durante todo o processo, não existe a perda de calor para o ambiente, o que não ocorreu nesse caso, uma vez que a porta do forno micro-ondas foi aberta diversas vezes para medição. Outra diferença está no resfriamento, etapa que também é monitorada em uma torra tradicional, e que não foi realizada nesse experimento. Com isso, o que é possível comparar é a curva da literatura a partir do ponto em que as temperaturas do grão e do torrador entram em equilíbrio, até o ponto que começa o resfriamento.

Figura 23 – Curva de Torra para amostra de 100g.



Fonte: Do autor (2022)

Figura 24 - Curva de Torra para amostra de 200g.



Fonte: Do autor (2022)

Ao analisar a curva de torra da amostra de 100g, é possível observar uma tendência exponencial durante os três primeiros minutos, tendo um rápido aumento de temperatura até atingir 150°C, e então apresentando leves oscilações a partir dos 6 minutos de torra, quando a temperatura está na faixa de 165°C. Na curva apresentada na Figura 6, a amostra apresenta uma curva parecida, tendo um rápido aumento de temperatura até 185°C, e então desacelerando seu crescimento, até iniciar seu resfriamento.

A curva de torra referente a amostra de 200g apresenta uma tendência parecida. Tem sua temperatura elevada até 140°C em metade do tempo de torra, e nos minutos seguintes oscila pouco até atingir 160°C.

Esse crescimento exponencial nos dois tamanhos de amostras está relacionado com o tempo inicial de torra que foi utilizada a potência de 100%, o que ocasionou um rápido ganho de temperatura, até o grão atingir o primeiro estalo. Após isso, a potência foi reduzida para evitar o cozimento do café.

Quando comparadas as duas curvas, elas apresentam temperaturas nos pontos citados muito parecidas, porém o que as distingue são o tempo levado para atingir esses pontos. Muito provavelmente esse fato está ligado com o fator tamanho da amostra. Como uma amostra continha o dobro de material, é compreendida a necessidade de um maior tempo de torra. Outro ponto a ser levantado nesse tópico é em relação a potência utilizada no experimento. Enquanto a amostra de 100g era torrada, em parte de seu processo, com uma potência de 40%, a amostra

de 200g utilizava uma potência de 50%. Com isso, é possível observar que o peso da amostra mostrou uma maior influência no processo de torra do que a potência utilizada.

#### 4.2 PERFIL SENSORIAL

Todas as amostras passaram por uma avaliação sensorial conforme descrito no tópico de Materiais e Métodos. Na Tabela 5 é possível observar as médias das notas obtidas para as amostras de 100g.

Tabela 5 – Resultado das análises sensoriais realizadas nas amostras de 100g.

<b>Experimento</b>	<b>Cor</b>	<b>Aroma</b>	<b>Sabor</b>	<b>Impressão Global</b>
1	1	2	1	1
2	1	1,5	1	1
3	3,5	2	1	1
4	6	5	1	3
5	5,5	4,5	4	4
6	7	5	5	5
7	7,5	6	5	5
8	7	5,5	4,5	4,5
9	6,5	3,5	2	2,5
10	6	3,5	2,5	3,5
11	4,5	2,5	2	2
12	2,5	1	1	1

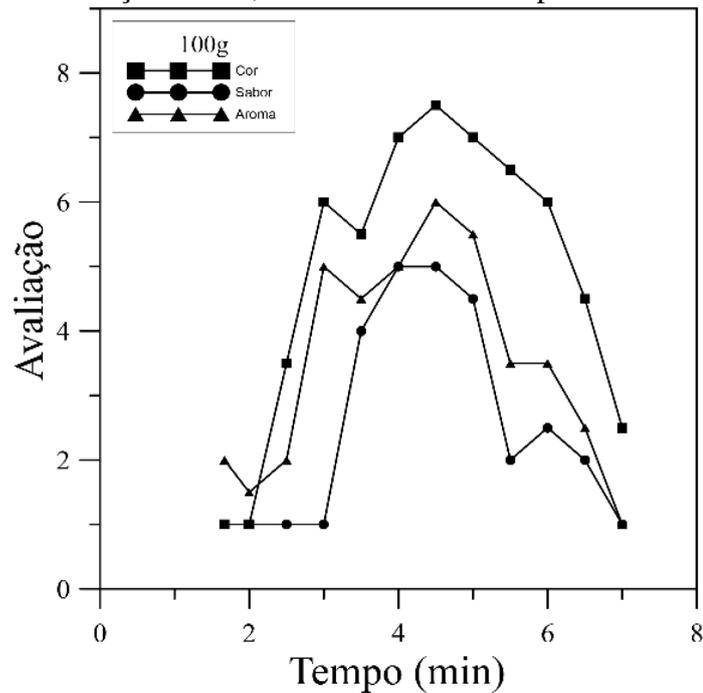
Fonte: Do autor (2022).

Na Figura 25, é possível observar a relação das notas obtidas nos atributos cor, aroma e sabor com o tempo total de torra da amostra.

Como pode ser observado, o intervalo entre 4 minutos e 5,5 minutos de torra foi o que apresentou uma melhor avaliação para a cor, tendo um pico no tempo de 4,5 minutos, e obteve uma avaliação de “gostei moderadamente”. Nas Figuras 29g e 30g do Apêndice A é possível observar as cores que essa amostra apresentava, tanto para os grãos, quanto para o café moído.

Essas amostras apresentaram uma coloração de torra média-escura. Na amostra em grãos, é possível observar alguns grãos fora do padrão de cor dos demais, enquanto esses pontos destoantes são bem mais imperceptíveis na amostra moída.

Figura 25 – Avaliação da cor, do sabor e do aroma para amostras de 100g.



Fonte: Do autor (2022)

Nas Figuras 29a, 29b, 30a e 30b do Apêndice A é possível observar as amostras em grãos e moídas que tiveram 1,67 e 2 minutos de torra, consideradas as piores entre todas.

Como é possível observar, as amostras já apresentam uma cor parecida com a dos cafés tradicionais, mas ainda numa tonalidade clara. Cabe destacar ainda a homogeneidade das amostras. Novamente a amostra em grãos apresentam mais pontos fora do padrão do que as amostras moídas. Como o micro-ondas realiza seu aquecimento de fora para dentro de um alimento, descarta-se a hipótese de o grão estar mais torrado em seu interior do que em sua superfície. Logo, essa diferença de homogeneidade se deve à granulometria das amostras, fazendo com que os grãos mais claros se camuflam conforme a granulometria diminui.

Observando a Figura 25 novamente, é possível ver a relação das notas obtidas no atributo aroma, com o tempo total de torra da amostra.

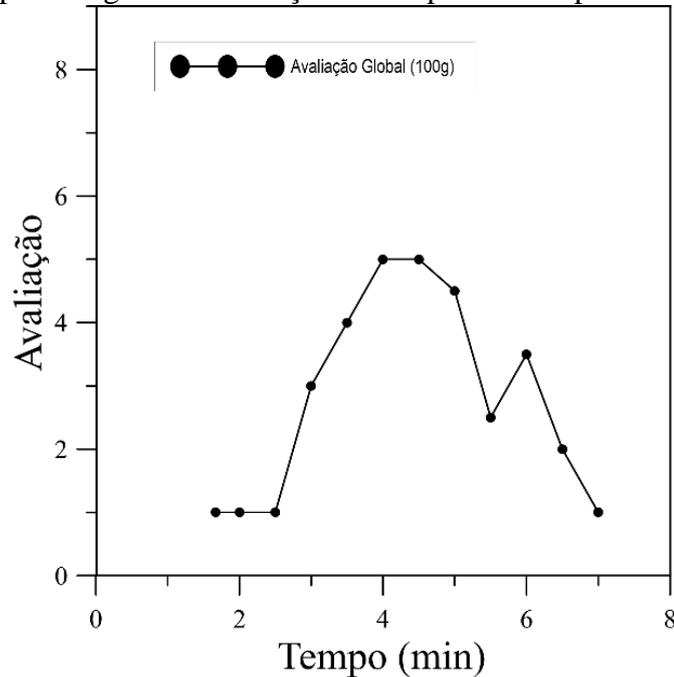
Como pode ser observado, as melhores avaliações foram as amostras com tempo de torra de 4,5 e 5 minutos, porém com médias pouco acima de 5, que representam aquelas que não foram gostadas e nem desgostada. Esses cafés foram descritos como amostras que apresentavam um forte aspecto de cozidos.

Ainda na Figura 25, é possível observar também a relação das notas obtidas no atributo sabor, com o tempo total de torra da amostra.

O gráfico mostra que as amostras com maior aceitação no quesito sabor foram as torradas por 4 e 4,5 minutos, com notas também próximas de 5.

Por fim, foi possível avaliar a aceitação global das amostras. Na Figura 26 está representada a relação das notas obtidas no atributo com o tempo total de torra da amostra.

Figura 26 - Impressão global em relação ao tempo de torra para amostras de 100g.



Fonte: Do autor (2022)

Analisando a impressão global das amostras, é possível observar que ela não destoa dos resultados dos outros atributos. Novamente as amostras torradas por 4 e 4,5 minutos foram as mais bem avaliadas, e repetindo as notas próximas à 5.

De maneira geral, é possível afirmar que o tempo de torra que obteve uma melhor aceitação sensorial para uma amostra de 100g foi de 4,5 minutos, quando utilizado de um forno micro-ondas doméstico. Esse valor está um pouco longe do ideal, uma vez que as notas sempre variaram em torno de 5, o que significa que as amostras não foram gostadas e nem desgostadas.

Na Tabela 6 é possível observar as médias das notas obtidas para as amostras de 200g. Na Figura 27, é possível observar a relação das notas obtidas nos atributos cor, sabor e aroma e o tempo total de torra da amostra.

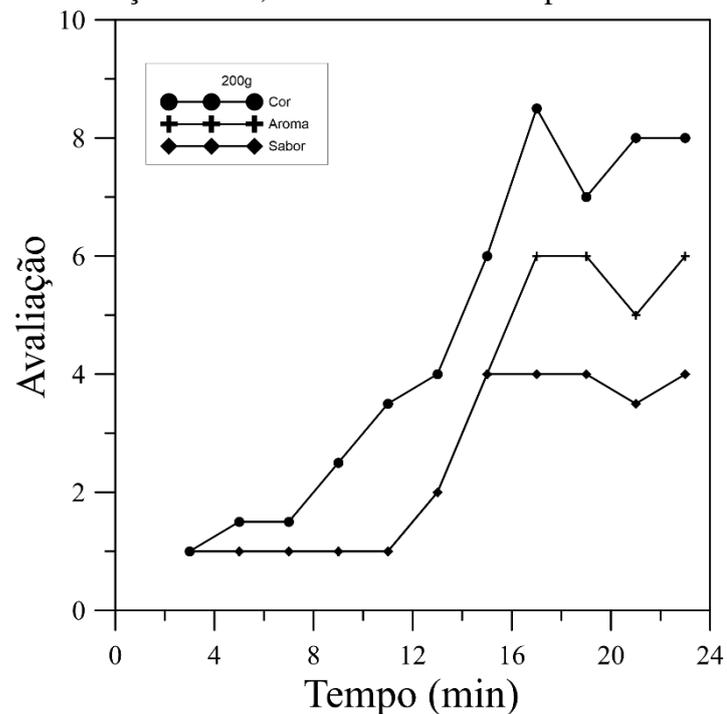
Como pode ser observado, o intervalo entre 17 e 23 minutos de torra foi o que apresentou uma melhor avaliação para a cor. Essas amostras obtiveram uma excelente avaliação, apresentando médias 8, que na tabela sensorial representava “gostei muito”. Nas Figuras 31h e 32h do Apêndice A, é possível observar as cores que a amostra torrada por 17 minutos apresentava, tanto para os grãos, quanto para o café moído

Tabela 6 – Resultado das análises sensoriais das amostras de 200g.

Experimento	Cor	Aroma	Sabor	Impressão Global
13	1	1	1	1
14	1,5	1	1	1
15	1,5	1	1	1
16	2,5	1	1	1
17	3,5	1	1	1
18	4	2	2	2
19	6	4	4	4
20	8,5	6	4	5
21	7	6	4	3,5
22	8	5	3,5	4,5
23	8	6	4	5

Fonte: Do autor (2022).

Figura 27 - Avaliação da cor, do sabor e do aroma para amostras de 200g.



Fonte: Do autor (2022)

Assim como ocorreu para a amostra de 100g, essa também apresentou características visuais bem semelhantes com os cafés tradicionais. Quando analisada a amostra moída, é possível perceber o aspecto de uma torra média.

Nas Figuras 31a e 32a do Apêndice A é possível observar a amostra em grão e moída que teve 3 minutos de torra, consideradas a pior entre todas.

Na Figura 27 é apresentada também a relação das notas obtidas no atributo aroma com o tempo total de torra da amostra

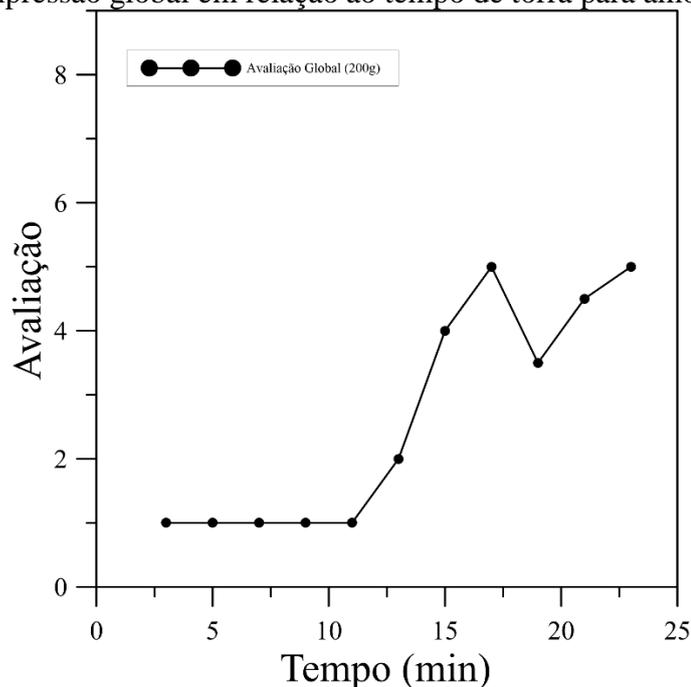
Como pode ser observado, as melhores avaliações foram as amostras com tempo de torra entre 17 e 23 minutos, com médias variando entre 5 e 6, que representam aquelas que não foram gostadas e nem desgostada, ou que foram gostadas ligeiramente. Esses cafés foram descritos como amostras que apresentavam um forte aspecto de cozidos.

Novamente na Figura 27, é possível observar a relação das notas obtidas no atributo sabor, com o tempo total de torra da amostra.

O gráfico mostra que as amostras com maior aceitação no quesito sabor foram as torradas entre o intervalo de 15 a 23 minutos, com uma nota média 4, que representa “desgostei ligeiramente”.

Por fim, foi possível avaliar a aceitação global das amostras. Na Figura 28 está representada a relação das notas obtidas no atributo com o tempo total de torra da amostra.

Figura 28 - Impressão global em relação ao tempo de torra para amostras de 200g.



Fonte: Do autor (2022)

Analisando a impressão global das amostras, é possível observar que ela não destoa dos resultados dos outros atributos. Novamente as amostras torradas no intervalo de 17 a 23 minutos foram as mais bem avaliadas, variando as notas entre 4 e 5.

De maneira geral, é possível determinar o tempo que obteve a melhor aceitação nesse conjunto de experimentos, que foram as torras que variaram de 17 a 23 minutos. Porém, quando vemos os quatro atributos como um todo, as amostras não obtiveram notas muito altas. Mesmo esse intervalo tendo se sobressaído em relação aos outros, ele ainda está com uma avaliação aquém da esperada.

## 5 CONCLUSÕES

É possível concluir que o forno micro-ondas se mostrou um equipamento promissor para a torra de cafés especiais. Apesar das diversas adaptações que foram necessárias, foi obtido um resultado bastante satisfatório.

Quando analisada a torra, sua curva acompanhou a mesma tendência que uma curva tradicional apresenta: um crescimento exponencial no começo, em seguida de uma estabilidade. A temperatura atingida também ficou próxima do que é alcançada industrialmente, cerca de 200°C.

Sensorialmente falando, o resultado foi mediano. No atributo cor, o torrador se mostrou bastante eficiente, atingindo notas bastante convincentes em alguns experimentos, tanto para amostras de 100g, quanto para amostras de 200g. Quando analisado o aroma, o resultado foi um pouco mais intermediário. A amostra de 200g conseguiu se sair um pouco melhor, tendo alguns experimentos atingindo uma média 6 na escala sensorial apresentada neste trabalho, que significa “gostei ligeiramente”. O sabor foi o atributo mais fraco sensorialmente. As amostras de 200g não conseguiram passar da nota 4, que na escala representava “desgostei ligeiramente”. As amostras de 100g se saíram um pouco melhores, mas com médias que não passaram de 5, representadas por “nem gostei e nem desgostei”.

Recomenda-se utilizar uma amostra de 100g e um tempo de torra de 4 minutos e 30 segundos. Se fosse utilizada uma amostra de 200g, o tempo ideal seria de 17 minutos.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A principal sugestão que fica para trabalhos futuros é quanto a uniformidade dos grãos durante a torra. Seria bastante interessante a aprimoração do protótipo para que a mistura fosse feita de forma automática e eficiente, evitando principalmente a perda de calor do processo em cada pausa para homogeneização.

Outro ponto interessante para avaliar seria expandir a curva de torra para a etapa de resfriamento, possibilitando uma melhor comparação com a curva teórica.

Na parte de análise sensorial, fica a sugestão de realizar uma avaliação com consumidores comuns, para definir o nível de aceitação do produto.

## 6 REFERÊNCIAS

ABIC. Associação Brasileira da Indústria do Café. Histórico. 2021. Disponível em: <https://www.abic.com.br/institucional/abic/>. Acesso em: 21 jul. 2022.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Análise sensorial dos alimentos e bebidas: terminologia. 1993. 8 p.

AGROLEV. Torrador de Café Industrial 15 KG. 2022. Disponível em: <https://www.agrolev.com.br/agrolev/produto/torrador-de-cafe-industrial-15-kg/>. Acesso em: 18 jul. 2022.

ANDRADE, H. C. C. et al. Atribuição de sentidos e agregação de valor: insumos para o turismo rural em regiões cafeeicultoras. Revista Brasileira de Ecoturismo, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 333-346, 2015.

ATILLA. Conceitos gerais da torra – Transferência de calor. 2021. Disponível em: <https://www.atilla.com.br/conceitos-gerais-da-torra-transferencia-de-calor/>. Acesso em: 20 set. 2022.

BAGGENSTOSS, Juerg et al. Coffee roasting and aroma formation: application of different time– temperature conditions. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 56, n. 14, p. 5836-5846, 2008.

BARBOZA, A. C. R. N. et al. Aquecimento em forno de micro-ondas – desenvolvimento de alguns conceitos fundamentais. Quim. Nova, Vol. 24, No 6, 901-904, 2001.

BARISTA WAVE. As ondas de consumo do café. 2022. Disponível em: <https://baristawave.com/ondas-de-consumo-do-cafe/>. Acesso em: 24 jul. 2022.

BARISTA WAVE. Como desenvolver análise sensorial para o café. 2021. Disponível em: <https://baristawave.com/como-desenvolver-analise-sensorial-para-o-cafe/>. Acesso em: 27 jul. 2022.

CAMPO E NEGÓCIOS. Redução de custos no café é alcançada com colheita mecanizada. 2018. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/reducao-de-custos-no-cafe-e-alcancada-com-colheita-mecanizada/>. Acesso em: 13 jan. 2022.

CAMPOS, R. C. Propriedades físicas dos grãos de café moca durante o processo de torra. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG. 2016

CANAL AGRO. Exportação de café brasileiro cai em 2021. Disponível em: <https://summitagro.estadao.com.br/comercio-exterior/exportacao-de-cafe-brasileiro-cai-em-2021/>. Acesso em: 14 ago. 2022.

CANAL RURAL. Produção global de café deve cair quase 1%, diz OIC. 2019. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/cafe/producao-global-cafe-deve-cair/>. Acesso em: 13 jan. 2022.

CANTO, M. W. do. Estudo de diferentes processos de torrefação de café por método convencional e micro-ondas. Dissertação (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP. 2001.

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.

DE SOUZA, G. B.; NOGUEIRA, A. R. A.; RASSINI, J. B. Determinação de matéria seca e umidade em solos e plantas com forno micro-ondas doméstico. *Circular Técnica*, 33. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. São Carlos, SP. Dezembro, 2002.

EMBRAPA. Produção dos cafés do Brasil ocupa área de 1,82 milhão de hectares dos quais 1,45 milhão são de café arábica e 375,99 mil de conilon. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/64630822/producao-dos-cafes-do-brasil-ocupa-area-de-182-milhao-de-hectares-dos-quais-145-milhao-sao-de-cafe-arabica-e-37599-mil-de-conilon>. Acesso em: 12 jan. 2022.

EPIFÂNIO. Gem. História do café no Brasil. Tudo em uma revista. 29/06/2020. Disponível em: <https://fliphtml5.com/matju/kpwc/basic> (página 04). Acesso em: 12 jan. 2022.

ESPRESSO. Sterna Café realiza bate-papo sobre cupping com o barista Boram Um. 2021. Disponível em: <https://revistaespresso.com.br/2021/03/02/sterna-cafe-realiza-bate-papo-sobre-cupping-com-o-barista-boram-um/>. Acesso em: 29 jul. 2022.

EU FUI BLOG. Primeiro Starbucks dos Estados Unidos em Seattle. 2018. Disponível em: <https://eufui.blog.br/2018/12/primeiro-starbucks-seattle-washington/>. Acesso em: 24 jul. 2022.

G1. Produção de café gera receita R\$20 bilhões por ano. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/agro-a-industria-riqueza-do-brasil/noticia/2019/04/16/producao-de-cafe-gera-receita-r-20-bilhoes-por-ano.ghtml>. Acesso em: 12 jan. 2022.

GUIA DO CAFÉ. Conheça a roda sensorial iterativa do café. 2016. Disponível em: <https://guiadocafe.com/conheca-roda-sensorial-cafe/>. Acesso em: 24 jul. 2022.

GUIMARÃES, E. R. Terceira onda do café: base conceitual e aplicações. Dissertação (Mestrado em Administração). Universidade Federal de Lavras. Lavras/MG. 2016.

GUIMARÃES, E. R., LEME, P. H. M. V., REZENDE, D. C., PEREIRA, S. P., SANTOS, A. C. The brand new Brazilian specialty coffee market. *Journal of Food Products Marketing*, 2018.

KAPOOR, R. Specialty coffee market overview with detailed analysis, competitive landscape, forecast to 2028. 2022. Disponível em: [https://www.linkedin.com/pulse/specialty-coffee-market-overview-detailed-analysis-landscape-kapoor/?trk=pulse-article\\_more-articles\\_related-content-card](https://www.linkedin.com/pulse/specialty-coffee-market-overview-detailed-analysis-landscape-kapoor/?trk=pulse-article_more-articles_related-content-card). Acesso em: 20 set. 2022.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2017. Café no Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>. Acesso em: 12 jan. 2022.

MARTINS, Ana Luiza; História do café: subtítulo do livro. 1. Ed. São Paulo: Contexto, 2012. p. 1-316.

MELLO, E. V. A cafeicultura no Brasil. In: ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE CAFÉ COM QUALIDADE, 3., 2001, Viçosa. Anais...Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 648p.

MEXIDO DAS IDEIAS. Torrefacto: uma maneira diferente de torrar café. 2016. Disponível em: <https://www.mexidodeideias.com.br/curiosidades/torrefacto-uma-maneira-diferente-de-torrar-o-cafe/>. Acesso em: 27 jul. 2022.

MONTOYA, A. C. R. Tostión de café en micro-ondas. *Revista Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*. V 2 N°2 diciembre 2013. Páginas 66 a 74.

MOON, J., SHIBAMOTO, T. Role of roasting conditions in the profile of volatile flavor chemicals formed from coffee beans. *J. Agric. Food Chem.* 2009, 57, 5823-5831. Department of Environmental Toxicology, University of California, Davis, One Shields Avenue, Davis, California 95616. 2009.

MOREIRA, R. V. Caracterização do processo de secagem do café natural submetido a diferentes métodos de secagem. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras. Lavras/MG. 2015.

MOURA, S. C. S. R. et al. Influência dos parâmetros de torração nas características físicas, químicas e sensoriais do café arábica puro. *Braz. J Food Technol.*, Campinas, v. 10, n. 1, p. 17-25, jan./mar. 2007.

NEBESNY, E., BUDRYN, G. Evaluation of sensory attributes of coffee brews from robusta coffee roasted under different conditions. *Eur Food Res Technol* 224, 159–165 (2006).

PAIVA, E. F. F. Análise sensorial dos cafés especiais do estado de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras. Lavras/MG. 2005.

PERFECT DAILY GRIND. Como usar curvas de torra para guiar a torra de café. 2020. Disponível em: <https://perfectdailygrind.com/pt/2020/08/20/como-usar-curvas-de-torra-cropster/>. Acesso em: 20 jul. 2022.

PERFECT DAILY GRIND. What is the fourth wave of coffee? Scalability, not science. Disponível em: <https://perfectdailygrind.com/2021/12/what-is-the-fourth-wave-of-coffee-scalability-not-science/>. 20 set. 2022.

PRESSCA. A quarta onda e o futuro do café. 2021. Disponível em: <https://www.pressca.com.br/blog/a-quarta-onda-e-o-futuro-do-cafe/>. Acesso em: 25 jul. 2022.

QUINTÃO, R. T. BRITO, E. P. Z., BELK, R. W. The taste transformation ritual in the specialty coffee market. RAE – Revista de Administração de Empresas, 2017.

REINATO, C. H. R. Secagem e armazenamento do café: aspectos qualitativos e sanitários. Dissertação (Doutorado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras. Lavras/MG. 2006.

SANTINATO, F.; JÚNIOR, L.; SILVA, R. P.; SANTINATO, R.; ECKHARDT, C. F. S. Época de colheita (definição do momento de início da colheita) no cerrado mineiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 42., 2016, Serra Negra. Anais. Brasília, DF: Embrapa Café, 2016.

SCAA. Specialty Coffee Association of America. Protocolo para análise sensorial de café. Metodologia SCAA. 2008.

SEVERINE, C. How much caffeine in coffee cup? Effects of processing operations, extraction methods and variables. The Question of Caffeine, 2017.

SILVA, L. C. da. Café – fruto, grão e bebida. UFES – Universidade Federal do Espírito Santo, 2012.

TEIXEIRA, L.V. Análise sensorial na indústria de alimentos. Ver. Inst. Latic. “Cândido Tostes”, Jan/Fev, nº366, 64: 12-21, 2009.

UBNT – BR. Como o sinal Wi-Fi é propagado na natureza? 2018. Disponível em: <https://medium.com/ubntbr/como-o-sinal-wifi-%C3%A9-propagado-na-natureza-d87daef39575>. Acesso em: 28 jul. 2022.

VENEGAS, J. D. B. Modelagem das propriedades físicas e da transferência de calor massa dos grãos de café durante a torrefação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa/MG. 2015.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Física II: termodinâmica e ondas. 12<sup>a</sup> edição. Editora Pearson. 2008.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Física III: eletromagnetismo. 10<sup>a</sup> edição. Editora Pearson. 2005.

YU, J.-M.; CHU, M.; PARK, H.; PARK, J.; Lee, K.-G. Analysis of Volatile Compounds in Coffee Prepared by Various Brewing and Roasting Methods. Foods 2021, 10, 1347.

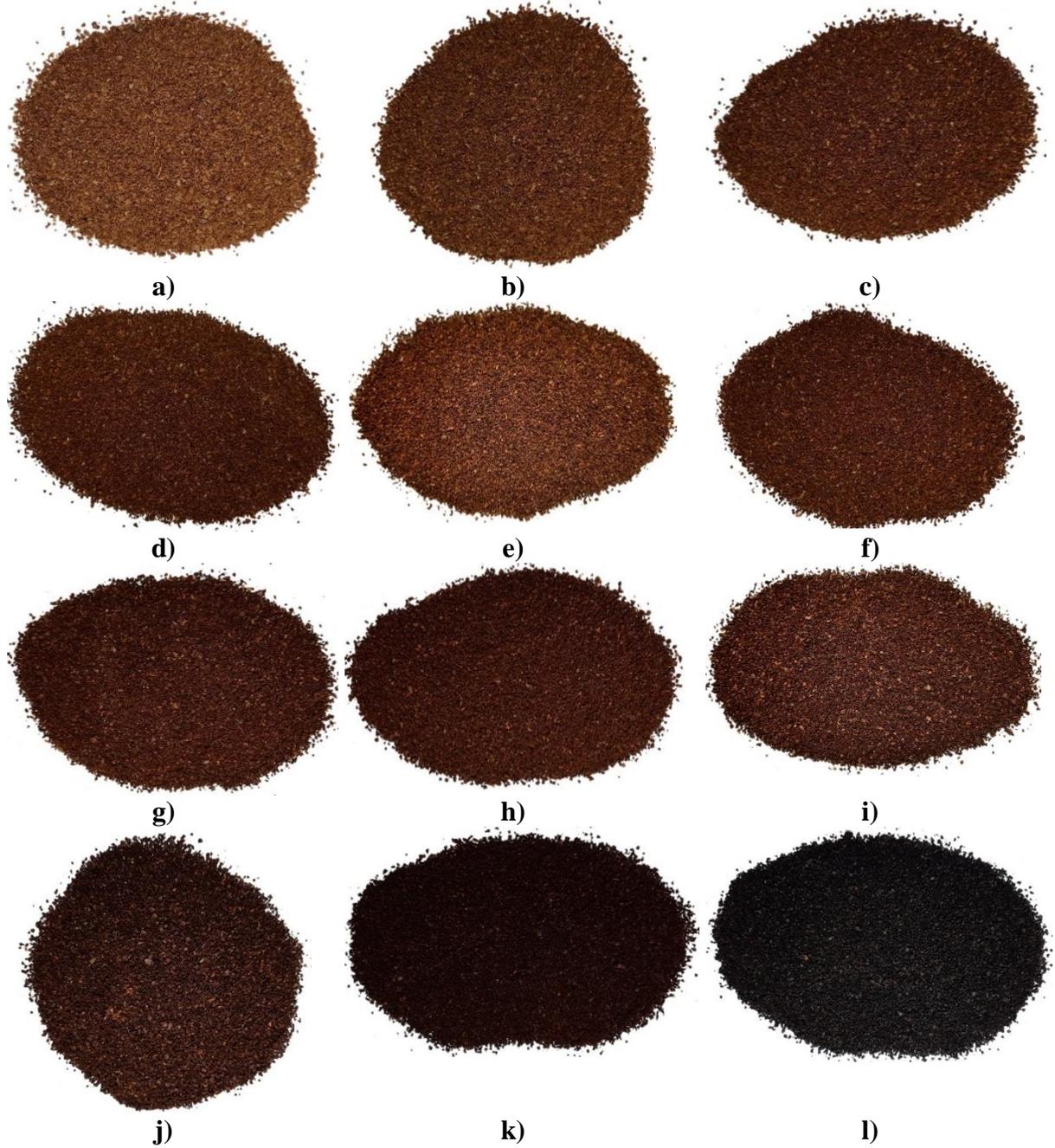
**APÊNDICE**

Figura 29 - Amostra de 100g em grão torrada por a) 1 minuto e 40 segundos; b) 2 minutos; c) 2 minutos e 30 segundos; d) 3 minutos; e) 3 minutos e 30 segundos; f) 4 minutos; g) 4 minutos e 30 segundos; h) 5 minutos; i) 5 minutos e 30 segundos; j) 6 minutos; k) 6 minutos e 30 segundos; l) 7 minutos.



Fonte: Do autor (2022)

Figura 30 - Amostra de 100g moido torrada por a) 1 minuto e 40 segundos; b) 2 minutos; c) 2 minutos e 30 segundos; d) 3 minutos; e) 3 minutos e 30 segundos; f) 4 minutos; g) 4 minutos e 30 segundos; h) 5 minutos; i) 5 minutos e 30 segundos; j) 6 minutos; k) 6 minutos e 30 segundos; l) 7 minutos.



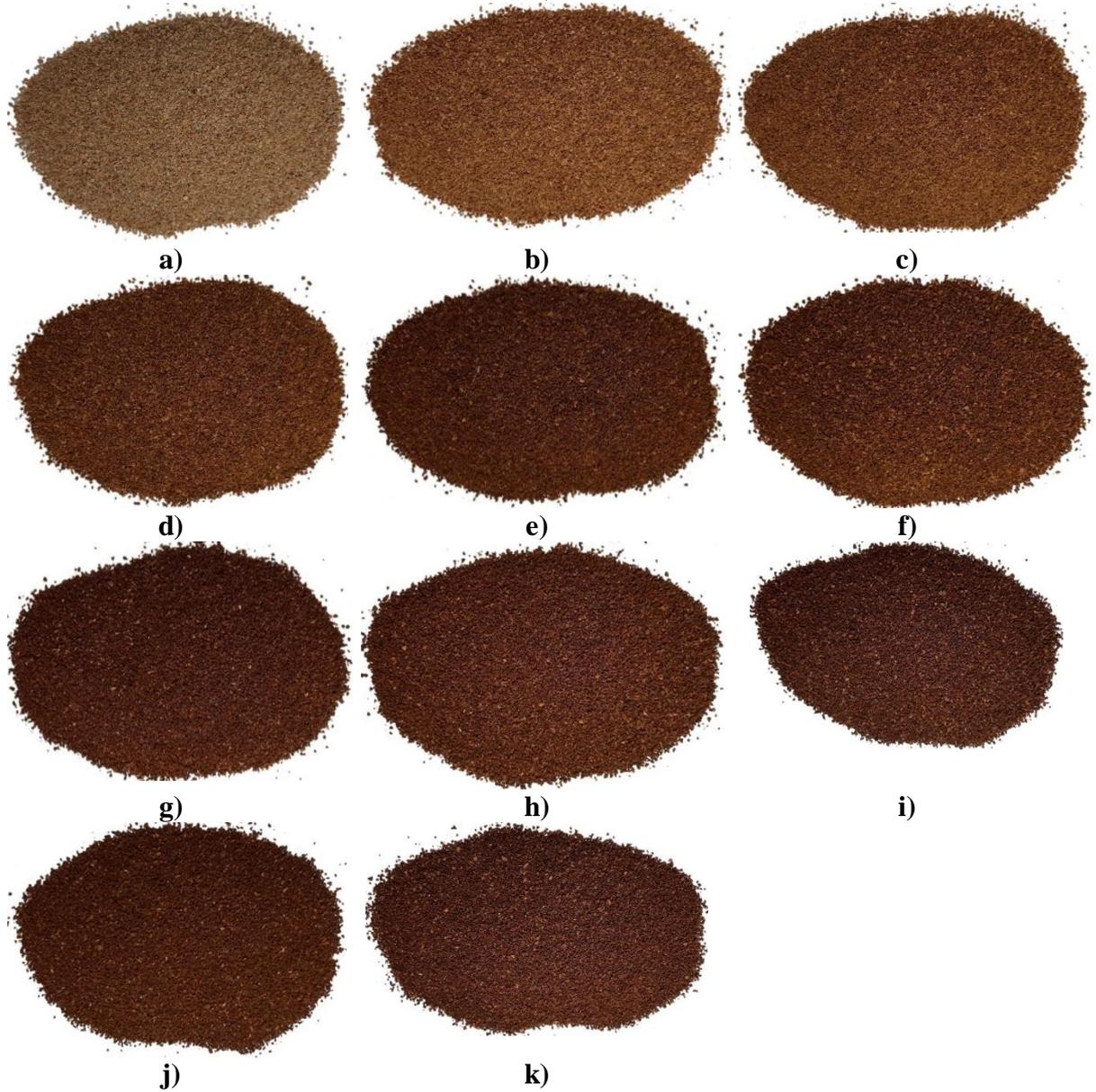
Fonte: Do autor (2022)

Figura 31 - Amostra de 200g em grão torrada por a) 3 minutos; b) 5 minutos; c) 7 minutos; d) 9 minutos; e) 11 minutos; f) 13 minutos; g) 15 minutos; h) 17 minutos; i) 19 minutos; j) 21 minutos; k) 23 minutos.



Fonte: Do autor (2022)

Figura 32 - Amostra de 200g em grão torrada por a) 3 minutos; b) 5 minutos; c) 7 minutos; d) 9 minutos; e) 11 minutos; f) 13 minutos; g) 15 minutos; h) 17 minutos; i) 19 minutos; j) 21 minutos; k) 23 minutos.



Fonte: Do autor (2022)