

ALCIMAR RODRIGUES

MARCADORES DE QUALIDADE EM GRÃOS DE CAFÉ ARÁBICA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Paulo Cesar Stringheta

Coorientadoras: Renata Cássia Campos
Érica Nascif Rufino Vieira

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

R696m
2022 Rodrigues, Alcimar, 1994-
Marcadores de qualidade em grãos de café arábica /
Alcimar Rodrigues. – Viçosa, MG, 2022.
1 dissertação eletrônica (65 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Paulo César Stringheta.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Tecnologia de Alimentos, 2022.

Referências bibliográficas: f. 58-65.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.560>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Café - Avaliação sensorial. 2. Café - Qualidade.
I. Stringheta, Paulo César, 1952-. II. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Tecnologia de Alimentos. Programa de
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.
III. Título.

CDD 22. ed. 641.3373

ALCIMAR RODRIGUES

MARCADORES DE QUALIDADE EM GRÃOS DE CAFÉ ARÁBICA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 29 de julho de 2022.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **ALCIMAR RODRIGUES**
Data: 18/09/2023 10:59:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Alcimar Rodrigues
Autor

Documento assinado digitalmente
 **PAULO CESAR STRINGHETA**
Data: 18/09/2023 09:31:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Paulo Cesar Stringheta
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre me iluminar, guiar e me acompanhar neste longo e difícil caminho.

Aos meus familiares, pelas orações e por sempre me apoiarem nas minhas escolhas.

À minha bisavó Maria (*in memoriam*) pelas recepções, orações e incentivo.

Aos meus sogros por todo apoio e incentivo.

À minha esposa Taynara, pelo apoio, pelas orações, pelo companheirismo, pelo amor, cuidado e carinho dedicados a mim, e por sempre me incentivar em minhas escolhas.

Ao orientador Paulo Cesar Stringheta, por todo apoio, paciência, compreensão, inspiração e conhecimento a mim concedido. Obrigado por tudo.

À coorientadora Renata Cássia Campos, pela confiança, pelo apoio, incentivos, inspiração e ensinamentos que enriqueceram este trabalho.

À coorientadora Érica Nascif Rufino Vieira, pela confiança, pelo apoio e ensinamentos que enriqueceram este trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Corantes Naturais e Compostos Bioativos (LaCBio), pelos ensinamentos, apoio na realização das atividades, companheirismo e convivência ao longo deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Ciência de Produtos de Frutas e Hortaliças pelo apoio na realização das atividades e fornecimento de equipamentos.

À fazenda Jardins das Oliveiras pela doação do material de estudo.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela formação acadêmica e profissional.

À Thaís Caroline Buttow Rigolon, por ter aceitado participar da banca examinadora de defesa desta dissertação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

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

RESUMO

RODRIGUES, Alcimar, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2022. **Marcadores de qualidade em grãos de café arábica.** Orientador: Paulo Cesar Stringheta. Coorientadoras: Renata Cássia Campos e Érica Nascif Rufino Vieira.

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo e um dos produtos mais importantes do setor agrícola brasileiro. A qualidade da bebida do café está diretamente relacionada com as características físico-químicas do grão. Contudo há poucos relatos na literatura sobre as características físico-químicas de frutos de café imaturos, e sua correlação com a qualidade da bebida. Neste contexto, este trabalho objetivou estudar a composição físico-química e realizar avaliação sensorial de três tipos de café arábica: verde, cereja natural e cereja descascado, avaliar ou estabelecer a correlação entre os parâmetros físico-químicos e a qualidade sensorial. As propriedades físico-químicas determinadas foram coordenadas colorimétricas, teor de água, pH, sólidos solúveis, acidez titulável total, açúcares totais (redutores e não redutores), proteínas, compostos fenólicos totais, cafeína, ácido clorogênico, trigonelina, capacidade antioxidante pelos métodos ABTS e DPPH, condutividade elétrica e lixiviação de potássio. A avaliação sensorial foi realizada conforme o protocolo da SCA - *Specialty Coffee Association*. Houve variação significativa entre os tipos de café estudados quanto às coordenadas colorimétricas avaliadas e análises físico-químicas de teor de água, pH, sólidos solúveis, açúcares totais (redutores e não redutores), cafeína, trigonelina, condutividade elétrica e potássio lixiviado. Não foi observada variação entre as amostras de café analisadas quanto aos teores de acidez total titulável, proteínas, compostos fenólicos totais, ácido clorogênico e capacidade antioxidante. O café tipo cereja natural apresentou a maior nota na avaliação sensorial, sendo considerado um café especial “Muito bom” pela SCA, enquanto o café tipo cereja descascado e tipo verde não foram considerados cafés especiais de acordo com a pontuação obtida na avaliação sensorial. Através do teste de correlação de Pearson foram observadas correlações significativas entre as propriedades físico-químicas analisadas e a pontuação global obtida na avaliação sensorial. Foram observadas correlações positivas para os parâmetros colorimétricos L^* e a^* , pH, sólidos solúveis, açúcares totais e açúcares não redutores, ainda, observaram-se correlações negativas foram verificadas para coordenada de cor a^* , teor de água, cafeína, ácido clorogênico, trigonelina, condutividade elétrica e lixiviação de potássio. Dessa forma, várias características físico-químicas podem ser consideradas marcadores de qualidade para o café cru, podendo ser uma alternativa ou complementação para avaliação da qualidade sensorial desses cafés.

Palavras-chave: Café especial. Qualidade sensorial. Composição. Marcadores.

ABSTRACT

RODRIGUES, Alcimar, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2022. **Quality markers in arabica coffee beans.** Adviser: Paulo Cesar Stringheta. Co-Advisers: Renata Cássia Campos and Érica Nascif Rufino Vieira.

Coffee is one of the most consumed beverages in the world and one of the most important products in the Brazilian agricultural sector. The quality of the coffee is directly related to the physicochemical characteristics of the grain. However, there are few reports in the literature about the physicochemical characteristics of immature coffee fruits, and their correlation with the quality of the beverage. In this context, this work aimed to study the physical-chemical composition and perform sensory evaluation of three types of Arabica coffee: green, natural cherry and peeled cherry, to evaluate or establish the correlation between the physical-chemical parameters and sensory quality. The physicochemical properties determined were colorimetric coordinates, water content, pH, soluble solids, total titratable acidity, total sugars (reducing and non-reducing), proteins, total phenolic compounds, caffeine, chlorogenic acid, trigonelline, antioxidant capacity by ABTS methods and DPPH, electrical conductivity and potassium leaching. Sensory evaluation was performed according to the SCA - Specialty Coffee Association protocol. There was significant variation between the types of coffee studied in terms of colorimetric coordinates evaluated and physical-chemical analyses of water content, pH, soluble solids, total sugars (reducing and non-reducing), caffeine, trigonelline, electrical conductivity and leached potassium. No variation was observed between the coffee samples analyzed in terms of total titratable acidity, proteins, total phenolic compounds, chlorogenic acid and antioxidant capacity. Natural cherry coffee had the highest score in the sensory evaluation, being considered a "Very good" special coffee by the SCA, while pulped cherry and green coffee were not considered special coffees according to the score obtained in the sensory evaluation. Through Pearson's correlation test, significant correlations were observed between the physical-chemical properties analyzed and the global score obtained in the sensorial evaluation. Positive correlations were observed for the colorimetric parameters L^* and a^* , pH, soluble solids, total sugars and non-reducing sugars. However, negative correlations were observed for color coordinate a^* , water content, caffeine, chlorogenic acid, trigonelline, electrical conductivity and potassium leaching. Thus, several physicochemical characteristics can be considered quality markers for raw coffee, and can be an alternative or complement for evaluating the sensory quality of these coffees.

Keywords: Specialty coffee. Sensory quality. Composition. Markers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Planta de <i>Coffea arábica</i> .	15
Figura 2 - Corte longitudinal do fruto de café maduro (cereja).	16
Figura 3 - Diferentes estágios de maturação dos frutos de café.	19
Figura 4 - Etapas envolvidas no processo produtivo de café.	20
Figura 5 - Sistema de coordenadas CIELab.	23
Figura 6 - Etapas realizadas na execução do projeto.	32
Figura 7 - Amostras de café arábica cru utilizadas no estudo.	33
Figura 8 - Coeficientes de correlação (r) significativos sobre a nota obtida na avaliação sensorial.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos de grãos cereja cru de <i>Coffea arabica</i> encontrados na literatura.	24
Tabela 2. Classificação da bebida do café pelo método SCA.	31
Tabela 3. Valores médios de coordenadas colorimétricas para o café arábica cru.	42
Tabela 4. Valores médios de parâmetros físico-químicos para o café arábica cru, expressos em base seca.	43
Tabela 5. Valores médios da nota sensorial e nuances para a bebida de café arábica.	51
Tabela 6. Correlação de Pearson (r) entre os parâmetros estudados para o café arábica cru.	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo geral	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1. O café	15
3.2. Colheita e processamento do café	18
3.3. Parâmetros físico-químicos do café	22
3.4. Qualidade da bebida do café	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1. Desenho do projeto	32
4.2. Matéria-prima	32
4.3. Análises físico-químicas	34
4.3.1. Análises colorimétricas	34
4.3.2. Teor de água	34
4.3.3. pH e Acidez total titulável	34
4.3.4. Sólidos solúveis totais	35
4.3.5. Açúcares totais, redutores e não-redutores	35
4.3.6. Proteínas	36
4.3.7. Compostos fenólicos totais	36
4.3.8. Condutividade elétrica	37
4.3.9. Lixiviação de potássio	37
4.3.10. Capacidade Antioxidante – Ensaio ABTS	38
4.3.11. Capacidade Antioxidante – Ensaio DPPH	38
4.3.12. Ácido clorogênico, cafeína e trigonelina	39

4.4. Avaliação sensorial	39
4.5. Análises estatísticas.....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1. Análises físico-químicas	42
5.1.1. Análise colorimétrica.....	42
5.1.2. Teor de água.....	44
5.1.3. pH.....	44
5.1.4. Acidez total titulável.....	45
5.1.5. Sólidos Solúveis.....	45
5.1.6. Açúcares totais, redutores e não redutores	46
5.1.7. Proteínas.....	47
5.1.8. Compostos fenólicos	47
5.1.9. Cafeína.....	48
5.1.10. Ácido clorogênico.....	48
5.1.11. Trigonelina	49
5.1.12. Capacidade antioxidante.....	49
5.1.13. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio	50
5.2. Análise sensorial	51
5.3. Análise de correlação.....	52
6. CONCLUSÕES.....	57
7. REFERÊNCIAS	58

1. INTRODUÇÃO

O café é um dos produtos mais expressivos do setor agrícola brasileiro, sendo responsável por uma fatia significativa das exportações brasileiras de produtos agrícolas e um importante gerador de divisas para o país. Na safra 2020/2021, o volume total de café produzido no país foi de 47.716 sacas de café beneficiado, dos quais 31.423 sacas foram de café arábica, tendo como maiores produtores, respectivamente, os estados Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Bahia (CONAB, 2021). Minas Gerais responde por quase metade da produção nacional e se destaca pela grande produção de cafés especiais, tendo vários cafés premiados em diversos concursos estaduais, nacionais e internacionais.

Para Oliveira (2012), a qualidade do café está associada ao grão que possui características de sabor e aroma diferenciados, esse atributo pode ser constatado na xícara. Essas dependem da composição química dos grãos, influenciada por fatores genéticos, edafoclimáticos, agrícolas, práticas de colheita e pós-colheita, como métodos de armazenamento, torrefação e extração (FASSIO, *et al.*, 2017; ALVES *et al.*, 2011; BORÉM *et al.*, 2008).

A Associação Brasileira de Cafés Especiais define os cafés considerados especiais como grãos que por sua vez, são isentos de impurezas e de defeitos. Esses grãos possuem atributos sensoriais diferenciados, como bebida limpa e doce, corpo e acidez equilibrados. Além da qualidade intrínseca observada, os cafés especiais devem ter a sua rastreabilidade certificada. Além disso, em todas as etapas de produção devem respeitar os critérios de sustentabilidade ambiental, econômica e social.

Um dos protocolos mais utilizados para avaliação da qualidade do café é o estabelecido pela *Specialty Coffee Association* (SCA). Esse protocolo consiste na avaliação de onze atributos sensoriais: fragrância / aroma, uniformidade, defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, sabor residual, equilíbrio, xícara limpa e geral. Nesse caso, os atributos sensoriais são avaliados para gerar uma “Pontuação Final” para a classificação da bebida (SCA, 2015).

Nos últimos anos, os consumidores de café têm se tornado mais exigentes, levando as empresas beneficiadoras de café a darem preferência a produtos com maior qualidade sensorial, como aroma, sabor, além de grãos que possuem alguma certificação de qualidade. Observa-se que esse comportamento leva muitos produtores a promover melhorias no processo de produção, visando o aumento da qualidade dos grãos. Visando esta qualidade, nas negociações de compra e venda de cafés entre os produtores e as empresas, são usadas as características do grão cru, como peneira, teor de água e prova de xícara (BARBOSA *et al.*, 2019).

Em algumas propriedades, principalmente de pequenos produtores, que geralmente possuem o conhecimento técnico limitado e não dispõem de recursos financeiros adequados para realização de testes de qualidade dos grãos produzidos, muitas vezes esses grãos são comercializados sem a comprovação de qualidade, o que por sua vez pode provocar um grande deságio para o produtor.

Diante disso, portanto, as informações que correlacionam a composição do grão cru com a qualidade do café torrado e a identificação de possíveis marcadores de qualidade são importantes tanto para o produtor, quanto para a indústria. O desenvolvimento deste estudo é importante para o desenvolvimento tecnológico e científico porque há poucos relatos na literatura sobre as características físico-químicas de frutos de café imaturos e a correlação das características físico-químicas de grãos imaturos e cerejas com a qualidade da bebida.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Estudar a correlação entre as características físico-químicas de grãos de café arábica oriundos de frutos imaturos e cerejas com a qualidade sensorial da bebida elaborada a partir desses grãos.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar características físico-químicas dos grãos de café em diferentes estágios de maturação;
- Determinar condutividade elétrica e lixiviação de potássio em grãos de café imaturos e cerejas;
- Avaliar a capacidade antioxidante de grãos de café pelos métodos ABTS e DPPH;
- Determinar o teor de cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos nos grãos de café imaturos e cerejas por cromatografia líquida de alta eficiência;
- Avaliar a qualidade sensorial das bebidas elaboradas com os grãos de café pelo protocolo da *Specialty Coffee Association* – SCA;
- Determinar os coeficientes de correlação de *Pearson* entre os parâmetros físico-químicos e as notas obtidas na avaliação sensorial da bebida dos grãos de café imaturos e cerejas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. O café

O café é uma planta perene de porte arbustivo (Figura 1), pertencente à família *Rubiaceae*, produtora de frutos, tipo baga, contendo, normalmente, duas sementes. As sementes após serem processadas adequadamente, são consumidas na forma de infusão. Esse procedimento, além de apresentar aromas e sabores característicos, faz com que a bebida do café seja nutritiva e estimulante (BORÉM *et al.*, 2008).

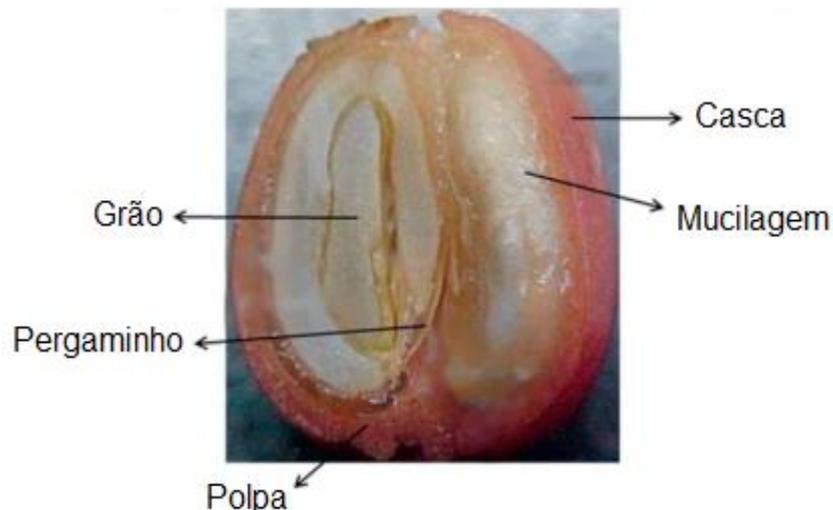
Figura 1 - Planta de *Coffea arabica*.



Fonte: Do autor.

O café tem a sua origem na África, inicialmente encontrada na Etiópia e o seu cultivo neste local permanece até o presente (Pimenta, 2003). O fruto do cafeeiro, pertencente ao gênero *Coffea*, desde a sua formação que ocorre com o vigeamento da flor até a completa maturação, passa por diversas fases, cada uma delas de importância decisiva na obtenção de cerejas sadias e graúdas. Conforme exemplificado na figura 2, o fruto maduro do café (cereja), é composto de fora para dentro, da casca (epicarpo ou exocarpo), a polpa (mesocarpo) e o pergaminho (endocarpo). A semente (endosperma) é contida por sua vez no pergaminho e ainda é envolta por uma película prateada (espermoderma), tudo o que se encontra entre a casca e o pergaminho é polpa e, nesse caso, a mucilagem é parte da polpa (MESQUITA *et al.*, 2016).

Figura 2 - Corte longitudinal do fruto de café maduro (cereja).



Fonte: Adaptado de Batista *et al.* (2016).

O café pertence à família *Rubiaceae*, gênero *Coffea*, no qual já se encontram descritas mais de 90 espécies. Destas, cerca de 25 são exploradas comercialmente, sendo que apenas quatro têm importância significativa no mercado mundial: *Coffea arabica*, conhecido como café arábica; *Coffea canephora*, conhecido como café robusta, e em menor volume: *Coffea liberica* e *Coffea dewevrei*, que produzem o café libérica e o café excelsa, respectivamente (SOUZA, *et al.*, 2004). Das espécies exploradas comercialmente, a *Coffea arabica* é mais importante, sendo responsável por três quartos da produção mundial (CID & PEÑA, 2016).

As diferenças entre estas espécies vão desde o número de cromossomos, clima ideal de crescimento, tempo de floração e formação do fruto, tamanho, forma, preço, composição química e características sensoriais (MATIELLO, 1991). O café arábica produz a bebida mais

aromática com acidez perceptível e menos encorpada, além de possuir valor comercial mais elevado; por outro lado, o café robusta produz a bebida que apresenta amargor e o sabor amadeirado, desse modo, ela se caracteriza por sua baixa acidez e por ser mais encorpada (MATULOVÁ *et al.*, 2011). Para Ribeiro (2014), é muito comum as empresas que comercializam os pós de cafés realizarem *blends* entre os cafés arábica e robusta de modo a obterem um produto final. Este processo é valorizado, pois, aproveita o potencial sensorial de cada café com uma gama maior de aromas e sabores.

Segundo a Organização Internacional do Café, a produção mundial de café é de cerca de 165 milhões de sacas, sendo Brasil, Vietnã e Colômbia os maiores produtores mundiais respectivamente (OIC, 2021).

O café arábica é cultivado em altitudes elevadas, produz grãos de qualidade superior e corresponde a aproximadamente, 75% da produção mundial, ocupando 70% do mercado internacional. Esse tipo de café é vendido com preços que superam de 2 a 3 vezes o do café robusta, devido ao seu sabor diferenciado e a melhor qualidade da bebida (CARVALHO *et al.*, 2018). Contudo, o café robusta, apesar de menos valorizado no mercado, é utilizado no processo de fabricação de café solúvel, sendo este de consumo elevado, especialmente no mercado europeu e norte-americano (ILLY *et al.*, 1996).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, em 2021 o café brasileiro, que se destaca por sua qualidade superior, foi exportado para diversos países. Ainda, segundo a CONAB, no período de janeiro a novembro de 2021, o Brasil exportou café para 148 países, sendo os Estados Unidos e Alemanha os principais destinos, com participações respectivas de 19,8% e 17,3%, seguidos por Itália (7,1%), Bélgica (7%) e Japão (6,5%).

Na maior parte do território do estado de Minas Gerais é cultivado café arábica, em locais com altitude mais elevada, entre 400 e 1000 m. Ele possui aromas intensos e vários sabores com variações de corpo e acidez, podendo apresentar diversas tonalidades de cor verde, sendo este considerado o café de melhor qualidade, o mais fino e requintado (BLYENY, 2004).

Segundo Batista *et al.* (2016), na espécie arábica, existem diversas variedades de cultivares diferentes que por isso, podemos dizer, se diferenciam pela produtividade, qualidade, arborização, resistência a doenças, etc.

Da espécie *Coffea arabica*, as cultivares Catuaí e Mundo Novo são as mais difundidas, no Brasil. Elas são bastante apropriadas para regiões de maior altitude e de clima ameno. Entretanto, também podem se desenvolver e produzir bem nas condições de altitudes mais baixas e de clima tropical quente, desde que se observe o adequado suprimento hídrico (MATIELLO *et al.*, 2002).

De acordo com Souza *et al.* (2004), a cultivar Catuaí é resultante do cruzamento artificial de cafeeiros selecionados de Caturra Amarelo, de porte baixo, e Mundo Novo. A planta é bastante rústica e produtiva, geralmente cultivada a livre crescimento. Apresenta um porte baixo em função dos internódios curtos, com boa facilidade de manejo. Além disso, apresenta maior susceptibilidade à ferrugem do cafeeiro e a planta fica mais depauperada após alta produção e quando sofre efeito de estresse hídrico ou de deficiência nutricional. A maturação coincide com a época chuvosa, sendo, porém, mais tardia e mais desuniforme do que a cultivar Mundo Novo.

Já a cultivar Mundo Novo se originou do cruzamento natural entre as variedades Sumatra e Bourbon Vermelho. Possui boa adaptação às regiões altas, apresenta elevada rusticidade, vigor e produtividade. Apresenta grande crescimento vertical, exigindo espaçamentos maiores do que a cultivar Catuaí, e controle através da poda. É susceptível à ferrugem do cafeeiro e apresenta maturação mais precoce e uniforme, existindo linhagens de Mundo Novo que produzem frutos maiores que os do Catuaí.

A cultivar Oeiras surgiu do cruzamento do Caturra Vermelho com o Híbrido de Timor, geração F6. É uma planta resistente à ferrugem, muito cultivada na região do Sul de Minas e que apresenta produtividade média semelhante à do Catuaí. Possui porte baixo e copa cônica, com altura e diâmetro de copa ligeiramente inferiores quando comparadas ao Catuaí. Apresenta alto vigor vegetativo, com as folhas novas de coloração bronze e maturação uniforme. Possui frutos maduros e vermelhos e a qualidade sensorial da bebida também é bem semelhante à do Catuaí (EPAMIG, 1999).

3.2. Colheita e processamento do café

No Brasil é realizada uma colheita única do café, obtendo grãos originados de diferentes floradas. Os estádios de maturação do café são identificados como verdes, verde cana ou verdoengo, cereja, passa e boia. A proporção desses frutos varia durante toda a colheita, com maiores quantidades de cerejas e de verdes no início e maiores quantidades de frutos passa e flutua no final da colheita (MESQUITA *et al.*, 2016). Na Figura 3 podemos observar os diferentes estágios de maturação dos frutos de café.

Figura 3 - Diferentes estágios de maturação dos frutos de café.



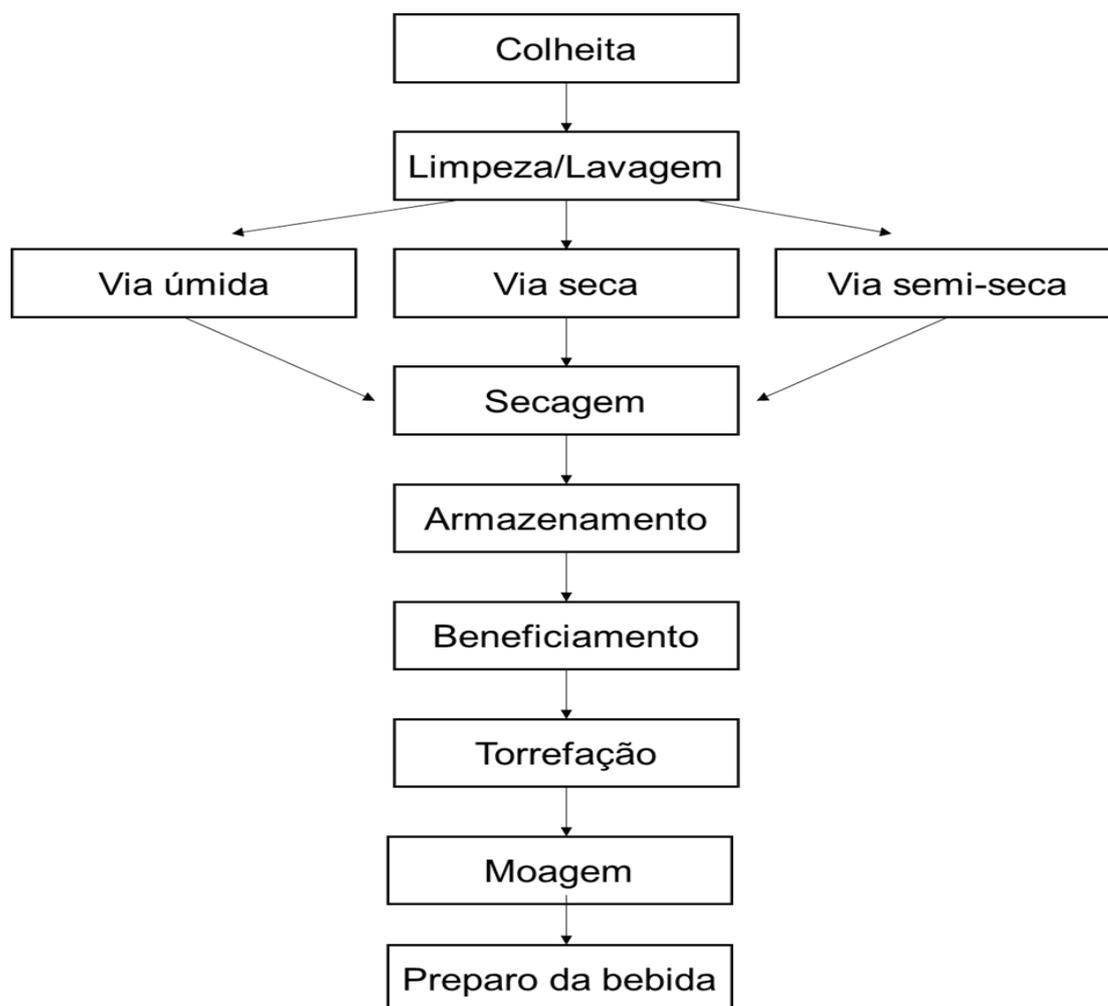
Fonte: Compilação de RASTRO RURAL (2019).

O estágio com maiores concentrações de frutos cerejas é considerado o ideal para ser colhido, pois, a maioria dos frutos já atingiu seu estágio de maturação fisiológica, estando no seu ponto ótimo e fornecendo seu potencial máximo de qualidade (BARTHOLLO & GUIMARÃES, 1997).

Segundo Alves *et al.* (2015), a colheita do café pode ser realizada de três formas diferentes, a manual e a semi-mecanizada. A colheita manual é realizada por meio da coleta seletiva dos frutos maduros ou da derrubada total dos frutos (todos os estádios de maturação), ambas podem ser realizadas sobre o pano de colheita ou peneira. Já a colheita semi-mecanizada utiliza mecanismos derriçadores portáteis ou tracionados, que não utiliza recolhedores e a colheita mecanizada que é realizada por meio de máquinas colhedoras completas automotrizes ou tracionadas por trator.

Depois da colheita, o café passa por uma limpeza, que pode ser manual ou mecânica. Esse processo visa separar as impurezas presentes no café colhido, como folhas e galhos, e auxilia a operação de lavagem (ALVES *et al.*, 2015). A lavagem tem por finalidade eliminar o restante das impurezas e a separação pela utilização da água, por diferença de peso, dos frutos verdes, verde-cana e maduros, ou seja, a separação dos mais pesados (cerejas) e dos boias constituídos por frutos mais leves, como os maus granados, brocados, passas e secos. A separação é fundamental para a secagem do café em lotes distintos (MESQUITA *et al.*, 2016). Para ilustrar as etapas do processamento do café, vejamos abaixo a Figura 4.

Figura 4 - Etapas envolvidas no processo produtivo de café.



Fonte: Do autor.

No Brasil três métodos de processamento são utilizados para o café: seco, semi-seco e úmido (PINTO, 2002; ESQUIVEL & JIMENEZ, 2012; PIMENTA, 2003). O método de secagem predominante é o método via seca, onde os frutos são submetidos à secagem em sua forma integral, em terreiros, estufas ou secadores mecânicos, imediatamente após a colheita, produzindo-se o café seco em coco ou café natural, sendo este o modo mais antigo e mais simples de processar o café. (BORÉM *et al.*, 2008; MALTA & CHAGAS, 2009). No Brasil, cerca de 90% do café produzido é processado pelo método via seca (BATISTA *et al.*, 2016).

No processamento por via semi-seca, comumente conhecido como natural despulpado, os frutos maduros, previamente separados, passam pelo processo de despulpamento, onde uma parte da mucilagem (ou maior parte dela) é removida de forma mecânica. Os grãos são submetidos à secagem ao ar livre, em terreiros ou leitos suspensos, que pode demandar de 10 a

15 dias, dependendo das condições climáticas. O processo é considerado completo quando a teor de água dos grãos está entre 10 e 12% (BRANDO & BRANDO, 2014; FREITAS, 2018).

Já no processamento via úmida, os frutos são submetidos ao despulpamento e desmucilagem dos frutos com o uso de fermentação, enzimas comerciais ou substâncias químicas para retirada da mucilagem aderida ao grão. Após a desmucilagem, ocorre uma lavagem novamente para remoção do restante da mucilagem e os frutos são submetidos à secagem ao ar livre em terreiros ou leitos suspensos, ou em secadores mecânicos até atingirem teor de água entre 10 e 12% (BORÉM *et al.*, 2006; FREITAS, 2018).

A secagem constitui uma etapa fundamental do processamento do café, sendo fundamental para manter a qualidade do produto. Desse modo, a forma de processamento e secagem após colheita dos grãos de café tem importante impacto nas características sensoriais da bebida (ESQUIVEL & JIMENEZ, 2012; PIMENTA, 2003).

Borém *et al.* (2008) avaliou as alterações na estrutura do endosperma de grãos de café submetidos a diferentes temperaturas de secagem (40°C 50°C e 60°C), os autores observaram que nos grãos secos a 40°C, a integridade celular foi mantida, e que no endosperma de grãos secos a 60°C observou-se a fusão dos corpos lipídicos, com formação de grandes gotas no espaço intercelular, indicando a ruptura da membrana celular.

Os cafés descascados, despulpados e desmucilados geralmente apresentam características superiores de bebida em relação ao café natural, visto que, no processamento por via úmida ocorre a remoção da mucilagem, porção do fruto que pode favorecer o desenvolvimento de fermentações microbianas (BORÉM *et al.*, 2008).

Após a secagem, o café produzido pode ser armazenado tanto na propriedade quanto em armazém especializado. Na propriedade deve ser armazenado preferencialmente café não beneficiado, por motivos de segurança e manutenção da qualidade, o café em coco tem a qualidade mais bem preservada do que o descascado. Diante disso, antes de serem torrados, os grãos passam por um processo de beneficiamento onde são retirados a casca e o pergaminho (MESQUITA *et al.*, 2016).

Uma das etapas mais importantes para o desenvolvimento do sabor e qualidade do café é a de torrefação. Nesse sentido, o sabor característico do café é conferido por compostos voláteis e não voláteis, presentes nos grãos antes ou após a torrefação. Durante esse processo, os grãos sofrem reações químicas importantes, necessárias à formação da qualidade sensorial, assim como ocorrem mudanças físicas que podem variar de uma espécie a outra, e também entre cultivares, devido a outros fatores, como, por exemplo, o grau de torrefação (LOPES, 2000; BARBOSA, 2002).

Durante a torrefação, ocorrem reações químicas, tais como reação de Maillard, caramelização e pirólise, precursores de compostos de sabor e aroma. De acordo com Oestreich-Janzen (2013), essas reações geram compostos essenciais para o sabor e aroma do café. O escurecimento dos grãos neste processo deve-se principalmente à geração de melanoidinas, produtos da reação de Maillard e aos produtos da reação de caramelização (POISSON *et al.*, 2017).

Após a torrefação, os grãos podem ser diretamente comercializados como grãos de café torrados ou podem ser submetidos ao processo de moagem, sendo esse produto moído comercializado como pó de café torrado.

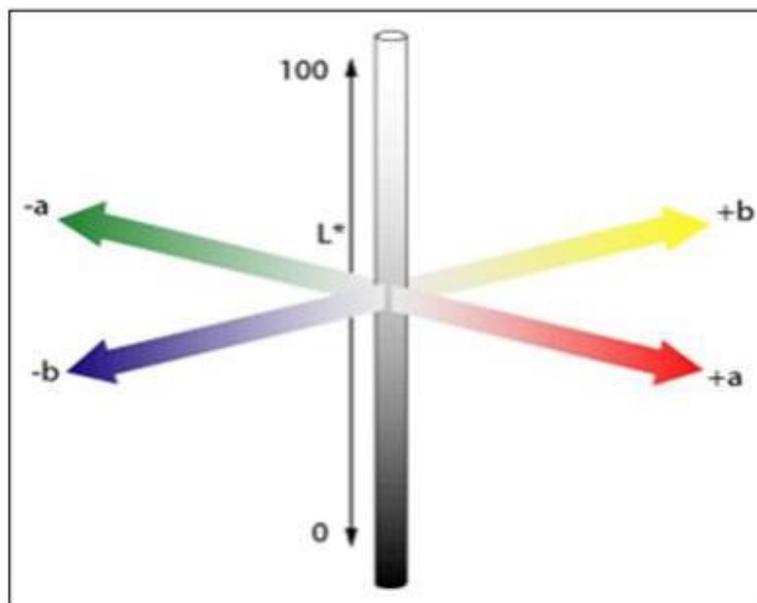
O preparo da bebida pode ser realizado de diversas formas, classificadas em três tipos: infusão, decocção e pressão. Na infusão, é concomitantemente feita a filtração, nesse caso, a água em alta temperatura entra em contato com o pó extraindo as substâncias para o recipiente. A infusão é o tipo de preparo mais utilizado no Brasil. Na decocção, a água é fervida com o pó, e geralmente não ocorre a filtração, somente a decantação do pó antes do consumo. Por fim, na extração por pressão, a bebida é preparada em máquinas de café expresso ou por meio de prensa francesa (LIMA *et al.*, 2010).

3.3. Parâmetros físico-químicos do café

Os parâmetros físico-químicos são responsáveis pela aparência do grão cru e do grão moído após a torrefação e pelo sabor e aroma característicos da bebida após a sua preparação. A variação de cor nos grãos de café verde é um indício de eventuais transformações bioquímicas e enzimáticas naturais e de processos oxidativos que poderão modificar a composição dos precursores responsáveis pelo aroma e sabor do café, resultando na diminuição da qualidade da bebida (BORÉM *et al.*, 2013).

Um sistema utilizado na caracterização física de grãos de café é através do sistema CIELab, utilizado para interpretação e padronização de cor medida de forma instrumental, por meio do conceito dos eixos tridimensionais L^* , a^* e b^* (NOBRE, 2005). Conforme representado na figura 5, o parâmetro L^* indica luminosidade que diminui com o aumento de cores escuras, já os parâmetros a^* e b^* (coordenadas de cromaticidade) indicam as direções das cores, onde $+a^*$ indica cor vermelha, $-a^*$ verde, $+b^*$ amarela e $-b^*$ azul (GUTKOSKI *et al.*, 2008).

Figura 5 - Sistema de coordenadas CIELab.



Fonte: Ferreira & Spricigo, (2017).

A cor dos grãos de café é um importante indicativo da qualidade do produto, além de ter grande importância para a aceitação do grão. A cor é o principal fator de modificação dos grãos de café após a torrefação, ocorrendo o escurecimento devido à formação de melanoidinas. Além disso, a secagem altera a cor dos grãos de café, especialmente nos secadores mecânicos. A secagem dos frutos em terreiros, em virtude de utilizar temperaturas ambientes alteram em menor intensidade as características da cor dos grãos, quando comparado à cor de cafés secos em secadores artificiais. (AFONSO JÚNIOR, 2003).

A variação de cor em grãos de café cru é um forte indício da ocorrência de processos oxidativos e transformações bioquímicas enzimáticas naturais que irão alterar a composição dos precursores responsáveis pelo sabor e aroma dos grãos, resultando em redução da qualidade da bebida (AFONSO JÚNIOR, 2003; RIBEIRO *et al.*, 2011).

Dentre os constituintes químicos significativos presentes no café, se destacam os compostos voláteis, compostos fenólicos (ácidos clorogênicos), ácidos graxos, proteínas, açúcares. Entretanto, há outros parâmetros físico-químicos significativos, como a cor, condutividade elétrica e degradação de parede celular dos grãos com consequentes alterações em seus constituintes químicos e bioquímicos como algumas enzimas, cuja presença, teores e atividade conferem ao café um sabor e aroma peculiares (PIMENTA, 2008). Na Tabela 1 está descrito os parâmetros físico-químicos e a composição química dos grãos de café arábica cru conforme encontrados na literatura.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos de grãos cereja cru de *Coffea arabica* encontrados na literatura.

Parâmetro	Teor	Fonte
Teor de água (%)	10 a 13	Silva <i>et al.</i> (2001)
pH	5,3 a 6,52	Martinez <i>et al.</i> (2013)
Acidez total titulável ¹	171,33 a 216,67	Borém <i>et al.</i> (2008)
Sólidos solúveis (%)	26,84	Ribeiro <i>et al.</i> (2014)
Açúcares totais (%)	3,43 a 8,24	Agnoletti <i>et al.</i> (2019)
Açúcares redutores (%)	0,21 a 0,31	Caixeta <i>et al.</i> (2013)
Açúcares não redutores (%)	3,24 a 8,08	Agnoletti <i>et al.</i> (2019)
Proteínas (%)	13 a 17	Taveira <i>et al.</i> (2013)
Fenólicos totais (%)	3,16 a 5,42	Agnoletti <i>et al.</i> (2019)
Cafeína (%)	0,96 a 1,26	Farah <i>et al.</i> (2006)
Ácidos clorogênicos (%)	3,18 a 3,98	Farah <i>et al.</i> (2006)
Trigonelina (%)	1,13 a 1,37	Arruda <i>et al.</i> (2012)
ABTS (g Trolox.100g ⁻¹ café cru)	3,77 a 5,35	Costa (2015)
DPPH (g Trolox.100g ⁻¹ café cru)	2,06 a 7,42	Costa (2015)
Condutividade elétrica ²	56,68 a 86,28	Partelli <i>et al.</i> (2014)
Potássio lixiviado (ppm)	32,07 a 69,0	Nobre <i>et al.</i> (2011)

¹ mL NaOH 0,1 N.100g⁻¹ café cru;

² μS.cm⁻¹.g⁻¹ café cru;

Os frutos do café, logo após a colheita, apresentam teor de água variando entre 30% a 65% b. u. O alto teor de água é um fator crítico que influencia na qualidade do café, pois, pode facilitar a atividade de micro-organismos e enzimas, afetando a preservação do produto e alterando suas características sensoriais, como aroma e sabor. Portanto, o café é necessariamente seco, antes de ser armazenado (BORÉM *et al.*, 2008; MORGANO *et al.*, 2008; AGNOLETTI *et al.*, 2019).

Após o processo de secagem dos frutos, o grão de café pode apresentar teor de água próxima de 10 a 13% de teor de água (CLARKE & MACRAE, 1985). A legislação brasileira estipula que os teores de água do grão de café cru beneficiado, não pode exceder o limite máximo de tolerância de 12,5% (BRASIL, 2003). Já para o café torrado e moído, a legislação brasileira determina como limite máximo permitido, o valor de 5,0% de teor de água (BRASIL, 2005).

A acidez percebida no café é um atributo importante para qualidade sensorial do produto, e sua intensidade varia em função do estado de maturação dos frutos, local de origem, tipo de colheita, forma de processamento, tipo de secagem e condições climáticas durante a colheita e a secagem (SIQUEIRA & ABREU, 2006).

De acordo com Sivetz & Desrosier (1979), o café palatável, sem excesso de amargor ou acidez, deve apresentar valores de pH próximos a 5,0. No estudo de Barbosa *et al.* (2019), foram encontrados valores de acidez de grãos de café cru variando de 299,77 a 325,48 mL.NaOH 0,1 mol.L⁻¹.100 g⁻¹ de grãos crus, reportando uma correlação negativa entre altos teores de acidez com as notas finais de avaliação sensorial da bebida desses cafés.

Maiores quantidades de sólidos solúveis são desejáveis no café, esses sólidos contribuem para o rendimento industrial, além de garantir uma bebida encorpada. O uso de grãos que apresentam uma proporção maior de sólidos solúveis leva a obtenção de bebidas de alta qualidade (BORÉM *et al.*, 2008).

Os açúcares totais do café são constituídos pelos açúcares redutores, como glicose e frutose e os açúcares não redutores, representados pela sacarose (PEREIRA *et al.*, 2008). Os açúcares atuam como precursores do sabor e aroma característicos da bebida, dando origem a várias substâncias (furanos, aldeídos, ácidos carboxílicos, etc.) que influenciam na qualidade do produto final, além dos açúcares terem grande importância na formação de cor durante a torra, onde os açúcares redutores, principalmente, reagem com aminoácidos, na reação de Maillard, originando compostos como as melanoidinas, responsáveis pela cor marrom do café. (FERNANDES *et al.*, 2003; FARAH *et al.*, 2006).

Avaliando o teor de açúcares totais em grãos de café arábica cru, classificados conforme a bebida em estritamente mole, mole e apenas mole, Pinto (2002), encontrou teores de açúcares totais iguais a 8,37%; 8,62% e 8,34%, respectivamente, observando um maior conteúdo de açúcares em bebidas de melhor qualidade.

Torres (2014), estudando a qualidade de cafés arábica, observou uma variação significativa nos teores de açúcares totais nos grãos crus da região Sul de Minas Gerais, sendo que o café estritamente mole apresentou o maior teor de açúcares, seguido do café mole e do apenas mole. Já os cafés duro, rio e riado não diferiram entre si. Já nos cafés do Cerrado de Minas, os cafés estritamente mole e mole apresentaram os maiores valores de açúcares totais, não diferindo entre si, seguidos pelos cafés apenas mole, duro, rio e riado que apresentaram diferenças significativas entre si.

Em outro estudo, Agnoletti *et al.* (2019), em avaliação de conteúdo de açúcares em café arábica cru, encontrou teores de açúcares totais de 3,43% a 8,24%, e teores de açúcares não

redutores, variando de 3,24% a 8,08%, em todas as amostras foram verificados baixos níveis de açúcares redutores, observando que os teores de açúcares totais dos grãos eram compostos quase a totalidade por açúcares não redutores e que os teores de açúcares apresentam grande variabilidade entre as amostras.

Os grãos de café cru contêm quantidades de proteínas que variam 8,7 a 16% (FERNANDES, *et al.*, 2003). Devido às altas temperaturas durante o processo de torrefação, a perda de proteínas durante esse processo pode ser de 20 a 40% (HOFFMANN, 2001). Entretanto, as proteínas participam na formação do aroma e sabor característico do café e, com a torrefação, estas se desnaturam em temperaturas inferiores à da pirólise, ocorrendo a hidrólise das ligações peptídicas das moléculas protéicas com liberação de aminas e carboxilas (SIVETZ & DESROSIER, 1979).

Os compostos fenólicos, principalmente o ácido clorogênico, são encontrados em altos teores nos frutos de café, eles por sua vez são aqueles que exercem ação protetora e antioxidante sobre os aldeídos. Em condições adversas, como colheita inadequada, problemas no processamento ou armazenamento, as enzimas polifenoloxidasas atuam degradando os polifenóis, diminuindo suas ações nos aldeídos, interferindo no sabor e aroma do café após a torrefação. Os ácidos clorogênicos sofrem intensa degradação térmica durante o processamento do grão, originando uma série de componentes voláteis de baixo massa molecular, que apresentam variadas características sensoriais, como odores de matéria queimada, especiarias, cravo, fumo, além da sensação de amargor e adstringência (TOCCI *et al.*, 2006; VIGNOLI *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2018).

No estudo de Agnoletti (2015), pode se verificar que ao avaliar os teores de compostos fenólicos totais em grãos de café arábica cru, foram encontrados teores de fenólicos totais variando de 3,16% a 5,42%, com ligeira redução nesses teores com o processo de torrefação dos grãos. Os compostos fenólicos, além de serem atribuídos como contribuintes do sabor e aroma característico da bebida do café, são conhecidos em razão das propriedades fisiológicas e farmacológicas que conferem à saúde humana, como a atividade antioxidante. Os compostos antioxidantes são substâncias que, presente em baixas concentrações quando comparado ao substrato oxidável, inibe a degradação oxidativa desse substrato. (ABRAHÃO *et al.*, 2012). Essa atividade antioxidante dos compostos fenólicos do café deve-se principalmente, às suas propriedades redutoras e também à estrutura química.

A atividade antioxidante desempenha um papel importante na neutralização de radicais livres e quelação de metais de transição, agindo tanto na etapa de iniciação quanto na propagação do processo oxidativo. Os compostos intermediários formados pela ação

de antioxidantes fenólicos são relativamente estáveis, em razão da ressonância do anel aromático presente na estrutura dessas substâncias (ABRAHÃO *et al.*, 2010; FARAH & DONANGELO, 2006; SOUZA *et al.*, 2007).

O ácido clorogênico é um dos principais compostos fenólicos do grão de café, além de uma família de compostos de ésteres, formados principalmente pelo ácido quínico com os ácidos cafeico, ferúlico ou cumárico. Os grãos de café cru contêm os seguintes grupos: três monoésteres de ácido cafeico (ácidos cafeoilquínicos); três monoésteres do ácido cumárico (ácidos cumaroilquínicos); três monoésteres do ácido ferúlico (ácidos feruloilquínicos); três diésteres de ácido cafeico (ácidos de cafeoilquínicos), e seis diésteres de ácido cafeico e ferúlico (ácidos dicafeoilferuloilquínicos) (CLIFFORD, 2012). Os ácidos clorogênicos presentes nos grãos de café cru, podem alcançar teores de até 14% (em base seca), estes compostos apresentam diversas propriedades benéficas à saúde, não só devido à sua atividade antioxidante, tendo atividade também como hepatoprotetores, hipoglicemiantes e antivirais (FARAH *et al.* 2006; AGNOLETTI, 2015).

A cafeína é um alcalóide, pertencente à classe das xantinas, conhecida como 1,3,7-trimetilxantina, é inodora e possui sabor amargo bastante característico, que contribui com amargor, sendo de extrema importância para o sabor e aroma da bebida do café, além de ser relativamente estável ao processo térmico.

A cafeína é muito estudada devido às suas propriedades fisiológicas e farmacológicas comprovadas, além de seu efeito estimulante do sistema nervoso central, da diminuição do sono e estimulante muscular (MONTEIRO & TRUGO, 2005). Um estudo avaliou as características sensoriais e químicas de café especiais de Minas Gerais, encontrando teores de cafeína de 1,27% a 1,47% em grãos de café arábica, além de verificar uma correlação significativa entre o teor de cafeína e características sensoriais, como sabor e aroma da bebida (FASSIO, 2017).

A trigonelina é um composto nitrogenado, denominado N-metil betaína. Esse composto é encontrado em maiores quantidades no café cru, e em grãos de café arábica (cerca de 3,3%) (MONTEIRO & TRUGO, 2005; VIGNOLI *et al.*, 2014). A trigonelina é degradada durante o processo de torrefação, com diminuição no teor de trigonelina de até 70%, mas, por outro lado, os produtos voláteis gerados durante a degradação da trigonelina, como as piridinas e o N-metilpirrol, contribuem significativamente para o sabor e aroma do grão torrado e da bebida (NASCIMENTO, 2006).

O teste de condutividade elétrica é muito utilizado para estudar a qualidade de grãos de café. O teste de condutividade elétrica utiliza o princípio de que a degeneração das membranas celulares e a subsequente perda do controle de permeabilidade sejam os primeiros eventos que

caracterizam a deterioração de sementes e grãos, enquanto a lixiviação de potássio avalia o principal íon lixiviado, que por sua vez influencia na medida da condutividade elétrica, tem sido reportado como o íon potássio, presente na membrana do grão de café. Assim, quanto maior a injúria sofrida pelo grão, uma maior quantidade de íons potássio são translocados para o meio líquido (PRETE, 1992; CARVALHO JÚNIOR, 2002; CHAGAS *et al.*, 2005).

Em seu estudo, Prete (1992), verificou uma relação inversa entre a qualidade da bebida e a condutividade elétrica e a lixiviação de potássio de exsudatos de grãos crus, esse fato foi confirmado por Goulart *et al.* (2007), que estudando a análise de fotomicrografias de cortes do endosperma de grãos de café classificados como bebida mole, dura e rio com a condutividade elétrica, observou que grãos de pior qualidade apresentam maior condutividade elétrica e menor estruturação e organização celular, concluindo que a condutividade elétrica realmente pode ser relacionada com a qualidade da bebida.

A composição química de grãos de café proveniente de frutos imaturos e frutos cereja diferem. O café proveniente de frutos imaturos, apresenta menores teores de açúcares, maior teor de ácidos clorogênicos e maior acidez, que são componentes associados a uma menor qualidade sensorial do café, principalmente devido ao alto teor de ácidos clorogênicos, que conferem adstringência indesejável na bebida (NOBRE *et al.*, 2011; PIMENTA *et al.*, 2000; CLIFFORD & KAZI, 1987).

Contudo, Pimenta *et al.* (2000) avaliou a composição química de grãos de cafés crus colhidos em diferentes estádios de maturação, observando que os frutos colhidos no estágio de maturação cereja apresentaram maiores teores de açúcares totais, de açúcares redutores e não redutores, de sólidos solúveis totais, e maior peso dos grãos, ao contrário dos grãos provenientes de frutos imaturos, que apresentaram elevados teores de compostos fenólicos.

3.4. Qualidade da bebida do café

A composição físico-química do café está relacionada com a qualidade final da bebida, sendo responsável por suas características sensoriais. Geralmente, a qualidade do café é avaliada através da análise sensorial, porém, as análises físico-químicas também podem ser utilizadas para auxiliar na avaliação da qualidade (BORÉM *et al.*, 2006). Diversos processos que ocorrem antes e após a colheita, como estágio de maturação, secagem, armazenamento e torrefação são responsáveis pela produção ou degradação de diversos compostos, como carboidratos, ácidos, cafeína e lipídios, que agregam características sensoriais a bebida do café (PEREIRA *et al.*, 2019; KITZBERGER *et al.*, 2014).

De acordo com Sarrazin (2000), o sabor e o aroma da bebida café são considerados complexos, resultantes da presença combinada de vários constituintes químicos voláteis e não voláteis, entre eles os ácidos orgânicos, aldeídos, cetonas, açúcares, proteínas, aminoácidos, ácidos graxos, compostos fenólicos, incluindo também a ação de enzimas em alguns destes constituintes, produzindo produtos de reações, dos quais, alguns compostos que interferem no sabor e aroma durante a avaliação sensorial.

Dentre os constituintes que mais se associam com qualidade estão os açúcares totais, açúcares redutores, sacarose, cafeína, compostos fenólicos, sólidos solúveis, lipídios, acidez, pH, entre outros (PIMENTA, 2003; LIMA FILHO, 2013).

De acordo com Agnoletti *et al.* (2019), há uma forte correlação entre a composição química e a qualidade dos grãos de café. Entre os componentes químicos que possuem correlação positiva com a qualidade da bebida, se destacam sacarose, trigonelina e lipídios, presentes em maior quantidade no café arábica em relação ao robusta. Já os ácidos clorogênicos e a cafeína, encontrados em maior concentração no café robusta, possuem correlação negativa com a qualidade da bebida.

Essa correlação entre a composição química e qualidade de bebidas de café também foi observado por Barbosa *et al.* (2019), em que a qualidade das bebidas de café foi associada a um conjunto de compostos químicos dos grãos de café cru. Os baixos índices de qualidade foram correlacionados com altos níveis de cafeína, proteína, ácidos clorogênicos e acidez titulável. Por outro lado, maiores índices de sacarose e diterpenos nos grãos de café cru foram associados a índices de qualidade mais altos para as bebidas de café.

Durante o processo de torrefação, a sacarose, o açúcar mais presentes no grão, é quase completamente degradado. Esse açúcar é usado na reação de Maillard e na degradação de Strecker, produzindo vários compostos voláteis e não voláteis. Entre esses produtos, os ácidos e os aldeídos são os responsáveis pelo aroma, já os açúcares caramelizados são importantes para cor, viscosidade, entre outros atributos (LUDWING *et al.*, 2013; MURKOVIC & DERLER, 2006). Os lipídios contribuem com a formação de aroma e com o corpo da bebida, devido a reações de decomposição e auto-oxidação que também ocorrem durante o processo de torrefação (KOSKEI *et al.*, 2015).

Apesar da composição química influenciar na qualidade da bebida, é importante ressaltar que fatores pós-colheita também interferem nessa qualidade. Para SOUZA (1996), entre os fatores pós-colheita mais significativos para a qualidade do café, destacam-se o processamento e secagem do café, o armazenamento, beneficiamento, torrefação do grão, entre outros fatores.

O tipo de processamento utilizado em frutos colhidos imaturos interfere na sua composição química e conseqüentemente na qualidade da bebida. Borém *et al.* (2006), em um estudo sobre a qualidade de cafés colhidos em estágio de maturação verde e processado por via seca e semi-seca, observou que após os procedimentos de descascamento e secagem, o café verde descascado apresentou qualidade da bebida similar àquela obtida para o café cereja com parte verde processado por via seca, sendo, no entanto, significativamente inferior à qualidade do cereja descascado. Além disso, o café verde processado por via seca apresentou qualidade inferior ao descascado, os autores sugerem que o processo de descascamento evitou a ocorrência de processos fermentativos e favoreceu uma secagem mais uniforme, melhorando a qualidade desse café.

A qualidade do café é avaliada por tipos ou defeitos, entre os itens geralmente avaliados no grão são: peneira, defeitos, aspecto, cor e pela classificação da bebida (prova de xícara), com base na análise sensorial (MARTINEZ *et al.*, 2014), além de outros métodos de análise sensorial. Desse modo, os métodos internacionalmente usados para a avaliação sensorial de cafés são elaborados pela Associação de Cafés Especiais (SCA - *Specialty Coffee Association*) e pela Organização Internacional do Café (ICO – *International Coffee Organization*), que buscam descrever os atributos relacionados com a qualidade da bebida a partir de uma escala de notas e condições de análises padronizadas.

A avaliação da qualidade de bebida de cafés baseada no método de análise descritiva qualitativa da SCA - *Specialty Coffee Association* é muito utilizada para avaliar cafés especiais, onde provadores aptos e devidamente certificados pela SCA avaliam as características particulares dos cafés por meio da degustação e atribuem uma pontuação para os 11 atributos do protocolo da SCA: fragrância / aroma, uniformidade, defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, sabor residual, equilíbrio, xícara limpa e geral. As notas de cada atributo são somadas resultando no “Resultado Total”. A nota atribuída aos defeitos é subtraída do “Resultado Total”, obtendo-se assim o “Resultado Final”. Consoante ao “Resultado Final”, as amostras são classificadas em uma escala de qualidade, conforme detalhado na tabela 2.

Tabela 2. Classificação da bebida do café pelo método SCA.

Pontuação Total	Descrição do Café	Classificação
90 - 100	Excepcional	Especial
85 – 89,99	Excelente	
80 – 84,99	Muito Bom	
< 80,0	Abaixo da qualidade <i>Specialty</i>	Não especial

Fonte: Adaptado de SCA (2015).

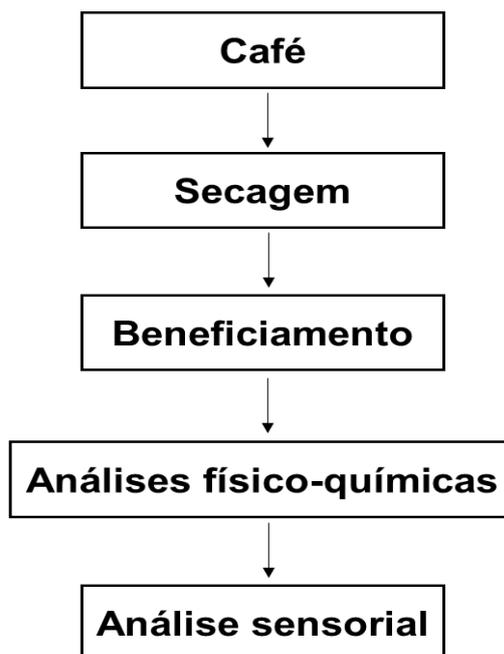
Assim, o café analisado só é considerado Especial quando o seu “Resultado Final” atingir nota mínima de 80 pontos (SCA, 2015; PEREIRA *et al.*, 2019; BARBOSA *et al.*, 2019). Além disso, existe também a classificação da ABIC (Associação Brasileira da Indústria de Café), que utiliza de diretrizes semelhantes, porém, nesse caso, os cafés de melhor qualidade são chamados “gourmet” e a escala de qualidade global varia de 0 a 10, sendo que o “Gourmet” ocorre a partir de 7,3 (ABIC, 2022).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Desenho do projeto

O projeto foi executado por etapas conforme detalhado em fluxograma na figura 6.

Figura 6 - Etapas realizadas na execução do projeto.



Fonte: Do autor.

4.2. Matéria-prima

As amostras de café (*Coffea arabica*) foram oriundas de lavouras localizadas no município de Araçuaia, Estado de Minas Gerais, Brasil, (localização: latitude 20°39'04" S; longitude 42°29'08" W). Foram coletadas amostras de frutos oriundos das cultivares Catuaí e Oeiras. Foram coletados 3 lotes diferentes de amostras (cerca de 3,0 kg de grãos beneficiados de cada lote). Adiante, está detalhado a constituição de cada lote:

O primeiro lote denominado café tipo verde, foi composto de frutos imaturos coletados manualmente de árvores localizadas ao centro das lavouras previamente selecionadas, sendo as árvores localizadas em ambientes que possuíam solos semelhantes, mesma altitude, exposição à radiação solar semelhantes e aplicação de mesmos manejos de lavoura. A coleta foi realizada

cerca de 30 dias antes do ponto de colheita da lavoura. O lote coletado foi submetido a secagem por via seca, com secagem em terreiro por 12 dias até atingirem teor de água de 12%.

O segundo lote denominado café cereja natural, foi composto de frutos maduros “cerejas”, coletados manualmente de árvores localizadas na mesma região de coleta do primeiro lote. Os frutos coletados foram submetidos à secagem em terreiro por 15 dias até atingirem teor de água de 12%.

O terceiro lote foi composto de parte dos frutos do segundo lote, sendo esses frutos submetidos a um processo de remoção mecânica das cascas e um descascador mecânico, e após o descascamento foram submetidos a secagem ao sol por 10 dias até obterem teor de água de 12%, sendo este lote denominado café cereja descascado.

Antes das análises, os grãos secos foram embalados em embalagens plásticas herméticas à vácuo e permaneceram em repouso por 40 dias, para ocorrer a uniformização da umidade dos grãos. Posteriormente, as amostras foram submetidas a beneficiamento para retirada da casca e pergaminho em descascador da marca Pinhalense, modelo 830. Na figura 7 podemos observar as amostras de café cru após o beneficiamento.

Figura 7 – Amostras de café arábica cru utilizadas no estudo.



Fonte: Do autor.

Diante disso, as amostras destinadas às análises físico-químicas foram previamente moídas em um moinho de facas, em granulometria fina (20 mesh), embaladas em embalagens plásticas herméticas e armazenadas a -18 °C por 30 dias até o momento da execução das análises físico-químicas.

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Corante Naturais e Compostos Bioativos (LaCBio) do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa (DTA – UFV), sendo algumas análises realizadas em parte em outros

laboratórios da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

As amostras destinadas à avaliação sensorial, foram acondicionadas em sacos plásticos impermeáveis, seladas e destinadas à empresa responsável pela execução da avaliação sensorial.

4.3. Análises físico-químicas

Todas as análises físico-químicas foram realizadas em todos os lotes, constituídos de grãos de café cru, secos, beneficiados e moídos.

4.3.1. Análises colorimétricas

A análises colorimétricas foram realizadas utilizando-se um colorímetro Hunter Lab., modelo Colorquest XE (Reston, USA), sendo as amostras colocadas em cubeta de vidro de 10 mm. Foi empregado iluminante D65, colocado num ângulo de 10° e observador padrão CIE. Foram obtidos os valores de L* (luminosidade), os componentes cromáticos a* (vermelho-verde) e b* (amarelo-azul), segundo descrito por Schenker *et al.* (2000).

4.3.2. Teor de água

Com relação ao teor de água, foi realizado pelo método padrão de secagem em estufa a 105 °C (AOAC, 2005), em que amostras de 10,0 g foram submetidas à secagem em estufa até peso constante. Os resultados foram expressos em percentagem.

4.3.3. pH e Acidez total titulável

O potencial hidrogeniônico (pH) e a acidez total titulável (ATT) foram determinados utilizando metodologia descrita pela AOAC (2005). O extrato foi obtido a partir de uma amostra de 5,0 g de café moído adicionado de 50,0 mL de água destilada, agitando-se em agitador por 50 minutos e posteriormente filtrado em papel filtro. Em seguida, foi realizada a leitura à temperatura ambiente em pHmetro digital marca *Digimed*, modelo *DM-20*.

A ATT foi determinada a partir do mesmo extrato utilizado na determinação do pH. Uma alíquota de 5,0 mL do extrato foi transferida para um Erlenmeyer, foi adicionado 50 mL

de água destilada, procedendo-se a titulação com solução NaOH 0,1 mol.L⁻¹ até a viragem da cor usando fenolftaleína como indicador, sob temperatura ambiente. A ATT foi expressa com volume de solução meq de NaOH 0,1 mol.L⁻¹ por 100g de amostra. Para os cálculos foram considerados a massa das amostras utilizadas, o volume gasto de NaOH e o fator de correção da solução de NaOH.

4.3.4. Sólidos solúveis totais

Os sólidos solúveis totais (SST) foram determinados segundo a metodologia da AOAC (2005), utilizando o mesmo extrato obtido para a determinação do pH e ATT. Contudo, alíquotas dos extratos foram lidos em refratômetro marca *Leica* modelo AR 200 (Nova York, EUA) e os resultados expressos em °Brix com a leitura corrigida para g/100g de amostra.

4.3.5. Açúcares totais, redutores e não-redutores

Os teores de açúcares totais e redutores foram extraídos pelo método de Lane-Enyon, citado pela AOAC (2005), e determinados pela técnica Somogy, adaptada por Nelson (1994).

A extração foi realizada a partir da diluição de 2,0 g de café moído em 50,0 mL de água destilada, submetida à agitação por 2 horas à temperatura ambiente, posteriormente o extrato foi filtrado e seu volume aferido em balão volumétrico de 50 mL.

A partir desse extrato procedeu-se com a hidrólise ácida da sacarose para determinação de açúcares totais: foram transferidos 5,0 mL do extrato para erlenmeyer de 125 mL, adicionado 0,5 mL de HCl concentrado e 20,0 mL de água. A mistura foi homogeneizada e levada ao banho-maria (100 °C) por 15 minutos. Após o resfriamento, a solução foi neutralizada com 1,5 mL de carbonato de sódio (25%) e o volume completado em balão volumétrico de 50 mL.

Após a extração, as amostras foram desproteinizadas, uma alíquota de 3,0 mL de cada extrato foi transferida para tubos de ensaio separados e adicionados em cada tubo 1,2 mL de hidróxido de bário 0,3 N e 1,2 mL de sulfato de zinco a 5%. As soluções foram homogeneizadas e submetidas à centrifugação a 4.100 rpm por 30 minutos. Os volumes sobrenadantes foram recolhidos e completados em balões volumétricos de 25 mL.

Para a determinação, foram transferidos para tubos de ensaio, uma alíquota de 2,0 mL da solução desproteinizada de açúcares redutores e, para outro tubo, 3,0 mL da solução desproteinizada de açúcares totais. Nos tubos foram adicionados 1,0 mL de solução SN-1 (Reagente de Somogyi-Nelson I), os tubos foram agitados e submetidos a banho-maria (100

°C) por 20 minutos. Após os tubos serem resfriados, foram adicionados 1,0 mL do reagente SN-2 Reagente de Somogyi-Nelson II) e o volume completado em balão de 10 mL.

Por fim, procedeu-se com a medição das soluções obtidas em espectrofotômetro (UV/VIS), a 510 nm, zerando o equipamento com o branco (água em substituição da amostra). Para os cálculos do teor de açúcares totais e redutores nas amostras, foi construído uma curva analítica com concentrações conhecidas de glicose (4,0 a 20,0 mg/L). Os açúcares não redutores foram encontrados pelo cálculo da diferença entre os açúcares totais e redutores. Os resultados foram expressos em porcentagem em base seca.

4.3.6. Proteínas

O teor de proteína foi analisado pela quantificação de nitrogênio total, utilizando método de *Micro-Kjeldahl*, utilizando um fator de 6,25 para converter o nitrogênio quantificado em proteína bruta, segundo normas da AOAC (2005).

Na etapa de digestão, 0,5 g de cada amostra foi transferida para tubos de *Kjeldahl*, adicionados de 2,5 g de mistura catalítica e 7 mL de ácido sulfúrico. A mistura foi aquecida em bloco digestor, a princípio lentamente, mantendo a temperatura de 100 °C por 30 minutos. Em seguida, a temperatura foi elevada gradativamente até atingir 300 °C. A digestão ocorreu até o líquido se tornar límpido e transparente, de tonalidade azul esverdeada, a mistura foi retirada do aquecimento e resfriada até temperatura ambiente.

Na etapa de destilação, os tubos de *Kjeldahl* foram acoplados ao destilador de nitrogênio e adicionado uma solução de hidróxido de sódio 50% até obter uma solução de cor negra (cerca de 25,0 a 30,0 mL), sendo o destilado recolhido em erlenmeyer contendo 25,0 mL de solução de ácido bórico a 4% e 3 gotas de solução indicadora de Tashiro. Na destilação foi recolhido cerca de 100,0 mL de cada solução, mantida fria durante a destilação.

Por fim, foi realizada a titulação da solução coletada com solução padrão de ácido clorídrico 0,1 N até a viragem do indicador. Após os cálculos de teor de nitrogênio total, o teor de proteína bruta foi quantificado multiplicando-se o teor de nitrogênio pelo fator 6,25.

4.3.7. Compostos fenólicos totais

Para a determinação do teor de compostos fenólicos totais foi utilizado o método de *Folin-Ciocalteu*, com a metodologia adaptada de Singleton *et al.* (1999). A obtenção do extrato fenólico foi obtida com base em metodologia adaptada de Hecimovic *et al.* (2011).

Foram utilizados 2,0 g das amostras de cafés moídos em erlenmeyer contendo 50,0 mL de água, levados ao banho-maria a 90 °C por 10 minutos. O extrato obtido foi centrifugado a 4.000 rpm por 20 minutos, o sobrenadante foi recolhido e seu volume completado em balão de 50,0 mL.

Em seguida, uma alíquota de 1,0 mL do extrato foi diluída em balão de 5,0 mL. Desta solução, foi retirada uma alíquota de 0,6 mL que foi transferida para um tubo de ensaio. Nos tubos, foram adicionados 3,0 mL de uma solução aquosa do reativo de Folin-Ciocalteu a 10% e após um repouso de 3 minutos foi adicionado 2,5 mL de uma solução aquosa de carbonato de sódio a 7,5%. A mistura foi agitada e mantida ao abrigo da luz por 1 hora. A quantificação foi realizada por leitura em espectrofotômetro UV-Visível (UV - M51 marca *Bel Photonics*) a 760 nm contra um branco contendo os reagentes e água em substituição da amostra. Foi preparada uma curva de calibração com soluções aquosas de ácido gálico (25,0 a 200,0 mg/L). Os resultados foram expressos em g equivalentes de ácido gálico por 100 g de amostra de café.

4.3.8. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica dos grãos de café foi determinada conforme a metodologia proposta por Malta *et al.* (2005). Foram utilizados 50 grãos de cada amostra, os quais foram pesados em balança analítica e imersos em 75 mL de água deionizada no interior de copos plásticos de 180 mL de capacidade. Desse modo, os recipientes permaneceram em repouso em câmara BOD a 25 °C, por cinco horas, procedendo-se à leitura da condutividade elétrica da solução de embebição, em condutivímetro de bancada (marca *Digimed*, modelo DM-32). Com os dados obtidos, foi calculada a condutividade elétrica, expressando-se o resultado em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de grãos.

4.3.9. Lixiviação de potássio

A determinação da lixiviação de potássio dos grãos foi realizada de acordo com metodologia proposta por Prete *et al.* (1992). A determinação foi realizada a partir da leitura de potássio da solução de embebição obtida na determinação da condutividade elétrica. Por fim, após a finalização da leitura da condutividade elétrica, foi retirada uma alíquota das soluções, diluídas em água deionizada até atingirem concentrações de potássio que pudessem ser lidas no equipamento fotômetro de chama (marca *Analyser*, modelo 910M), previamente calibrado. Com os dados obtidos foi calculado o teor lixiviado de potássio, com os resultados expressos em ppm.

4.3.10. Capacidade Antioxidante – Ensaio ABTS

A determinação da capacidade antioxidante pelo método do radical ABTS (2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato) foi realizada segundo metodologia de Re *et al.* (1999), com modificações. O radical ABTS foi preparado misturando quantidades iguais de soluções aquosas de ABTS (7,0 mM) e persulfato de potássio (2,45 mM). O radical ABTS foi diluído com etanol 80% até obter absorvância de 0.700 +/- 0,05 a 734 nm em espectrofotômetro UV-Visível (UV - M51 marca *Bel Photonics*).

Para a determinação da capacidade antioxidante das amostras, foi utilizado o mesmo extrato obtido na determinação de compostos fenólicos, o extrato foi diluído em etanol 80%. Para a reação, uma alíquota de 0,5 mL de cada diluição do extrato foi adicionada de 3,5 mL da solução do radical ABTS, e após 6 minutos de reação, foi realizado a leitura em espectrofotômetro a 734 nm.

O padrão utilizado foi o Trolox e para isso foi construído uma curva padrão de Trolox diluído em etanol 80% nas concentrações de 0 a 150,0 µM. A reação entre o padrão e o radical foi realizada nas mesmas condições das amostras. Os resultados obtidos foram expressos como capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC).

4.3.11. Capacidade Antioxidante – Ensaio DPPH

A determinação da capacidade antioxidante pelo ensaio DPPH (2,2-difenil-1-picril hidrazina) foi realizada segundo metodologia descrita Kim *et al.* (2002), com modificações. Para o ensaio foi utilizado uma solução do radical DPPH 0,1 mM.

Para a determinação da capacidade antioxidante das amostras, foi utilizado o mesmo extrato obtido na determinação de compostos fenólicos, o extrato foi diluído em etanol 80%. Na reação, uma alíquota de 0,5 mL de cada diluição do extrato foi adicionada de 3,5 mL da solução do radical DPPH, e após 1 hora de reação ao abrigo da luz, foi realizado a leitura da absorvância das soluções em espectrofotômetro UV-Visível (UV - M51 marca *Bel Photonics*) a 517 nm.

Foi utilizado o Trolox como padrão e para isso foi construído uma curva padrão de Trolox diluído em etanol 80% nas concentrações de 25,0 a 250,0 µM. A reação entre o padrão e o radical foi realizada nas mesmas condições das amostras. Os resultados obtidos foram

calculados a partir das curvas de amostras e da curva padrão, expressos como capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC).

4.3.12. Ácido clorogênico, cafeína e trigonelina

Os teores de ácido clorogênico (ácido 5-cafeoilquínico), cafeína (1,2,7-trimetilxantina) e trigonelina (cloridrato de 1-metilpiridínio-3-carboxilato) foram determinados simultaneamente nas amostras de café cru por técnica de separação por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), segundo metodologia adaptada de Vignoli *et al.* (2014).

A obtenção dos extratos foi realizada segundo metodologia adaptada de Malta & Chagas (2009). A extração foi realizada com diluição de 0,25 g da amostra em 25,0 mL de água Milli-Q, colocando-se em banho-maria em ebulição por 3 minutos. Posteriormente o extrato foi centrifugado a 4.100 rpm por 30 minutos, o sobrenadante foi recolhido em balão de 25,0 mL e seu volume aferido. Sendo assim, as alíquotas do extrato foram submetidas a filtração utilizando uma seringa contendo um filtro com membrana de 0,45 µm e o filtrado armazenado em vials.

As análises foram realizadas em um sistema *Thermo Scientific Accela LC* (detector de arranjo de diodos (DAD), auto-injetor e bomba *Accela*) (*Thermo Fisher Scientific, Austin, TX*). A coluna utilizada para a separação foi a coluna de fase reversa Lichrospher 100 RP-18 (250 x 4,6 mm, com tamanho de partícula de 5 µm e poro de 10 nm) (*Merck, Alemanha*).

A fase móvel utilizada foi composta em água (A) e metanol (B), com eluição em modo isocrático de 0 - 6 min (90% A e 10% B), modo gradiente de 6 - 7 min (90 - 80% A e 10 - 20% B), modo isocrático de 7 - 23 min (80% A e 20%), gradiente 23 - 24 min (80 - 0% A e 20 - 100% B), 24 - 25 min (0 - 90% A e 100 - 10% B) e terminando com modo isocrático de 25 - 26 min (90% A e 10% B).

O fluxo foi de 1 mL/min⁻¹ e o volume de injeção foi de 1 µL (loop parcial), com temperatura de 25 °C para o injetor e 40 °C para a coluna. Os picos foram detectados em comprimentos de onda de 272 nm. Dessa maneira, os compostos cafeína, ácido cafeoilquínico (5-CQA) e trigonelina foram identificados e determinados por injeção de padrões e construção de curva de calibração. Os resultados foram expressos em mg/100 g de amostra.

4.4. Avaliação sensorial

A avaliação sensorial das amostras foi realizada pelo método de análise descritiva qualitativa da *Specialty Coffee Association* – SCA (Associação de Cafés Especiais), conforme

descrito por SCA (2015) e Barbosa *et al.* (2019). A avaliação foi conduzida pela empresa Café dos Reis Ltda. - ME (CNPJ: 20.342.610/0001-80), que contam com provadores devidamente credenciados com a certificação *Q-Grader*, que avaliou as características particulares dos cafés por meio da degustação e atribuiu uma pontuação para cada um dos onze atributos do protocolo da SCA: fragrância / aroma, uniformidade, defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, sabor residual, equilíbrio, xícara limpa e geral, resultando na pontuação final para cada amostra.

Segundo o protocolo SCA, foram preparadas 5 xícaras para cada amostra contendo café moído (7,6 g) e coberta com papel alumínio, o provador avaliou a intensidade da fragrância e registrou na folha de avaliação. Em seguida, foram adicionados 150 mL de água fervente nos cafés e, após 3 minutos de descanso, as amostras foram misturadas e o provador reavaliou a fragrância. Após 8 minutos da adição de água, o pó flutuante foi removido das xícaras e quando o café atingiu a $62,5 \pm 2,5^{\circ}\text{C}$, o provador avaliou os outros atributos, observando suas anotações na folha de avaliação.

Após avaliar os atributos, o provador atribuiu uma pontuação para cada atributo. Ao encerrar a avaliação, os resultados de todos os atributos foram somados, obtendo-se o resultado total. Posteriormente, foi subtraído a nota atribuída aos defeitos, obtendo-se assim a pontuação final. Por fim, a partir do resultado encontrado, cada amostra foi classificada consoante a escala de qualidade. O provador também descreveu as notas sensoriais observadas em cada amostra.

4.5. Análises estatísticas

As amostras foram constituídas de 3 lotes de 3,0 Kg cada. Sendo, lote 1: café tipo verde, lote 2: café cereja natural e lote 3: café cereja descascado. As análises físico-químicas foram realizadas com três repetições para cada tratamento, e com as análises realizadas em duplicatas.

O experimento foi conduzido segundo delineamento inteiramente casualizado e todos os valores foram expressos como a média \pm desvio padrão (DP) dos resultados das análises. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando houve diferença entre as médias dos tratamentos, estas foram comparadas entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o *software R* (*R Foundation for Statistical Computing*, versão 4.1.1, Vienna, Austria).

Além disso, foram realizadas análises de correlação entre os resultados das análises físico-químicas com os resultados da avaliação sensorial, estabelecidas pelo método de Pearson, utilizando o *software R* (*R Foundation for Statistical Computing*, versão 4.1.1, Vienna,

Austria), com determinação dos coeficientes de correlação de Pearson (r) ao nível de 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análises físico-químicas

5.1.1. Análise colorimétrica

A avaliação das coordenadas colorimétricas do sistema CIELab para os grãos de café estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios de coordenadas colorimétricas para o café arábica cru.

Parâmetros colorimétricos	Tipo de café		
	Verde	Cereja natural	Cereja descascado
L*	50,57 ± 1,68 ^a	59,01 ± 0,34 ^b	61,05 ± 1,82 ^c
a*	3,85 ± 1,15 ^a	2,82 ± 0,37 ^b	1,69 ± 0,07 ^c
b*	11,74 ± 0,05 ^b	15,25 ± 0,06 ^a	15,22 ± 0,02 ^a

Valores em média ± desvio padrão (DP); médias seguidas pela mesma letra minúscula em uma mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

O valor de L* foi significativamente inferior ($p < 0,05$) para o grão de café verde. O grão oriundo de frutos imaturos possui cor mais escura em relação aos grãos oriundos de frutos cerejas. Este fato é esperado, uma vez que os grãos imaturos possuem coloração mais escura que grãos colhidos em estágio de maturação.

O grão cereja descascado apresentou maior valor de L*, indicando que o café cereja descascado possui cor mais clara, apresentando diferença estatística ($p < 0,05$) quando comparado ao café obtido por secagem natural. Isto indica que a remoção da casca antes da secagem proporciona um menor escurecimento desses grãos durante o processo de secagem.

Os valores da coordenada a* que representa a variação entre verde (-a) e vermelho (+a) dos grãos, variaram de 1,69 a 3,85 e diferiram significativamente ($p < 0,05$) entre os tipos de café avaliados, apresentando maior valor para o café cereja descascado (1,69) e maior valor para o café tipo verde (3,85), enquanto o café cereja natural apresentou valor de a* igual a 2,82. Observa-se que o café verde apresenta cor mais avermelhada, associado à sua cor mais escura, coloração característica desses grãos oriundos de frutos imaturos, enquanto os resultados indicam que o descascamento tende a reduzir a cor avermelhada dos grãos cerejas.

O valor da coordenada b* diferiu significativamente ($p < 0,05$) entre os cafés cerejas em comparação com o café verde, apresentando valores de 15,25 para o café cereja natural e 15,22

para o grão cereja descascado, enquanto o café verde apresentou valor de b^* igual a 11,74. O baixo valor de b^* encontrado para o café verde é associado a cor escura característica desses grãos, por outro lado, os cafés cerejas possuem cor mais amarelada, e observa-se que o processo de descascamento não interfere na coloração amarela dos grãos cerejas.

Os valores médios para os parâmetros físico-químicos encontrados para o café arábica cru tipo verde, tipo cereja natural e tipo cereja descascado estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores médios de parâmetros físico-químicos para o café arábica cru, expressos em base seca.

Parâmetro	Tipo de café		
	Verde	Cereja natural	Cereja descascado
Teor de água ¹	13,52 ± 1,44 ^a	10,95 ± 0,72 ^b	10,76 ± 0,38 ^b
pH	5,53 ± 0,05 ^c	5,67 ± 0,04 ^b	5,87 ± 0,03 ^a
Acidez total titulável ²	145,63 ± 28,02 ^a	144,68 ± 5,08 ^a	149,19 ± 7,76 ^a
Sólidos solúveis ¹	18,73 ± 2,53 ^b	21,64 ± 1,05 ^{ab}	23,36 ± 1,10 ^a
Açúcares totais ¹	2,21 ± 0,10 ^c	3,79 ± 0,11 ^a	3,15 ± 0,05 ^b
Açúcares redutores ¹	0,41 ± 0,04 ^b	0,70 ± 0,05 ^a	0,15 ± 0,03 ^c
Açúcares não redutores ¹	1,80 ± 0,09 ^b	3,09 ± 0,07 ^a	3,00 ± 0,06 ^a
Proteínas ¹	14,68 ± 0,49 ^a	14,60 ± 0,59 ^a	14,30 ± 0,19 ^a
Fenólicos totais ¹	3,59 ± 0,26 ^a	3,51 ± 0,16 ^a	3,52 ± 0,07 ^a
Cafeína ¹	0,90 ± 0,16 ^a	0,59 ± 0,05 ^b	0,69 ± 0,09 ^{ab}
Ácidos clorogênicos ¹	3,26 ± 0,82 ^a	2,66 ± 0,29 ^a	2,87 ± 0,33 ^a
Trigonelina ¹	0,72 ± 0,12 ^a	0,53 ± 0,06 ^b	0,52 ± 0,08 ^b
ABTS ³	4,27 ± 0,38 ^a	4,35 ± 0,12 ^a	4,31 ± 0,23 ^a
DPPH ³	4,47 ± 0,40 ^a	4,74 ± 0,15 ^a	4,50 ± 0,18 ^a
Condutividade elétrica ⁴	210,25 ± 29,77 ^a	86,48 ± 4,20 ^b	38,22 ± 3,38 ^c
Potássio lixiviado ⁵	218,30 ± 39,75 ^a	100,03 ± 7,48 ^b	39,33 ± 4,27 ^c

Valores em média ± desvio padrão (DP); médias seguidas pela mesma letra minúscula em uma mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

¹ g.100g⁻¹ café cru (%);

² mL NaOH 0,1 mol. L⁻¹.100g⁻¹ café cru;

³ Capacidade antioxidante expressa em TEAC (g Trolox.100g⁻¹ café cru);

⁴ μS.cm⁻¹.g⁻¹ café cru;

⁵ ppm.

5.1.2. Teor de água

Os valores de teor de água variaram de 10,76% a 13,52%, estando próximos ao teor de água de 11% a 13%, valores sugeridos por Silva *et al.* (2001) como ideais para a conservação do café, embora a teor de água do café tipo verde tenha apresentado diferença significativa ($p < 0,05$) dos demais tipos analisados e apresentado teor de água superior ao máximo de 12,5% estipulado pela legislação brasileira (BRASIL, 2003).

O maior teor de água encontrado no café tipo verde pode ser relacionado à falta de uniformidade desses grãos, de modo que ocorre uma perda de umidade desinforme entre esses grãos verdes durante o processo de secagem. As amostras de café cereja apresentaram teor de água semelhantes tanto para o natural, quanto para o descascado, e dentro dos padrões exigidos pela legislação.

O teor de água é de grande importância para a indústria cafeeira, pois a quantidade de água presente neste alimento influencia diretamente na proliferação de microrganismos. Além disso, a umidade dos grãos pode ser alterada pela temperatura, tempo e umidade relativa do local de armazenamento, e pelo grau de torrefação (PIMENTA, 2003).

5.1.3. pH

Os valores de pH encontrados neste estudo variaram de 5,53 a 5,87, apresentando diferença significativa entre o café verde e os cafés cerejas e entre o café cereja natural e descascado ($p < 0,05$). Os valores de pH encontrados neste estudo são próximos aos verificados por Lopes (2000), onde foram encontrados valores de pH variando de 5,15 a 5,56 em diferentes cultivares de café arábica e por Franca *et al.* (2005), onde foram observados valores de pH na faixa de 5,30 a 6,52, para amostras de café arábica cru e por Martinez *et al.* (2013), onde foram encontrados, em média, pH igual a 5,4 para o café cru.

O pH do grão é um indicativo de eventuais transformações dos frutos de café e presença de grãos defeituosos, que conseqüentemente, causam redução do pH e deterioração da bebida (SIQUEIRA & ABREU, 2006), portanto é esperado que o café tipo verde apresente menor valor de pH, devido ser composto apenas de grãos considerados defeitos.

Além disso, o menor valor do pH dos grãos cereja natural em relação ao cereja descascado, pode ser atribuído ao maior período de secagem do cereja natural que podem causar fermentações indesejáveis nos grãos, ao passo que os grãos que passam pelo descascamento possuem um período de secagem mais rápido.

A partir dos resultados pode ser observado que o pH pode ser utilizado como possível indicador da presença de grãos defeituosos (como grãos verdes) em amostras comerciais, visto que esses grãos verdes tendem a resultar em menores valores de pH para as amostras.

5.1.4. Acidez total titulável

Os valores de acidez total titulável (ATT) encontrados neste estudo variaram de 144,68 a 149,19 mL NaOH 0,1 mol.L⁻¹.100 g⁻¹, valores semelhantes aos obtidos em outros estudos (BORÉM *et al.*, 2008; AGNOLLETI *et al.*, 2019; FRANCA *et al.*, 2005). Borém *et al.* (2008), observou valores médios para acidez titulável total na faixa de 171,33 a 216,67 mL NaOH 0,1 mol. L⁻¹.100 g⁻¹ para café arábica natural e despulpado. Os valores de ATT deste estudo não apresentaram diferença significativa entre os tipos de café estudados (p>0,05). Em seu estudo, Mendonça *et al.* (2005) relataram valores de ATT entre 198,42 e 237,64 mL NaOH 0,1 mol.L⁻¹.100 g⁻¹. Ferreira *et al.* (2013), encontraram teores de acidez entre 185,00 e 190,00 mL NaOH 0,1 mol.L⁻¹.100 g⁻¹, enquanto Franca *et al.* (2005) encontrou valores de acidez na faixa de 207,2 a 263,3 mL NaOH 0,1 mol.L⁻¹.100 g⁻¹ para café cru.

A ATT presente no café é proveniente de ácidos cítrico e málico que conferem acidez desejável à qualidade do café, por outro lado, e dos ácidos acético, láctico, propiônico e butírico produzem efeitos indesejáveis sobre a qualidade do café (MARTINEZ *et al.*, 2014).

Apesar de alguns autores observarem que o teor de ATT tende a diminuir durante o amadurecimento do grão e que maiores teores de ATT contribui para a redução do pH (KOSHIRO *et al.*, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2007, SIQUEIRA & ABREU, 2006), o mesmo não foi observado neste estudo, pois não houve variação significativa de ATT entre os cafés avaliados, indicando que o processo de maturação e processamento pós-colheita não interferem na proporção de ATT desses cafés.

Os resultados contrastam com os estudos de Franca *et al.* (2005) que compararam cafés de diferentes qualidades de xícara e observaram que o aumento da acidez em grãos de café cru era atribuído à presença de grãos imaturos e fermentados. Nesse estudo pode se observar que apesar de uma amostra ser constituída apenas de grãos imaturos, a acidez não apresenta variação significativa em relação às amostras constituídas de grãos maduros.

5.1.5. Sólidos Solúveis

Verificou-se que o café verde apresentou o menor teor de sólidos solúveis (18,73%). Os menores valores de sólidos solúveis observados para o café verde podem estar relacionados ao seu estado de imaturidade (PIMENTA *et al.*, 2000), principalmente devido ao baixo teor de açúcares observados no café verde.

Não houve diferença significativa entre os teores de sólidos solúveis encontrados para os cafés cereja natural e descascado, os valores estão próximos ao verificado por Ribeiro *et al.*, (2014), onde foram observados 26,84% de sólidos solúveis em café arábica cru. Os resultados indicam que o descascamento do café não interfere de forma significativa em relação aos valores de sólidos solúveis.

Os cafés que possuem maior teor de sólidos solúveis são desejáveis por apresentarem maior rendimento para elaboração da bebida e garantir uma bebida encorpada (BORÉM *et al.*, 2008). Os sólidos solúveis abrangem açúcares, proteínas, vitaminas e outros (BARBOSA, 2002), portanto os resultados indicam que o descascamento pode favorecer o aumento do teor de sólidos solúveis dos grãos e conseqüentemente levar a um maior rendimento na elaboração da bebida.

5.1.6. Açúcares totais, redutores e não redutores

Os valores de açúcares totais encontrados neste estudo são similares aos encontrados por Agnoletti *et al.* (2019), em avaliação do conteúdo de açúcares em café arábica e canéfora cru, com teores de açúcares totais variando de 2,41 a 7,18%. O café verde apresentou o menor teor de açúcares totais, pois os frutos colhidos imaturos não sofreram o processo de maturação e conseqüentemente possuem baixo teor de açúcares em sua composição (PIMENTA *et al.*, 2000).

O café cereja natural apresentou o maior teor de açúcares redutores (0,70%), enquanto o descascado apresentou teor de 0,15% e o verde de 0,41%. Os resultados estão próximos aos encontrados por Caixeta *et al.* (2013), que obtiveram, para grão cru de café arábica bebida dura, teores de açúcares redutores variando entre 0,21% e 0,31%.

Os açúcares não redutores variaram de 1,80 a 3,09%, com apenas o café tipo verde se diferenciando dos tipos cerejas ($p < 0,05$), não houve diferença significativa de açúcares redutores entre o café cereja natural e cereja descascado. Como identificado em outros estudos (PARTELLI *et al.*, 2014; FERNANDES *et al.*, 2002), os açúcares não redutores resultaram em quase a totalidade dos açúcares totais da amostra. Desse modo, os açúcares não redutores do café, principalmente a sacarose contribuem para a doçura e para a formação de cor e aroma do

café, pois durante o processo de torra de café, os açúcares reagem formando compostos coloridos desejáveis, responsáveis pela cor marrom e características de aroma (SILVA *et al.*, 2014; MURKOVIC & DERLER, 2006)

Maiores teores de açúcares são associados a uma melhor qualidade do copo da bebida de café (SUNARHARUMA *et al.*, 2014), portanto os melhores cafés seriam as amostras cereja natural e cereja descascado.

5.1.7. Proteínas

Os teores de proteína não apresentaram diferença significativa entre os cafés analisados. Resultados similares foram encontrados por Barbosa *et al.*, (2019), que encontrou teores de proteínas próximos a 14,03% em seu estudo.

Os resultados também são semelhantes aos obtidos por Taveira *et al.* (2012), onde foram encontrados valores de teor de proteína entre 13 e 17% e Kitzberger *et al.* (2013), onde foi observado valores de proteína entre 16,1 e 18% em grãos de cafés cru e que o teor de compostos nitrogenados está relacionado à capacidade de armazenamento de nitrogênio das plantas.

Os resultados encontrados também indicam que não há variação significativa nos teores de proteínas em grãos colhidos em diferentes estádios de maturação. As proteínas do café são importantes para a qualidade sensorial, pois as proteínas são responsáveis pela formação da cor e aroma da bebida, sendo em sua grande maioria, devido às reações químicas envolvendo proteínas no processo de torrefação.

5.1.8. Compostos fenólicos

Os teores de compostos fenólicos totais não apresentaram diferença significativa entre os tipos de café ($p > 0,05$), estando semelhantes aos observados por Arruda *et al.* (2012), que encontrou teores de compostos fenólicos variando de 3,49 a 3,81%, em café arábica. Os resultados indicam que não há variação na presença de compostos fenólicos com o desenvolvimento da maturação do fruto, bem como não há variação desses compostos com o processo de descascamento antes da secagem.

A maior parte dos compostos fenólicos presentes no café é representado pelo ácido clorogênico, presente em maior quantidade nesses grãos, seguindo-se dos ácidos cafeico, ferúlico e *p*-cumárico (VIGNOLI *et al.*, 2014).

Embora os compostos fenólicos apresentem propriedades bioativas como capacidade antioxidante, esses compostos interferem negativamente na qualidade sensorial da bebida, pois esses compostos causam adstringência ao paladar (FAGAN *et al.*, 2011; AGNOLETTI, 2015; CLIFFORD, 1999).

5.1.9. Cafeína

Os teores médios de cafeína encontrados nas amostras avaliadas variaram de 0,59 a 0,90%, valores próximos aos obtidos por Ky *et al.* (2001), de 0,96% a 1,62% de cafeína em avaliação química de café arábica. Os valores também estão próximos aos encontrados por Farah *et al.* (2006), onde foram observados teores de cafeína entre 0,96 e 1,26%.

Verifica-se que, neste estudo, que os teores de cafeína apresentaram diferença significativa entre si ($p < 0,05$), sendo o café verde o que apresentou maior concentração de cafeína, embora não apresentou diferença significativa entre o café cereja descascado.

Por outro lado, houve diferença significativa entre o café cereja natural e cereja descascado, essas diferenças entre os teores obtidos podem estar relacionadas com forma de beneficiamento, visto que o café descascado possui maior teor de cafeína que o cereja natural.

A cafeína é o componente mais conhecido do café, por seus efeitos estimulantes sobre o sistema nervoso central, e geralmente é associada a uma melhora no estado de alerta, na capacidade de aprendizado e resistência ao esforço físico (GROSSO *et al.*, 2017).

5.1.10. Ácido clorogênico

Os valores de ácido clorogênico encontrados neste estudo não apresentaram diferença significativa entre os estádios de maturação dos frutos de cafés ($p > 0,05$), indicando que o estágio de maturação de colheita dos frutos não interfere nos teores de ácido clorogênicos, bem como não há variação com entre os tipos de processamento dos frutos.

Além disso, esses achados são ligeiramente inferiores aos observados por Farah *et al.* (2006), onde foram encontrados valores para as amostras de café entre 3,18 e 3,98%. A diferença nos teores pode ser resultado dos métodos de extração, solventes utilizados e fatores efadoclimáticos (LIMA *et al.*, 2010).

Os ácidos clorogênicos são os principais compostos fenólicos não voláteis encontrados no café. Dentre estes, o principal subgrupo corresponde ao dos ácidos cafeoilquínicos (CQA), dicafeoilquínicos (di-CQA) e feruloilquínicos (FRANCA *et al.*, 2005).

Dentre seus principais isômeros, o ácido 5- cafeoilquínico (5-ACQ) é responsável por 56- 62% do total de ácidos clorogênicos encontrados no café, seguido pelos isômeros de ácidos dicafeoilquínicos e feruloilquínicos, que representam cerca de 15-20% e 5-13%, respectivamente (FARAH *et al.*, 2006). Os ácidos clorogênicos são responsáveis pela pigmentação, aroma e adstringência à bebida do café (FRANCA *et al.*, 2005).

Os ácidos clorogênicos presentes no café são responsáveis por grande parte da atividade antioxidante da bebida, além de possuir potencial de atividade antibacteriana, antiviral e anti-hipertensiva (NAVEED *et al.*, 2018).

5.1.11. Trigonelina

O café tipo verde que apresentou maior teor de trigonelina (0,70%) e diferença significativa em comparação aos cafés cerejas ($p < 0,05$). Os valores encontrados estão próximos aos encontrados por Ky *et al.* (2001), de 0,88% a 1,77%, para café arábica, e inferiores aos observados por Arruda *et al.* (2012), que encontraram teores de trigonelina na faixa de 1,13 a 1,37% em avaliação de cafés natural, despulpado e desmucilado.

Fonseca *et al.* (2011) encontraram teores de trigonelina variando entre 0,64% e 1,30% ao estudarem a composição química de 49 clones de *Coffea canephora*, com resultados semelhantes aos observados neste estudo.

A Trigonelina é hidrossolúvel e importante constituinte do café, pois é precursora do ácido nicotínico (vitamina B3) (AGUIAR *et al.*, 2005). Os resultados indicam que o descascamento do café antes da secagem favorece a redução de trigonelina, sendo esse composto preservado na secagem in natura.

5.1.12. Capacidade antioxidante

Não houve diferença significativa entre os tipos de cafés estudados por ambos os métodos ABTS e DPPH ($p > 0,05$). Os resultados são similares aos observados por Costa (2015), em avaliação de capacidade antioxidante de café arábica catuaí, onde foram encontrados valores de TEAC variando de 3,77 a 5,35g de trolox.100g⁻¹ de café cru.

Pelo método DPPH, a capacidade antioxidante expressa em TEAC dos cafés variaram de 4,47 a 4,74g trolox.100g⁻¹ de café, estando similares aos observados por Costa (2015), (2,06 a 7,42g de trolox.100g⁻¹ de café). Não houve diferença significativa entre o café verde e cereja

e também não houve diferença significativa entre os cafés cereja natural e cereja descascado ($p > 0,05$).

Embora o café cru possua quantidades significativas de capacidade antioxidante, durante o processo de torrefação os compostos antioxidantes são destruídos (GIUFFRÈ *et al.*, 2018), porém produtos de reação de Maillard e Strecker com propriedades antioxidantes são produzidos que acabam aumentando a capacidade antioxidante perdida no processo de torrefação. (LUDWIG *et al.*, 2014; VIGNOLI *et al.*, 2014).

Foi observado que os cafés avaliados apresentaram presença de compostos com atividade antioxidante, sendo que o consumo de regular de café pode promover propriedades funcionais e benéficas à saúde dos consumidores.

5.1.13. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio

Os valores de condutividade elétrica variaram de 38,22 a 210,25 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ café cru, apresentando diferença significativa entre o café verde e os cafés cerejas natural e descascado ($p < 0,05$).

O café cereja apresentou valores de condutividade elétrica de 38,22 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ para o descascado e 86,48 para o natural, os resultados estão próximos aos observados por Partelli *et al.* (2014), que encontraram valores variando entre 56,68 e 86,28 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$, para condutividade elétrica de cafés arábica cerejas. Podemos observar que o descascamento favorece a integridade das membranas celulares do grão, podendo interferir positivamente na qualidade do produto devido a uma menor migração de componentes do grão para o exterior conferido por uma membrana íntegra.

Por outro lado, o café verde natural apresentou condutividade elétrica igual a 210,25 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ semelhante ao resultado encontrado por Nobre *et al.* (2011), de 220,69 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ para café verde natural.

Os valores de potássio lixiviado apresentaram diferença significativa entre os cafés avaliados, sendo observado 218,30 ppm de potássio lixiviado para o café tipo verde, 100,03 ppm para o tipo cereja natural e 39,33 ppm para o tipo cereja descascado, corroborando os resultados de condutividade elétrica observados, visto que que estes parâmetros são correlacionados.

Segundo Malta *et al.* (2005), os defeitos influenciam de forma significativa as determinações de condutividade elétrica e lixiviação de potássio, portanto, o café verde, considerado um defeito, apresenta valores altos destes parâmetros.

A determinação de Condutividade elétrica e potássio lixiviado em café cru são relevantes, visto que altos valores destes parâmetros estão relacionados com o processo de deterioração do café e com a perda de sua qualidade e têm sido considerados fortes indicadores de danos na membrana celular dos grãos (PRETE *et al.*, 1992).

5.2. Análise sensorial

Os resultados da avaliação sensorial obtidos para as três categorias de cafés estudados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores médios da nota sensorial e nuances para a bebida de café arábica.

Tipo de café	Pontuação global	Nuances
Verde	59,00	Duro verde, rio, sujo, adstringente.
Cereja natural	81,50	Pimenta, herbal, chocolate e caramelo, finalização curta, acidez média, encorpado.
Cereja descascado	78,50	Herbal, chá e tostado, amendoim, velho, amadeirado.

O café tipo cereja natural apresentou a maior nota sensorial (81,50), sendo descrito como “Muito bom” e considerado um café especial pela SCA - *Specialty Coffee Association* (SCA, 2015), foram observadas várias nuances consideradas desejáveis, como pimenta, herbal, chocolate, caramelo, etc.

Já o café tipo cereja descascado apresentou nota sensorial de 78,50, não sendo considerado um café especial pela SCA, indicando que o processo de descascamento do café embora possa facilitar o processo de secagem, pode levar a uma redução da qualidade sensorial dos grãos. As nuances observadas para o café cereja descascado foram herbal, chá e tostado, amendoim, velho e amadeirado, também consideradas nuances positivas.

As notas sensoriais obtidas para a bebida proveniente de grãos cerejas são similares aos observados no estudo de Barbosa *et al.* (2019), onde os autores encontraram pontuação global para as bebidas de cafés arábica variando de 77,76 a 80,52 pelo protocolo SCA.

Os grãos de café tipo verde, obtidos de frutos imaturos, considerados defeituosos e de baixa qualidade sensorial (MALTA *et al.*, 2005), apresentaram pontuação global de 59,00, sendo a bebida desses grãos considerada não especial pela SCA. As nuances encontradas no café tipo verde foram duro, rio, sujo e adstringente, nuances consideradas indesejáveis em uma avaliação sensorial.

5.3. Análise de correlação

Foi realizado uma análise de correlação entre os resultados obtidos dos parâmetros físico-químicos e a nota de avaliação sensorial para avaliar correlações entre as variáveis estudadas e para verificar a influência que os parâmetros físico-químicos possuem sobre a qualidade sensorial da bebida. Os coeficientes de correlação de Pearson (r) obtidos para todas as variáveis estão apresentados na Tabela 6.

Houve correlação significativa entre os compostos fenólicos e capacidade antioxidante ($r = 0,66$ pelo método ABTS e $r = 0,63$ pelo método DPPH), corroborando estudos que relatam a atividade antioxidante destes compostos (ABRAHÃO *et al.*, 2010; FARAH & DONANGELO, 2006; SOUZA *et al.*, 2007).

Foi observado alta correlação positiva ($r = 0,99$) entre a condutividade elétrica e o teor de potássio lixiviado, corroborando estudos que relatam que a perda de permeabilidade e deterioração dos grãos de café levam a aumento de ambos os parâmetros, tanto condutividade elétrica, quanto potássio lixiviado (PRETE, 1992; CARVALHO JÚNIOR, 2002; CHAGAS *et al.*, 2005).

O teor de açúcar não redutor apresentou alta correlação positiva ($r = 0,94$) com os açúcares totais, pois os açúcares não redutores, representado principalmente pela sacarose, são responsáveis pela quase totalidade dos açúcares totais dos grãos (PARTELLI *et al.*, 2014; FERNANDES *et al.*, 2002).

Correlações positivas significativas também foram observados e entre os sólidos solúveis e os açúcares totais ($r = 0,48$) e não redutores ($r = 0,64$), corroborando a associação positiva entres esses compostos, visto que os sólidos solúveis do café abrangem açúcares, proteínas, vitaminas, entre outros (BARBOSA, 2002). Não houve correlação significativa entre os sólidos solúveis e os açúcares redutores, devido à baixa presença desses açúcares no café e consequentemente contribuição reduzida para os sólidos solúveis.

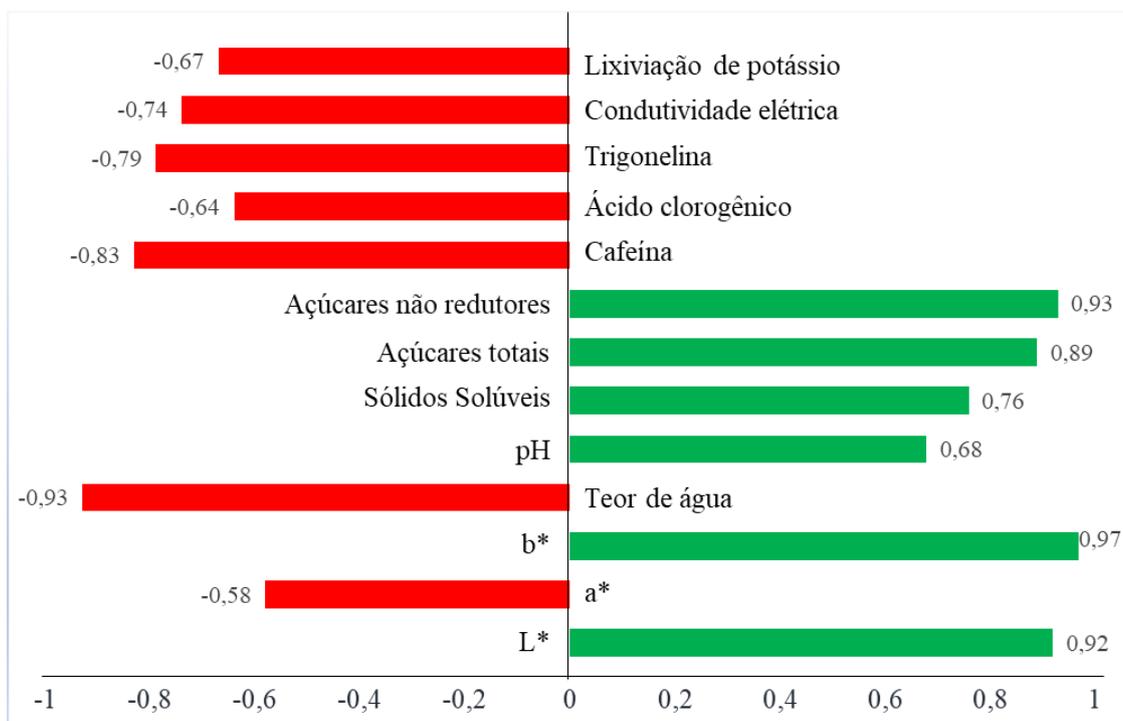
Tabela 6. Correlação de Pearson (r) entre os parâmetros estudados para o café arábica cru.

PRM	L	a*	b*	TA	pH	ATT	SS	AT	AR	ANR	PRO	FEN	CAF	ACQ	TRI	ABTS	DPPH	CE	K	NS
L	1,00	-0,85*	0,91*	-0,83*	0,83*	0,24	0,82*	0,78*	-0,18	0,93*	-0,05	-0,10	-0,73*	-0,48*	-0,75*	0,21	0,28	-0,88	-0,84*	0,92*
a*		1,00	-0,56*	0,50*	-0,85*	0,08	-0,61*	-0,51*	0,49*	0,75*	0,20	0,43	0,34	0,08	0,47*	0,18	0,21	0,93	0,93*	-0,58*
b*			1,00	-0,95*	0,69*	0,51*	0,85*	0,78*	0,01	0,86*	0,05	0,26	-0,85*	-0,72*	-0,83*	0,50*	0,60*	-0,66	-0,59*	0,97*
TA				1,00	-0,70*	-0,50*	-0,80*	-0,73*	0,02	-0,81*	0,09	-0,39	0,76*	0,70*	0,80*	-0,48*	-0,58*	0,63	0,57*	-0,93*
pH					1,00	0,20	0,70*	0,48*	-0,51*	0,73*	-0,24	-0,01	-0,47*	-0,39	-0,64*	0,12	0,05	-0,84	-0,83*	0,68*
ATT						1,00	0,64*	-0,01	-0,13	0,04	0,46	0,71*	-0,48*	-0,75*	-0,55*	0,64*	0,59*	0,12	0,17	0,34
SS							1,00	0,48*	-0,27	0,64*	0,16	0,23	-0,68*	-0,64*	-0,73*	0,33	0,34	-0,57	-0,51*	0,76*
AT								1,00	0,43	0,94*	-0,10	-0,13	-0,71*	-0,41	-0,60*	0,17	0,39	-0,74	-0,68*	0,89*
AR									1,00	0,09	0,15	0,01	-0,22	-0,13	0,03	0,04	0,31	0,23	0,27	0,12
ANR										1,00	-0,17	-0,15	-0,69*	-0,40	-0,68*	0,17	0,31	-0,90	-0,86*	0,93*
PRO											1,00	-0,02	-0,11	-0,29	-0,15	0,21	0,21	0,30	0,33	-0,04
FEN												1,00	-0,24	-0,59*	-0,31	0,66*	0,63*	0,35	0,38	0,13
CAF													1,00	0,83*	0,85*	-0,52*	-0,60*	0,43	0,35	-0,83*
ACQ														1,00	0,86*	-0,67*	-0,69*	0,14	0,07	-0,64*
TRI															1,00	-0,46	-0,53*	0,52	0,47	-0,79*
ABTS																1,00	0,90*	0,10	0,15	0,42
DPPH																	1,00	0,04	0,11	0,56
CE																		1,00	0,99*	-0,74*
K																			1,00	-0,67*
NS																				1,00

Coeficientes de correlação de Pearson significativos ($p < 0,05$). Legenda: PRM = Parâmetros; L, a, b* = Coordenadas de cor CIELab; TA = Teor de água; ATT = Acidez total titulável; SS = Sólidos solúveis; AT = Açúcares totais; AR = Açúcares redutores; ANR = Açúcares não redutores; PRO = Proteínas; FEN = Fenólicos totais; CAF = Cafeína; ACQ = Ácido clorogênico; TRI = Trigonelina; CE = Condutividade elétrica, K = Lixiviação de potássio; NS = Nota sensorial.

Os valores de correlação de Pearson (r) significativos ($p < 0,05$), entre os parâmetros físico-químicos e a nota obtida na avaliação sensorial estão representados na Figura 8.

Figura 8 - Coeficientes de correlação (r) significativos sobre a nota obtida na avaliação sensorial.



Fonte: Do autor.

Na análise de correlação entre as coordenadas de cor com a nota sensorial, foram verificados que as coordenadas L^* e b^* possuem correlação positiva significativa ($r = 0,92$ e $r = 0,97$, respectivamente) com a qualidade da bebida, indicando que as bebidas de melhor qualidade se originam de grãos crus que apresentem coloração mais clara (maior valor de L^*) e valores positivos de b^* (cor mais amarelada).

Por outro lado, foi verificado que a coordenada a^* possui uma correlação negativa significativa ($r = -0,58$) com a qualidade da bebida, indicando que grãos que apresentam coloração mais avermelhada (mais valores de a^*), associado a cores mais escuras, resultam em bebidas com menor qualidade sensorial.

Esses resultados indicam que os análise colorimétrica é um importante marcador de qualidade para o café cru, podendo ser associado uma bebida com maior qualidade sensorial para grãos que apresentem coloração mais clara e mais amarelada.

Foi verificada uma correlação negativa significativa ($r = -0,93$) entre o teor de água dos grãos e a nota sensorial, indicando que um teor de água elevada dos grãos durante o armazenamento do café pode levar a alterações que resultam em uma perda da qualidade sensorial.

O pH apresentou correlação positiva em relação à qualidade da bebida ($r = 0,68$), ou seja, à medida que ocorre um aumento do pH do café cru, a qualidade da bebida aumenta. Apesar de alguns estudos mostrarem que a diminuição do pH está associado com o aumento da acidez, e que a diminuição da qualidade da bebida relacionado com a elevação da acidez (PEREIRA, 1997; PIMENTA, 2001), neste estudo não foi encontrada correlação significativa entre a acidez e a qualidade sensorial, além de não ter sido observado correlação significativa entre o pH e a acidez total titulável.

Os sólidos solúveis, presentes no café estão relacionados com o atributo corpo da bebida e o uso de grãos que apresentam uma proporção maior de sólidos solúveis leva a obtenção de bebidas de alta qualidade (BORÉM *et al.*, 2008). Neste estudo foi observado uma correlação positiva significativa ($r = 0,76$) entre o conteúdo de sólidos solúveis e a nota sensorial, corroborando a associação positiva entre a qualidade sensorial da bebida e teor de sólidos solúveis.

Foi observado também uma correlação positiva significativa entre o conteúdo de açúcares totais em relação à nota sensorial ($r = 0,89$), ele foi observado entre o teor de açúcares não redutores e a nota sensorial ($r = 0,93$), corroborando diversos estudos que mostram uma ótima correlação entre os açúcares presentes no café com a qualidade sensorial da bebida.

Os açúcares atuam como precursores do sabor e aroma característicos da bebida, dando origem a várias substâncias que influenciam na qualidade do produto final (FERNANDES *et al.*, 2003; FARAH *et al.*, 2006). Este estudo também corrobora que a sacarose, que é o principal açúcar não redutor presente no café, possui relação positiva com a qualidade sensorial da bebida.

A cafeína apresentou uma correlação negativa significativa em relação à qualidade da bebida ($r = -0,64$), ou seja, cafés com alto teor de cafeína resultam em bebida com menor qualidade sensorial. Isso foi observado por Barbosa *et al.* (2019) em seu estudo, onde os autores encontraram uma correlação negativa entre os teores de cafeína com a qualidade sensorial, corroborando os resultados observados neste estudo. Este fato pode ser devido ao sabor amargo da cafeína, que pode atuar reduzindo a qualidade sensorial da bebida.

Uma correlação negativa significativa ($r = -0,64$) também foi observada entre o conteúdo de ácidos clorogênicos e a qualidade sensorial da bebida. Os resultados indicam que grãos com alto teor de ácidos clorogênicos resultam em uma bebida com menor qualidade sensorial. Este fato corrobora outros estudos (AGNOLETTI *et al.*, (2019); BARBOSA *et al.* (2019), onde também foi relatado a associação negativa dos ácidos clorogênicos com a qualidade sensorial da bebida.

Embora alguns autores, como Farah *et al.* (2006) e Alves *et al.* (2007), observaram que o teor de trigonelina decresceu com a perda de qualidade dos cafés, o inverso foi observado neste estudo, onde a trigonelina apresentou uma correlação negativa significativa em relação à qualidade da bebida ($r = -0,79$), indicando que grãos com menores teores de trigonelina promovem uma bebida com maior qualidade sensorial.

Foram verificados que a condutividade elétrica e lixiviação de potássio possuem correlação negativa significativa ($r = -0,74$ e $r = -0,67$, respectivamente) com a qualidade da bebida, indicando que bebidas de melhor qualidade se originam de grãos crus que apresentam menores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio.

Os testes de correlação da condutividade elétrica e lixiviação de potássio também indicam haver uma relação entre a integridade da membrana do grão de café com a qualidade sensorial. A correlação negativa entre a condutividade elétrica e a lixiviação de potássio com a qualidade sensorial da bebida corroboram os resultados encontrados em outros estudos como Prete (1992) e Malta *et al.* (2005).

Desta forma, na análise de correlação foram observadas correlações significativas entre as propriedades físico-químicas analisadas e a pontuação global obtida na avaliação sensorial, indicando que vários destes parâmetros físico-químicos dos grãos de café cru estão relacionados à qualidade sensorial, podendo ser utilizados como marcadores de qualidade para o café arábica.

6. CONCLUSÕES

Várias características físicas e químicas dos grãos crus podem ser considerados marcadores de qualidade para o café arábica, podendo ser empregadas como uma alternativa ou complementação à avaliação sensorial da bebida. Além disso, esses marcadores agregam informações importantes ao produto, podendo ser empregados pelos produtores e pela indústria cafeeira na comercialização desses grãos.

O processo de descascamento dos frutos antes da secagem acarreta alterações significativas em alguns marcadores de qualidade, reforçando a importância do manejo pós-colheita para a qualidade sensorial da bebida.

Além disso, os grãos provenientes de frutos colhidos imaturos possuem vários parâmetros físico-químicos semelhantes aos provenientes de frutos colhidos em estágio de maturação completo, podendo ser utilizados a quantificação de alguns destes marcadores presentes no café verde para predição da qualidade após maturação e colheita.

Os cafés avaliados também apresentaram presença de compostos com propriedades funcionais e benéficas à saúde, principalmente compostos com atividade antioxidante, destacando os benefícios que podem ser conferidos à saúde com o consumo regular de café.

Novos estudos poderão ser realizados para identificar outros marcadores de qualidade para a bebida do café a partir de outras características físicas e químicas não abordadas neste estudo, bem como estudar esses marcadores nos grãos submetidos à secagem em secadores mecânicos, e no café torrado e moído, que não foram objetos deste estudo.

7. REFERÊNCIAS

- ABIC – Associação Brasileira das Indústrias de Café. **Certificações**. 2022. Disponível em: <https://www.abic.com.br/certificacoes/qualidade/>. Acesso em: 10 julho 2022.
- ABRAHÃO, S. A. et al. Compostos bioativos e atividade antioxidante do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 414-420, 2010.
- ABRAHÃO, S. A. et al. Atividade antioxidante in vitro e in vivo de café bebida mole. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 127-133, 2012.
- AFONSO JÚNIOR, P. C. C. Influência do tempo de armazenagem na cor dos grãos de café pré-processados por “via seca” e “via úmida”. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, p. 1268-1276, 2003.
- AGNOLETTI, B. Z. **Avaliação das propriedades físico-químicas de café arábica (coffea arabica) e conilon (coffea canephora) classificados quanto à qualidade da bebida**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, 2015.
- AGNOLETTI, B. Z. et al. Discriminação de café arábica e conilon utilizando propriedades físico-químicas aliadas à quimiometria. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 3, 2019.
- AGUIAR, A. T. E. et al. Diversidade química de cafeeiros na espécie *Coffea canephora*. **Bragantia**, v. 64, n. 4, p. 577-582, 2005.
- ALVES, B. H. P. et al. Composição química de cafés torrados do cerrado e do sul de Minas Gerais. **Ciência & Engenharia**, v. 16, n. 1/2, p. 9-15, 2007.
- ALVES, H. M. R. et al. Características ambientais e qualidade da bebida dos cafés do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 261, p. 18-29, 2011.
- ALVES, E.A. et al. Procedimentos de colheita do café. In: MARCOLAN, A.L.; ESPINDULA, M.C. (Ed.). **Café na Amazônia**. Brasília, Embrapa, p. 345-358. Cap. 15, 2015.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of the Association of Official Analytical Chemists**. 18th ed. Washington, D.C., USA, 2005.
- ARRUDA, N. P. et al. Correlação entre precursores e voláteis em café arábica brasileiro processado pelas vias seca, semiúmida e úmida e discriminação através da análise por componentes principais. **Química Nova**, v. 35, n. 10, p. 2044-2051, 2012.
- BAESSO, M. M. et al. Variabilidade espacial da qualidade do café cereja. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v.13, n.2, p.109-115, 2019.
- BARBOSA, R. M. **Caracterização físico-química de seis categorias da bebida café classificada pelo teste da xícara**. 2002. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- BARBOSA, M. D. S. G. et al. Correlation between the composition of green Arabica coffee beans and the sensory quality of coffee brews. **Food chemistry**, v. 292, p. 275-280, 2019.

BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, v. 18, n. 187, p. 33-42, 1997.

BATISTA, L.R. et al. Coffee: Types and Production. Encyclopedia of Food and Health, **Academic Press**, p. 244-251, 2016.

BLYENY, H. P. A. **Análise comparativa da composição química de cafés do cerrado mineiro e do sul de Minas Gerais**. 2004. 91 p. Dissertação (Mestrado em Química), Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

BORÉM, F. M. et al. Qualidade do café despulpado submetidos a diferentes processos de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, n. 9, p. 26-31, 2006.

BORÉM, F. M. et al. Quality of natural coffee dried under different temperatures and drying rates. **Coffee Science**, v.13, n.2, p.159-167, 2018.

BORÉM, F. M. et al. Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 1609-1615, 2008.

BORÉM, F. M. et al. Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. **Journal of stored products research**, v. 52, p. 1-6, 2013.

BRANDO, C. H. & BRANDO, M. F. Methods of coffee fermentation and drying. **Cocoa and coffee fermentations**, p.367-396, 2014.

BRASIL. Ministério de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003**. Dispõe de Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a Classificação do Café Beneficiado Grão Cru. Brasília, DF, 2003. 12 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução. **RDC nº 277, de 22 de setembro de 2005**. Regulamento Técnico para Café, Cevada, Chá, Erva-Mate e Produtos Solúveis. Brasília, DF, 2003. 5 p.

CAIXETA, G. Z. T. Economia Cafeeira: Mercado de Café, Tendências e Perspectivas. Economia Cafeeira Mundial. In: **I Encontro sobre produção de café com qualidade**. Anais. Viçosa: UFV. p. 3 - 21. 1999.

CAIXETA, I. F. et al. Qualidade da semente de café pelo retardamento do 249 processamento pós-colheita. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 249-255, 2013.

CARVALHO JÚNIOR, C. de. **Efeito de sistemas de colheita na qualidade do café (*Coffea arabica* L.)**. 2002, 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

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

CHAGAS, S. J. R. et al. Potencial da região sul de Minas Gerais para a produção de cafés especiais (I-Atividade da polifenoloxidase, condutividade elétrica e lixiviação de potássio). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 590-597, 2005.

CID, M. C. & PEÑA, M. P. Coffee: Analysis and Composition. Encyclopedia of Food and Health, **Academic Press**, p. 225–231, 2016.

CLARKE, R.J.; MACRAE, R. Coffee. **Elsevier**, Londres, v. 1, n. 2, 1985.

CLIFFORD, M. N.; KAZI, T. The influence of coffee bean maturity on the content of clorogênic acids, caffeine and trigoneline. **Food Chemistry**, London, v. 26, p. 59-69, 1987.

CLIFFORD, M. N. (Ed.). Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage. **Springer Science & Business Media**, 2012.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, Brasília, v. 8, safra 2021, n. 4, 2021.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, Brasília, DF, v.9-safra 2022, n. 1, 2022.

COSTA, M. de C. da. **Compostos bioativos e atividade sequestrante de radicais livres de quatro cultivares do Coffea arabica L. em diferentes estádios de maturação dos frutos**. 2015, 78 p. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, 2015.

EPAMIG. **Oeiras- MG 6851: Nova cultivar de café para Minas Gerais**. 1999. Disponível em:<http://www.consorcioquesquisacafe.com.br/arquivos/tecnologias/oeirasmg6851.pdf>. Acesso em: 10 julho 2022.

ESQUIVEL, P. & JIMENEZ, V. M. Functional properties of coffee and coffee by-products. **Food research international**, v. 46, n. 2, p. 488-495, 2012.

FAGAN, E. B. et al. Efeito do tempo de formação do grão de café (Coffea sp) na qualidade da bebida. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 5, 2011.

FARAH, A. & DONANGELO, C. M. Phenolic compounds in coffee. **Brazilian Journal Plant of Physioly**, v. 18, n. 1, p. 23-26, 2006.

FASSIO, L. O. et al. Sensory profile and chemical composition of specialty coffees from Matas de Minas Gerais, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 9, p. 78, 2017.

FERNANDES, S. et al. Constituintes químicos e teor de extrato aquoso de cafés arábica (Coffea arabica L.) e conilon (Coffea canephora Pierre) torrados. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, p. 1076, 2003.

FERREIRA, G. F. P. et al. Quality of coffee produced in the Southwest region of Bahia, Brazil subjected to different forms of processing and drying. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 20, p. 2334-2339, 2013.

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. Colorimetria-princípios e aplicações na agricultura. In: FERREIRA, M. D. (Ed.técnico). Instrumentação pós-colheita em frutas e hortaliças (p. 209-220). São Carlos, Embrapa Instrumentação. 2017.

FONSECA, A. F. A. da. et al. Composição química de café conilon (*Coffea canephora*), In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 7, 2011, **Resumo**, Araxá - MG, 2011. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/3300>. Acesso em: 10 julho 2022.

FRANCA, A. S. et al. Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. **LWT-Food Science and Technology**, v. 38, n. 7, p. 709-715, 2005.

FREITAS, V. V. **Avaliação da fermentação de café arábica com uso de culturas starters**. 2018. 53 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

GIUFFRÈ, A. M. et al. Effect of heating on chemical parameters of extra virgin olive oil, pomace olive oil, soybean oil and palm oil. **Italian Journal Food Science**, v. 30, n. 4, 2018.

GOULART, P. F. P. et al. Aspectos histoquímicos e morfológicos de grãos de café de diferentes qualidades. **Ciência Rural**, v. 37, n. 3, p. 662-666, 2007.

GROSSO, G. et al. Coffee, caffeine, and health outcomes: an umbrella review. **Annual review of nutrition**, v. 37, p. 131-156, 2017.

GUTKOSKI, L. C. et al. Efeito do período de maturação de grãos nas propriedades físicas e reológicas de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 888-894, 2008.

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

LIMA, F. A. et al. Café e saúde humana: um enfoque nas substâncias presentes na bebida relacionadas às doenças cardiovasculares. **Revista de Nutrição**, vol. 23, n. 6, p.1063-1073, 2010.

LIMA FILHO, T. et al. Qualidade sensorial e físico-química dos cafés arábica e conilon. **Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 1887-1901, 2013.

LOPES, R. P. et al. Efeito da luz na qualidade (cor e bebida) de grãos de café beneficiados (*Coffea arabica* L.) durante a armazenagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, n. 1, p. 9-17, 2000.

LUDWIG, I. A. et al. Effect of sugar addition (Torrefacto) during roasting process on antioxidant capacity and phenolics of coffee. **Food Science and Technology**, v. 51, n. 2, p. 553-559, 2013.

MALTA, M. R. & CHAGAS, S. J. R. Evaluation of non-volatile compounds indifferent cultivars of coffee cultivated in southern Minas Gerais. **Acta Scientiarum Agronomy**, n. 31, v. 1, p. 57-61, 2009.

MALTA, M. R. et al. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio do exsudato de grãos de café: alguns fatores que pode influenciar essas avaliações. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5, 2005.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Revista Ceres**, v. 61, p. 838-848, 2014.

- MATIELLO, J. B. O café: do cultivo ao consumo. São Paulo, **Editora Globo**, 1991.
- MATIELLO, J. B. et al. Cultura de café no Brasil - novo manual de recomendações. **Procafe Foundation**, pp. 387, 2002.
- MATULOVÁ, M. et al. Structure of arabinogalactan oligosaccharides derived from arabinogalactan-protein of *Coffea arabica* instant coffee powder. **Carbohydrate Research**, n. 346, p. 1029, 2011.
- MENDONÇA, L. V. L. et al. Parâmetros bromatológicos de grãos crus e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 239-243, 2005.
- MESQUITA, C. M. et al. **Manual do café: colheita e preparo (Coffea arábica L.)**. Belo Horizonte, EMATER-MG, 52 p., 2016.
- MONTEIRO, M. C.; TRUGO, L. C. Determinação de compostos bioativos em amostras comerciais de café torrado. **Química nova**, v. 28, n. 4, p. 637-641, 2005.
- MOREIRA, D. H. F. et al. Análise da secagem de café em secador solar passivo direto. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 9, p. 16556-16573, 2019.
- MORGANO, M. A. et al. Determinação de umidade em café cru usando espectroscopia NIR e regressão multivariada. **Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 12-17, 2008.
- MORI, A. L. B. et al. Sensory profile of conilon coffee brews from the state of Espírito Santo, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 1061-1069, 2018.
- MURKOVIC, M., DERLER, K. Analysis of amino acids and carbohydrates in green coffee. **Journal of Biochemical and Biophysical Methods**, v. 69, p. 25-32, 2006.
- NASCIMENTO, E. A. et al. Análise dos odorantes potentes presentes nos cafés arábicas da Colômbia e do sul de Minas Gerais. **Cafeicultura**, ano 4, n.11, p. 24-26, 2006.
- NAVEED, M. et al. Chlorogenic acid (CGA): A pharmacological review and call for further research. **Biomedicine & pharmacotherapy**, v. 97, p. 67-74, 2018.
- NELSON, N. A photometric adaptation of Somogy method for determination of glucose. **Journal of Biological Chemists**, n. 153, p. 375, 1994.
- NOBRE, G. W. **Alterações qualitativas do café cereja descascado durante o armazenamento**. 2005. 135 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- NOBRE, G. W. et al. Composição química de frutos imaturos de café arábica (*Coffea arabica* L.) processados por via seca e via úmida. **Coffee Science**, v. 6, n. 2, p. 107-113, 2011.
- OESTREICH-JANZEN, S. Chemistry of Coffee. Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering. **In: Elsevier Cambridge**, Hamburg, 2013.
- OIC – Organização Internacional do Café. Relatório sobre o mercado cafeeiro, 2021. Disponível em:

http://www.consorcioquesquisacafe.com.br/images/stories/noticias/2021/dezembro/relatorio_oic_outubro_2021.pdf. Acesso em: 10 julho 2022.

OLIVEIRA, J. et al. Café Especial: Agregação de Valor ao Tradicional Café. (2012). **Revista Eletrônica de Comunicação**. v. 3, p. 1-8. Disponível em: <http://periodicos.unifacel.com.br/index.php/rec/article/view/445>. Acesso: 31 Mar. 2020.

PARTELLI, F. L. et al. Qualidade do café conilon, seco em terreiro de estufa com beneficiamento antecipado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 5, p. 2367-2372, 2014.

PEREIRA, R. B. et al. Extrato de casca de café, óleo essencial de tomilho e acibenzolar-S-metil no manejo da cercosporiose-do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 10, p. 1287-1296, 2008.

PEREIRA, R. G. F. A. **Efeito da inclusão de grãos defeituosos na composição química e qualidade do café (*Coffea arabica* L.) “Estritamente Mole”**. 1997. 96p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

PEREIRA, V. V. et al. Análise sensorial da bebida de genótipos de café arábica resistentes à ferrugem de acordo com o processamento pós-colheita. **In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, ed. 10, Brasília, Embrapa Café, 6 p. 2019.

PIMENTA, C. J. et al. Peso, acidez, sólidos solúveis, açúcares e compostos fenólicos em café (*Coffea arabica* L.), colhidos em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Armazenamento**, n.1, p. 23-30, 2000.

PIMENTA, C. J. Qualidade de café. 3º ed., Lavras, **Editora UFLA**, 304 p., 2003.

PIMENTA, C. J., PIRES, A. O Convênio de Taubaté e a Economia Cafeeira de Minas Gerais – 1906/1929. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, G&DR**. v. 4, n. 3, p. 138-169, 2008.

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.

POISSON, L. et al. The chemistry of roasting—Decoding flavor formation. In: The craft and science of coffee. **Academic Press**, p. 273-309, 2017.

PRETE, C. E. C. **Condutividade elétrica do exsudato de grão de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. 1992, 125 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1992.

RAGHAVAN, B.; RAMALAKSHMI, K. Coffee: chemistry and technology of its processing. **Indian Coffee**, Bangalore, v.62, n. 11, p. 3-11, 1998.

RASTRO RURAL – Revista Rastro Rural. (2019). Ajuste de rendimento em cafés colhidos em diferentes estágios de maturação. Disponível em: <https://www.rastrorural.com.br/index.php/agricultura/item/1304-ajuste-de-rendimento-em-cafes-colhidos-em-diferentes-estagios-de-maturacao>. Acesso em: 01 Abr. 2020.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9–10, p. 1231– 1237, 1999.

RIBEIRO, B. B. et al. Avaliação química e sensorial de blends de *Coffea canephora* Pierre e *Coffea arabica* L. **Coffee Science**, v. 9, p. 178, 2014.

RIBEIRO, F. C. et al. Storage of green coffee in hermetic packaging injected with CO₂. **Journal of Stored Products Research**, v. 47, p. 341-348, 2011.

RODRIGUES, C. I. et al. Application of solid-phase extraction to brewed coffee caffeine and organic acid determination by UV/HPLC. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 20, n. 5, p. 440-448, 2007.

SANTOS, R. A. D. et al. Análises de açúcares e ácidos clorogênicos de cafés colhidos em diferentes estádios de maturação e após o processamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.

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

SCA – Specialty Coffee Association. Cupping Specialty Coffee. (2015). Disponível em: <<http://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2020.

SCHENKER, S. et al. Pore structure of coffee beans affected by roasting conditions. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 3, p. 452-457, 2000.

SILVA, P. A. et al. Quality assessment of coffee grown in Campos Gerais, Minas Gerais State, Brazil. **Acta Scientiarum Technology**, v. 36, n. 4, p. 739-744, 2014.

SILVA, P. A. et al. Quality assessment of coffee grown in Campos Gerais, Minas Gerais State, Brazil **Acta Scientiarum Technology**, v. 36, n. 4, p. 739-744, 2014.

SILVA, R. P. G. et al. Qualidade de grãos de café (*Coffea arabica* L.) armazenados em coco, com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Armazenamento**, n. 3, p. 3-10, 2001.

SINGLETON, V. L. et al. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In: Methods in enzymology, **Academic press**, n. 299, p. 152-178, 1999.

SIQUEIRA, H. H. de & ABREU, C. M. P. de. Composição físico-química e qualidade do café submetido a dois tipos de torração e com diferentes formas de processamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 1, p. 112-117, 2006.

SIVETZ, M.; DESROSIER, N. W. Physical and chemical aspects of coffee. **Coffee Technology, Westport**, p. 527-575, 1979.

SOUZA, S. M. C. **O café (*Coffea arabica* L.) na região sul de Minas Gerais: relação da qualidade com fatores ambientais, estruturais e tecnológicos**. 1996, 171 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

SOUZA, F. F. et al. Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia. **Embrapa Rondônia**, Porto Velho, 26 p., 2004.

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

SUNARHARUMA, W. B. et al. Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. **Food Research International**, v. 62, n. 1, p. 315–325, 2014.

TAVEIRA, J. H. D. S. et al. Perfis proteicos e desempenho fisiológico de sementes de café submetidas a diferentes métodos de processamento e secagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1511-1517, 2012.

TOCI, A. et al. Efeitos do processo de descafeinação com Diclorometano sobre a composição química dos cafés arábica e robusta antes e após a torração. **Revista Química Nova**, v. 29, n. 5, p. 965-971, 2006.

TORRES, L. M. **Compostos bioativos, ácidos orgânicos, atividade antioxidante e suas correlações com a qualidade da bebida de café arábica**. 2014, 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2014.

VIGNOLI, J. A. et al. Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The influence of processing conditions and raw material. **Food Chemistry**, v. 124, n. 3, p. 863-868, 2011.

VIGNOLI, J. A. et al. Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of arabica and robusta coffees. **Food Research International**, v. 61, p. 279-285, 2014.

VITORINO, M.D. et al. Metodologias de obtenção de extrato de café visando a dosagem de compostos não voláteis. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 26, p. 17-24, 2001.