



DANILO BARBOSA CARDOSO

**ESTUDOS PARA A DISPONIBILIZAÇÃO DE
METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA
QUALIDADE DE GRÃOS DE CAFÉ**

LAVRAS - MG

2016

DANILO BARBOSA CARDOSO

**ESTUDOS PARA A DISPONIBILIZAÇÃO DE METODOLOGIAS DE
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE GRÃOS DE CAFÉ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Processamento de Produtos Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa

Orientadora

Prof. Dr. Cristiano de Mello Gallep

Profa. Dra. Aline da Consolação Sampaio Clemente

Coorientadores

LAVRAS - MG

2016

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Cardoso, Danilo Barbosa.

Estudos para a disponibilização de metodologias de avaliação da
qualidade de grãos de café / Danilo Barbosa Cardoso. – Lavras :
UFLA, 2016.

91 p. : il.

Dissertação(mestrado acadêmico)–Universidade Federal de
Lavras, 2016.

Orientadora: Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa.

Bibliografia.

1. Composição Química. 2. Biofotônica. 3. Análise de imagem.
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

DANILO BARBOSA CARDOSO

**ESTUDOS PARA A DISPONIBILIZAÇÃO DE METODOLOGIAS DE
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE GRÃOS DE CAFÉ
STUDIES FOR THE PROVISION OF METHODOLOGIES FOR
EVALUATING THE QUALITY OF COFFEE GRAIN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Processamento de Produtos Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 20 de abril de 2016.

Dr. Marcelo Ribeiro Malta

EPAMIG Lavras

Prof. Dra. Aline da Consolação Sampaio Clemente

UFLA

Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa
Embrapa Café - Orientadora

Prof. Dr. Cristiano de Mello Gallep
DTT/FT - UNICAMP - Coorientador

LAVRAS - MG

2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Lavras pela minha formação, pelo apoio concedido pelos Departamentos. Agradeço à Embrapa pelo apoio ao projeto, ao Capes pelo financiamento e apoio enquanto fui bolsista.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pelo aprendizado disponibilizado por meio dos professores e do meu orientador.

Agradeço aos amigos do Laboratório Central de Sementes e do Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas, da Universidade Federal de Lavras, do Laboratório de Qualidade do Café, Dr. Alcides Carvalho, da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, no município de Lavras/MG e do Laboratório de Fotônica Aplicada (LaFA), da Faculdade de Tecnologia da UNICAMP, em Limeira/SP.

Agradeço à Cooxupé (Cooperativa Regional de Cafeicultores de Guaxupé) pela disponibilização das amostras avaliadas neste trabalho.

Agradeço, em especial, à minha orientadora Sttela Dellyzete pelos conselhos que, somente ela, com sua experiência, saberia me auxiliar. Agradeço sua orientação, em todos os momentos, a compreensão e o apoio que sempre me ofereceu. Agradeço o conhecimento passado para mim em todos os momentos.

Agradeço a orientação e o apoio dados pelos meus coorientadores professores Aline da Consolação Sampaio Clemente e Cristiano de Mello Gallep.

Agradeço, em especial, também, às amigas Roseane Maria Evangelista Oliveira e Marcela Pedroso Mendes Resende para a conclusão deste trabalho.

Agradeço à minha família por todo o apoio durante este período.

E a todos que de alguma maneira contribuíram para realização desta dissertação.

RESUMO

A produção e a comercialização de grãos de café dependem da avaliação da qualidade, a qual é realizada, por meio de testes e análises obrigatórias, cujos resultados devem garantir a identidade, origem e a qualidade mínima exigida. Mas, atualmente, essas avaliações são feitas por pessoas podendo ter subjetividade nos resultados. Neste contexto, a disponibilização aos produtores de análises e testes rápidos, simples, confiáveis, econômicos e de fácil padronização, contribuindo para o aperfeiçoamento dos processos produtivos, é de fundamental importância para a sustentabilidade do agronegócio café. A análise de imagens tem se destacado como uma técnica não destrutiva, rápida, objetiva e, extremamente, eficiente para a investigação da qualidade não só de sementes, mas, também de grãos. Dentre as técnicas avaliadas neste trabalho, a detecção do decaimento da luz ultrafraca (DL) tem se mostrado com um alto potencial de utilização, para avaliar qualidade de grãos de outras culturas, com a vantagem de ser um método não destrutivo. Outra técnica associada a programas computacionais que utiliza a análise de imagens é o equipamento SAS (Sistema de Análise de Sementes), desenvolvido, especificamente, para análise visual das sementes, grãos e plântulas. Após a obtenção das amostras disponibilizadas pela Cooxupé, foram feitas as análises sensoriais, de acordo com o protocolo da SCAA e da IN 8, avaliação no SAS, avaliação do comportamento da DL e análises químicas. Posteriormente os dados foram analisados para identificar a possível relação entre as informações coletadas e a qualidade de bebida. Apesar dos novos equipamentos utilizados neste trabalho terem mostrado uma boa utilização, para avaliação de outros parâmetros de qualidade dos lotes de grão cru, esses parâmetros não têm uma relação direta com a qualidade final da sua bebida.

Palavras-chave: *Coffea arábica* L.. Composição química. Análise de imagem. Análise sensorial. Biofotônica. Luminescência Retardada.

ABSTRACT

The production and trading of coffee grains depend on quality evaluation, which is conducted by means of mandatory tests and analyses, of which results must guarantee the identity, origin and minimum quality demanded. However, currently, these evaluations are done by people, with the results being susceptible to subjectivity. In this context, the availability of quick, simple, trustworthy, economic and of easy standardization tests and analyses to the producers, contributing for the improvement of the productive processes, is of paramount importance for the sustainability of coffee agribusiness. The analysis of images has been highlighted as a non-destructive, quick, objective and extremely efficient technique for analyzing the quality of not only seeds, but also grains. Among the techniques evaluated in this work, ultra-weak light decay detection (DL) has presented high potential for evaluating the quality of grains from other cultures, with the advantage of consisting of a non-destructive method. Another technique associated to computer programs that use image analysis is the SAS equipment (Seeds Analysis System), specifically developed for the visual analysis of seeds, grains and plantlets. After obtaining the samples made available by Cooxupé, sensorial analysis were conducted according to SCAA and IN 8 protocol, evaluation using the SAS, evaluation of DL behavior and chemical analyses. Posteriorly, the data were analyzed to identify the possible relation between the collected information and the quality of the beverage. Despite the new equipment used in this work having showed good use for evaluating other quality parameters of the lots of raw grain, these parameters have no direct relation to the final quality of the beverages.

Keywords: *Coffea arabica* L. Chemical composition. Image analysis. Sensorial analysis. Biophotonics. Delayed luminescence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fórmula estrutural da molécula de cafeína.	25
Figura 2 - Decaimento hiperbólico de sementes vivas (a) e exponencial para sementes mortas (b) de trigo.	29
Figura 3 - Diagrama da instrumentação para contagem de biofótons.....	40
Figura 4 - Amostra de café na câmara escura.....	41
Figura 5 - Equipamento SAS (Sistema de análise de sementes).....	42
Figura 6 - Exemplo da interface gráfica do software do SAS.....	43
Figura 7 - Biplot dos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para as características catação (CAT), defeito (DEF), tipo (TIP), ausência de defeito (AUD) e uniformidade (UNI) dos tratamentos EM, M, AM, D, RIO, RI.	49
Figura 8 - Biplot dos componentes principais (PC1 e PC2) para as características da análise sensorial: aroma (ARO), doçura (DOC), sabor (SAB), acidez (ACI), corpo (COR), equilíbrio (EQU), final (FINAL), finalização (FIN) e nota total (TOT) dos tratamentos.	52
Figura 9 - Biplot dos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para as características relacionadas ao teor de açúcares das sementes: sólidos solúveis (SS), açúcares não redutores (ANR), açúcares redutores (ARD), e açúcares totais (AT) dos tratamentos.	55
Figura 10 - Biplot dos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para as características: condutividade elétricas (CE) e lixiviação de potássio (LK) dos tratamentos EM M, AM, D, RIO e RI.	58

- Figura 11 - Biplot dos componentes principais (PC1 e PC2) para as características relacionadas a composição química dos grãos: proteína bruta (PTB), extrato etéreo (EXE), cafeína (CAF), polifenóis totais (POL) e polifenol oxidase (PPO) dos tratamentos.61
- Figura 12 - Biplot dos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para açúcares totais (AT) e polifenóis totais (POL) dos tratamentos estritamente mole (EM), mole (M), apenas mole (AM), duro (D), rio (RIO) e riado (RI).65
- Figura 13 - Biplot dos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para os resultados da análise de imagem utilizando o biofóton dos tratamentos estritamente mole (EM), mole (M), apenas mole (AM), duro (D), rio (RIO) e riado (RI).67
- Figura 14 - Biplot dos dois primeiros componentes principais para os resultados das análises para as características de efericidade da forma (EFO), área (AR), circularidade (CIR), diâmetro contido (DCON), extensão (EXT), irregularidade do contorno (ICON), perímetro (PER) e text. Fourrie med. Magnitudes (TFMM) dos grãos dos diferentes padrões de bebidas.72

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Valores médios de catação (CT), defeitos (DT) e Tipo dos diferentes padrões de bebida do café (estritamente mole (EM), mole (ML), apenas mole (AM), duro (DR), riada (RD) e rio (RI)).47
- Tabela 2 - Valores médios das notas na análise sensorial para avaliação da qualidade de bebida por meio de fragrância (FG), uniformidade (UNI), ausência de defeitos (AUS), doçura (DR), sabor (SB), acidez (AD), corpo (CP), finalização (FL), equilíbrio (EQ), final (FN) e nota total (TT), dentro da classe de bebida.....50
- Tabela 3 - Valores médios dos teores de sólidos solúveis (SS), açúcares redutores (AR), açúcares não redutores (ANR) e açúcares totais (AT) de diferentes padrões de bebida do café (estritamente mole (EM), mole (ML), apenas mole (AM), duro (DR), riado (RD) e rio.....54
- Tabela 4 - Valores médios das variáveis analisadas: umidade, condutividade elétrica (CE) e lixiviação de potássio (LK) de diferentes padrões de bebida do café (estritamente mole (EM), mole (ML), apenas mole (AM), duro (DR), riado (RD) e rio (RI)).57
- Tabela 5 - Análises físico-químicas de polifenoxidase (PPO), polifenóis (POL), proteína bruta (PTB), extrato etéreo (EXE) e cafeína (CAF) de grãos de cafés classificados em bebidas estritamente mole (EM), mole (ML), apenas mole (AM), duro (DR), riada (RD) e Rio.60

Tabela 6 - Parâmetros do decaimento hiperbólico da DL das amostras estudadas.....	67
Tabela 7 - Valores médios dos parâmetros colorimétricos L*, a*, b* dos grãos de café de diferentes padrões de bebida (estritamente mole (EM), mole (ML), apenas mole (AM), duro (DR), riado (RD) e rio (RI)).	69
Tabela 8 - Valores médios dos parâmetros canal verde e vermelho das duas faces dos grãos de café (plana e convexa) de diferentes padrões de bebida do café (estritamente mole (EM), mole (ML), apenas mole (AM), duro (DR), riado (RD) e rio (RI)).	70
Tabela 9 - Valores médios dos parâmetros área, circularidade, textura, diâmetro contido e extensão dos grãos de café de diferentes padrões de bebida do café (estritamente mole (EM), mole (ML), apenas mole (AM), duro (DR), riado (RD) e rio (RI)).	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Importância do café no Brasil	15
2.2	Avaliação da qualidade do café	16
2.3	Análise sensorial	17
2.4	Composição química do café	20
2.4.1	Açúcares	21
2.4.2	Umidade	22
2.4.3	Compostos Fenólicos	22
2.4.4	Proteínas	23
2.4.5	Lipídeos	23
2.4.6	Cafeína	24
2.5	Condutividade elétrica, lixiviação de potássio e polifenoloxidase	25
2.6	Técnica de biofotônica na análise da qualidade de materiais biológicos	27
2.7	Técnicas de análise de imagens para avaliação da qualidade	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1	Caracterização do experimento	35
3.2	Avaliações	35
3.2.1	Análise sensorial	36
3.2.2	Sólidos solúveis	37
3.2.3	Açúcares totais, redutores e não redutores	37
3.2.4	Determinação do teor de água	37
3.2.5	Condutividade elétrica	37
3.2.6	Lixiviação de potássio	37
3.2.7	Atividade da polifenoloxidase	38
3.2.8	Polifenóis	38
3.2.9	Proteína bruta	38
3.2.10	Extrato etéreo	39
3.2.11	Cafeína	39
3.3	Análise da biofotônica	39
3.4	Análises de imagens	42
4	DELINEAMENTO ESTATÍSTICO	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1	Análises físicas	47
5.2	Análise sensorial	50
5.3	Análises químicas	53

5.4	Análises de umidade, condutividade elétrica (CE) e lixiviação de potássio (LK)	56
5.5	Análises físico-químicas	59
5.6	Teor de açúcares total (AT) x polifenóis totais (POL)	64
5.7	Análises biofotônicas	66
5.8	Análise de imagens SAS	68
5.8.1	Canal vermelho, verde e azul (RGB)	70
5.8.2	Área, circularidade, textura, diâmetro contido e extensão	71
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
7	CONCLUSÕES	77
	REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

Testes e análises da avaliação da qualidade são fundamentais para a determinação da identidade e da característica de um produto, visando a sua utilização, transporte, comércio ou fiscalização. No agronegócio café, avaliações da qualidade são, frequentemente, realizadas tais como as análises de avaliação sensorial e de classificação de grãos de café.

O café é um importante produto da balança comercial brasileira e, a partir da década de 90, a sua qualidade passou a ser um aspecto diferencial para a atribuição de preços nos mercados nacional e internacional. A análise sensorial é um aspecto importante, na avaliação da qualidade dos cafés, sendo uma análise que envolve um conjunto de técnicas de avaliação, baseadas nas percepções, sensações e reações do avaliador, incluindo a sua aceitação ou rejeição.

No entanto o resultado apenas da análise sensorial da prova de xícara, para a avaliação e classificação de cafés, quanto à qualidade da bebida, pode ser pouco consistente, além de ser de difícil padronização, visto que os dados são subjetivos e que dependem de vários fatores, como do próprio avaliador.

Pesquisadores têm investigado marcadores menos subjetivos que contribuam, para a aferição da qualidade dos cafés e, por meio de pesquisas recentes, tem sido identificada uma intensa relação entre a qualidade sensorial da bebida e a qualidade fisiológica dos grãos de café, permitindo o uso de testes de sementes para a avaliação de grãos de café.

Os métodos que empregam visão artificial e processamento de imagens ocupam um lugar de destaque, em pesquisas, por serem métodos rápidos, objetivos, pouco onerosos, compacto e, hoje, vêm sendo utilizados em variados meios da indústria. Diferentes equipamentos e técnicas vêm surgindo visando facilitar a análise de materiais biológicos, dentre eles o SAS[®] - Sistema de Análise de Sementes - e uma instrumentação desenvolvida, no Laboratório de Fotônica Aplicada (LaFA) da Faculdade de Tecnologia, em Limeira, para

medições das emissões ultrafracas de fótons, tanto de natureza espontânea quanto estimuladas.

O equipamento SAS[®] é uma solução que pode ser utilizada para análise de grãos, sementes e plântulas baseado na tecnologia de diagnose por imagem. Desenvolvido e fabricado pela empresa Tbit Tecnologia e Sistemas S.A., esse equipamento obtém dados que antes eram de difícil obtenção, de forma quase instantânea como, por exemplo, comprimento, área, formato, contagem e cerca de 300 características de cores, textura, geometria e histograma. Pela sua padronização, na captura da imagem e análise, seus dados tornam-se mais confiáveis, melhorando a comparação ou validação dos testes.

Biofótons é um termo utilizado, para a emissão ultrafraca de luz, encontrada em seres vivos, não relacionados a proteínas luminescentes, ocorrendo em amplo espectro de emissão - entre 200 nm e 850 nm - e com baixíssima intensidade (entre 10 e 10^2 fótons.cm⁻².s⁻¹) e vem sendo utilizado, para explorar vários aspectos relacionados a sistemas biológicos, uma vez que os fótons interagem, em nível atômico, molecular e fisiológico, mostrando um alto potencial, para serem utilizados na avaliação da qualidade de diversos produtos. No caso do café, é de extrema importância que a qualidade seja avaliada, por meio de técnicas rápidas, visando à rapidez na tomada de decisões.

Nesse sentido, o objetivo neste trabalho foi investigar metodologias e equipamentos já utilizados, para a avaliação de outros materiais biológicos, para a avaliação da qualidade de grãos de café.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância do café no Brasil

A cafeicultura é uma das principais fontes de divisas para o Brasil que tem se destacado, desde o final do século XIX, como o maior produtor e exportador de café.

Com uma receita bruta nacional estimada, em 2015, de R\$ 17.140.642,22 e com receita, em exportação, na ordem de US\$ 6.158.740,00. A estimativa da produção brasileira, na safra de 2014/2015, foi de 45,639 milhões de sacas de café e a participação brasileira, na produção mundial, foi de 32,1% em 2014 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015).

Nos últimos tempos, a produção de café com qualidade tem valorizado mais os atributos sensoriais e higiênico-sanitários do produto, bem como os aspectos relacionados à proteção ambiental e valorização social. Já quanto à produção de café, 40 a 50% dos grãos são comercializados como cafés de qualidade superior, sendo todo o resto vendido como café commodity no mercado (ZYLBERSZTAJN; FARINA, 2001).

Diante das exigências do mercado consumidor, os cafeicultores necessitam dar mais atenção às diversas etapas da produção tanto na condução da lavoura, quanto na colheita e pós-colheita, uma vez que os atributos físicos e sensoriais, influenciados por estes processos, são decisivos para a classificação dos cafés (ABRAHÃO et al., 2010; PALACIN et al., 2009).

Apesar do grande êxito da cafeicultura brasileira, nas duas últimas décadas, o setor produtivo precisa estar atento às mudanças na demanda dos consumidores. Neste contexto, a qualidade do produto é um fator fundamental na conquista de novos mercados.

Os atributos de qualidade do café englobam uma ampla gama de conceitos, que vão desde características físicas, como origens, cultivares, cor e tamanho, até preocupações de ordem ambiental e social, como os sistemas de produção e as condições de trabalho da mão de obra cafeeira (BRAZILIAN SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION - BSCA, 2015b).

2.2 Avaliação da qualidade do café

A qualidade dos grãos de café é avaliada por suas características físicas e sensoriais, por meio da classificação por peneira, tipo, análise da bebida e pelo aspecto visual (BRASIL, 2003).

O valor comercial dos grãos de café (*Coffea arabica* L.) está, diretamente, relacionado com sua qualidade. Diversos fatores estão associados à qualidade da bebida do café, entre eles, a composição química do grão, determinada por fatores genéticos, culturais e ambientais; os processos pós-colheita; a torração, moagem e o preparo da bebida (ALPIZAR; BERTRAND, 2004; BORÉM, 2008; CARVALHO et al., 1994; FARAH et al., 2006; MALTA; CHAGAS; OLIVEIRA, 2003; PIMENTA et al., 2008). Por isso, os cuidados com a colheita e o manejo pós-colheita são fundamentais para garantir a comercialização e lucro ao cafeeiro (FAVARIN et al., 2004).

A qualidade do café pode ser definida como a união das características físicas do grão cru e torrado com as características sensoriais da bebida, ou seja, é o resultado obtido da interação entre a cultivar, as características edafoclimáticas, a condução e o manejo da lavoura, a colheita, o processamento, a secagem, o armazenamento e o beneficiamento (SALVA, 2007). A qualidade dos grãos pode ser avaliada, por meio de análise sensorial, análises químicas, bioquímicas, bem como fisiológicas.

2.3 Analise sensorial

Um fator determinante de qualidade de um alimento ou bebida é a análise sensorial, uma vez que implica a satisfação do consumidor, a qual envolve um conjunto de técnicas elaboradas com o intuito de avaliar um produto, por meio de percepções, sensações e reações do consumidor sobre as características dos produtos, incluindo a sua aceitação ou rejeição. Na caracterização dos diferentes tipos de café, tem sido uma ferramenta muito importante.

Segundo Chagas (1994) e Cortez (1997), os procedimentos adotados, para avaliação comercial da qualidade do café, estão baseados em características subjetivas, pois dependem de sensações e habilidades pessoais dos provadores, que são adquiridas com muitos anos de experiência. Apesar de a análise sensorial ser a metodologia adotada pela Organização Internacional do Café (OIC), esta, por ser subjetiva, está sujeita a críticas.

Com isso, é de suma importância a complementação dos procedimentos em uso com a adoção de métodos físicos e químicos com objetivo de tornar mais real e objetiva a determinação da qualidade do café (PRETE, 1992).

Vale ressaltar que, embora o produto apresente excelentes características químicas, físicas e microbiológicas, é de suma importância que as características sensoriais atendam aos anseios e às necessidades do consumidor (DELLA LUCIA; MININ; CARNEIRO, 2006).

No Brasil, existe um regulamento técnico de identidade e de qualidade, para a classificação do café beneficiado grão cru, a classificação da bebida do café é definida, sensorialmente, de acordo com o aroma e o sabor, por meio da “prova de xícara”, sendo realizada por provadores treinados, que distinguem diferentes padrões sensoriais de bebida, classificando-os em grupo e subgrupo (BRASIL, 2003). De acordo com esse regulamento, a separação por grupo

ocorre, de acordo com o seu aroma e sabor, os quais, também, são classificados em dois grupos: Arábica e Conilon.

Grupo I Arábica – possui sabor mais suave e acentuado, aromático e menor quantidade de cafeína do que o conilon. Esse grupo divide-se em subgrupos que são as bebidas finas e fenicadas.

Bebidas Finas

Estritamente Mole: café que apresenta, em conjunto, todos os requisitos de aroma e sabor “mole”, porém mais acentuado.

Mole: café que apresenta aroma e sabor agradável, brando e adocicado. Um café suave e equilibrado.

Apenas Mole: café que apresenta sabor, levemente, doce suave, mas sem adstringência ou aspereza de paladar.

Duro: café que apresenta sabor acre, adstringente e áspero, porém não apresenta paladares estranhos. Identifica uma bebida encorpada e agradável.

Bebidas Fenicadas

Riado: café que apresenta leve sabor, típico de iodofórmio.

Rio: café que apresenta sabor típico e acentuado de iodofórmio. Um café de sabor intenso e marcante.

Rio Zona: café que apresenta aroma e sabor muito acentuado, assemelhando ao iodofórmio o ao ácido fênico, sendo repugnante ao paladar.

Grupo II Conilon - mais resistente a pragas, tem sabor e aroma neutros, tendendo para o amargo, apresenta maior quantidade de cafeína. Esse grupo divide-se em subgrupos que são bebidas denominadas excelente, boa, regular e anormal.

Excelente: café que apresenta sabor neutro e acidez mediana.

Boa: café que apresenta sabor neutro e ligeira acidez.

Regular: café que apresenta sabor típico de robusta sem acidez.

Anormal: café que apresenta sabor não característico ao produto.

Entretanto a BSCA (2015a) propõe uma metodologia que avalia os atributos de bebida limpa, doçura, acidez, corpo, sabor, gosto remanescente, balanço e aspecto geral e atribui notas de 0 a 8, de acordo com a intensidade que essas características se apresentaram nas amostras, sendo, por esse motivo, considerada mais objetiva que a “prova de xícara” convencional. Cada amostra recebe uma pontuação pré-estabelecida de 36 pontos, aos quais são incorporadas as notas de cada atributo avaliado. A somatória das notas corresponde à classificação final da bebida. A amostra que apresenta pontuação superior a 80 é classificada como café especial.

Outro método utilizado, para a avaliação sensorial que se tem destacado, para a avaliação da qualidade da bebida de cafés especiais, é o da Specialty Coffee Association of America (SCAA). Nesse método, os atributos são agrupados em duas categorias, sendo uma subjetiva, representada pela fragrância/aroma, sabor, acidez, corpo, equilíbrio, finalização e impressão global, que são pontuados, segundo sua qualidade, em uma escala de 6 a 10 pontos, com intervalos de 0,25 pontos, e outra objetiva, representada pela uniformidade, doçura e xícara limpa (ausência de defeitos). Os atributos objetivos são pontuados, em uma escala de 0 a 10 pontos, sendo atribuídos 2 pontos para cada xícara que apresentar normalidade quanto à uniformidade, à doçura e à xícara limpa, avaliando-se 5 xícaras por amostra. A nota final é obtida pela soma das notas de cada atributo (LINGLE, 2011).

2.4 Composição química do café

No decorrer da maturação dos frutos do cafeeiro, as mudanças metabólicas são intensas e ocorrem alterações importantes nas características físicas (aparência) e na composição química do grão. A coloração da casca passa de verde a vermelha ou amarela pela degradação da clorofila, com síntese ou “desmascaramento” de pigmentos como carotenoides. Ocorre, simultaneamente, a síntese de açúcares, de componentes voláteis (ésteres, aldeídos, cetonas, dentre outros), síntese de ácidos (principalmente de málico e cítrico) e redução de compostos fenólicos responsáveis pela adstringência dos frutos. Essas modificações na composição química vão conduzir o fruto, ao ponto ideal de colheita, no qual os constituintes químicos atingem teores que lhe conferem características peculiares da maturação completa (CARVALHO; CHALFOUN, 1985).

Os teores médios dos principais constituintes químicos dos grãos crus de *Coffea arabica* L., são: água (8 a 12%); proteínas (9 a 16%); minerais (2,5 a 4,5%); lipídios (10 a 18%); carboidratos (20 a 25%); sólidos solúveis (24 a 31%); açúcares totais (5 a 10%); ácidos clorogênicos (2 a 8,4%); cafeína (0,6 a 1,5%); potássio (1,35 a 1,88%) e trigonelina (0,7 a 1,4%). Entretanto podem ocorrer variações na composição química em relação aos fatores genéticos, ambientais e condições de manejo pré e pós-colheita (PRETE, 1992).

A composição química dos grãos nos diferentes estádios de maturação bem como os cuidados na sua colheita e secagem determina o tipo de café a ser obtido. Os grãos verdes colhidos antes que os teores ideais de constituintes químicos fossem atingidos e os grãos ardidos e pretos que tiveram esses teores alterados por microorganismos na colheita, processamento e até mesmo no armazenamento, não podem, portanto, contribuir para a formação de características positivas da bebida (CARDOSO DE ARAÚJO, 2004; PEREIRA, 1997).

A degradação de componentes químicos pelo processamento mal realizado, ou mesmo pela antecipação da colheita podem causar alterações na cor dos grãos de café, fato que pode ser identificado, por meio de análises físico-químicas e, ainda, por análises de imagens.

Lopes (2000), em seus estudos, avaliou alguns constituintes químicos dos grãos crus de uma mistura de frutos de oito cultivares de *Coffea arabica* L. e observou variações significativas nos teores de sólidos solúveis, extrato etéreo, açúcares e proteína bruta. Segundo o mesmo autor, há correlação destes constituintes com a qualidade de bebida, por serem estes compostos os precursores das substâncias responsáveis pelo sabor e aroma da bebida do café.

Aguiar (2001), em seus estudos sobre as características químicas de 15 das principais cultivares e linhagens do café tipo arábica, lançadas pelo IAC, observou diferenças estatísticas significativas para os teores de sacarose, proteína, ácido clorogênico, trigonelina e cafeína.

De acordo com Salva e Lima (2007), a qualidade da bebida está relacionada com os componentes químicos, presentes nos grãos de café, tanto do ponto de vista sensorial, quanto do ponto de vista de saúde do consumidor. Para Farah et al. (2006), o fato de existirem correlações entre a qualidade do café classificado pela prova de xícara e os atributos dos grãos crus e torrados indica que a análise química dos grãos crus pode ser utilizada como uma ferramenta adicional para a avaliação da qualidade do café.

2.4.1 Açúcares

Os açúcares são uma classe de compostos de grande importância no café. Segundo Vilela e Pereira (1998), eles figuram nesses grãos numa faixa entre 5 a 10%. A sacarose, o açúcar mais presente, é encontrada em teores que variam de 1,9 a 10%, enquanto os açúcares redutores variam em teores de 0 a 5%. Esses teores dependem de fatores como local de cultivo e grau de maturação

dos frutos. Esses açúcares apresentam variações, em função do estágio de maturação dos frutos, aumentando de forma gradativa com a evolução da maturação dos frutos (PIMENTA, 2003). Rogers et al. (1999) observaram o dobro de sacarose em grãos de café arábica maduros, em relação ao café robusta.

Os açúcares, juntamente com as proteínas, estão diretamente envolvidos na reação de Maillard, responsável pela coloração escura do café torrado e pela produção dos compostos voláteis que estão relacionados com o sabor e aroma do café (FENNEMA, 1993).

A sacarose, entre os açúcares solúveis do café, é que sofre a maior degradação no processo de torração, é, termicamente, instável e começa a se decompor por volta de 130°C, contribuindo para a formação do aroma, de substâncias poliméricas marrons e dióxido de carbono. Os anidroaçúcares formados, inicialmente, polimerizam-se ou reagem com outros componentes do café, tais como aminoácidos e proteínas (SIVETZ, 1963).

2.4.2 Umidade

O grau de umidade dos grãos de café está, diretamente, relacionado com o tempo de armazenamento do produto, ao passo que altos teores dessa umidade favorecem o maior desenvolvimento de microorganismos que, em sua maioria, são prejudiciais, levando a uma consequente perda de qualidade. Sendo assim, foi indicada pelo Instituto Brasileiro do Café (IBC, 1977) uma faixa ideal de secagem do café em torno de 11 e 13%.

2.4.3 Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos estão presentes no grão de café em grandes proporções. Sua função tem sido associada à inibição de insetos e pragas e, quando encontrados em grandes proporções, são associados à perda de qualidade do café (CLIFFORD, 1985).

No café, os polifenóis contribuem de maneira, altamente, significativa para o sabor e aroma do produto final, contribuindo com a acidez final e adstringência da bebida (SOUZA, 1996). Durante o processamento do café, esses compostos podem ser, parcialmente, isomerizados, hidrolizados ou degradados a compostos de baixo peso molecular. As altas temperaturas observadas no processo de torrefação produzem, também, a formação de lactonas e a sua polimerização com outros componentes do café, para formar melanoidinas, compostos que apresentam propriedades antioxidantes (ABRAHÃO et al., 2008).

2.4.4 Proteínas

As proteínas apresentam-se no café na faixa de 9% a 16% em grãos crus e contribuem de forma marcante no sabor do café, por meio dos produtos de sua decomposição, nas reações de pirólise durante a torração, com liberação de alguns compostos. Vale ressaltar que cafés cultivados em altitudes elevadas liberam e retêm maior quantidade desses compostos no grão torrado, o que contribui para um melhor aroma e boa qualidade desses cafés (PIMENTA, 2003).

As proteínas do café se encontram no citoplasma ou ligadas a polissacarídeos da parede celular. No processo de torração são desnaturadas e os aminoácidos resultantes delas ou livres dão reações de formação de compostos de impacto no flavour do café (CARDOSO DE ARAÚJO, 2004).

2.4.5 Lipídeos

O grão de café cru possui cerca de 12% de óleos e 95% destes sofrem modificações com a torração (CARVALHO et al., 1997). Os óleos atuam como uma peneira seletiva na retenção de substâncias aromáticas dos grãos de café (AMORIM, 1972).

A torração promove hidrólise dos lipídeos e a decomposição, com liberação de ácidos graxos livres e formação de compostos voláteis. Os triglicerídeos do grão do café são pouco afetados pela torração, exceto por uma pequena hidrólise e decomposição com liberação de ácidos graxos livres e formação de produtos voláteis causados, possivelmente, pela oxidação. Sua importância, para a degradação de voláteis, é pela formação de sabores suaves. Muitos lipídeos ficam retidos, na estrutura celular do grão, onde o CO₂ formado na degradação de carboidratos os protege contra oxidações. Contudo, em torrações muito escuras, muitas células sofrem rupturas e o óleo pode migrar para a superfície do grão, ficando susceptível a oxidações (ILLY; VIANI, 1995). Segundo vários autores, os altos teores de óleos encontrados nos grãos são objeto de diversos estudos e têm importante papel na retenção do flavour do café torrado (CARRERA et al., 1998; GONZÁLEZ et al., 2001).

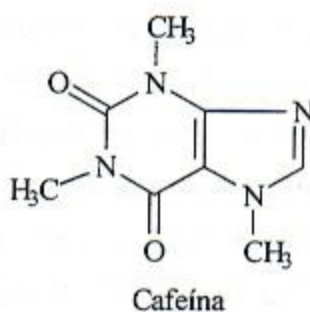
2.4.6 Cafeína

Os teores de cafeína no café mostram-se na faixa de 0,2% a 3%, dependendo da espécie em questão, estágio de maturação dos frutos, contaminação por microorganismos, entre outros fatores. O café mostrou-se como primeira fonte de extração desse alcaloide, sendo importante ressaltar que o processo de torração traz alterações mínimas na concentração da cafeína. Trabalhos têm mostrado uma característica das cafeínas em controlar crescimento microbiano e presença de micotoxinas no café, uma vez que quanto maiores os níveis de cafeína, maior a inibição microbiana (CHALFOUN; CHAGAS; PEREIRA, 1999).

A cafeína é inodora e possui sabor amargo bastante característico, contribuindo com uma nota de amargor importante para o sabor e aroma da bebida do café. É o componente do café mais conhecido, em razão de suas propriedades fisiológicas e farmacológicas (ABRAHÃO, 2007).

A cafeína (1,3,7-trimetil-2,6-dioxapurina ou 1,3,7-trimetilxantina) (Figura 1) é o único alcaloide da xantina presente em quantidade significativa no café. É um composto branco de ponto de fusão a 236°C e que sublima a 178°C. É, moderadamente, solúvel em água (4,6%) a 40°C e, também, em solventes orgânicos (MACRAE, 1985).

Figura 1 - Fórmula estrutural da molécula de cafeína.



Fonte: Cardoso de Araújo (2004)

2.5 Condutividade elétrica, lixiviação de potássio e polifenoloxidase

O teste de condutividade elétrica é um método simples, rápido, barato e eficiente e consiste na quantificação dos eletrólitos lixiviados pelos grãos e sementes na água de embebição. Os grãos com baixa qualidade liberam grande quantidade de eletrólitos na solução, resultando em alto valor de condutividade elétrica (BEDFORD, 1974; WOODSTOCK, 1973) ou, em elevadas concentrações de determinados íons, principalmente, potássio (PRETE, 1992). A qualidade da bebida do café pode, também, ser afetada pelas operações, durante o processamento e a secagem, uma vez que estas etapas podem afetar a composição química dos precursores do sabor e aroma da bebida.

Resultados de pesquisas têm demonstrado a associação entre a redução da qualidade sensorial dos grãos de café (SAATH, 2010; TAVEIRA et al., 2012)

com alterações fisiológicas e bioquímicas, tais como o estresse oxidativo, a hidrólise de lipídios, níveis de aminoácidos e carboidratos (SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008), dentre outros.

Enzimas, como catalase, peroxidase, superóxido dismutase e polifenoloxidase atuam como removedoras de “espécies reativas de oxigênio” (EROs) (BERJAK, 2006; PEREIRA, 2010) e estão envolvidas no sistema de proteção contra deterioração.

Ao longo dos processos pós-colheita do café, os grãos estão sujeitos a ações deteriorativas que comprometem a qualidade sensorial. Nos grãos as principais alterações relacionadas ao processo de deterioração são a degradação e inativação de enzimas (COPELAND; MCDONALD, 2001), redução da atividade respiratória (VIDIGAL et al., 2009) e perda de integridade das membranas celulares (MCDONALD, 1999). Portanto estudar os padrões enzimáticos é uma ferramenta importante para compreender os eventos deteriorativos que ocorrem nos grãos e nas sementes.

Vários trabalhos têm associado a atividade da polifenoloxidase com a qualidade sensorial dos grãos de café (CARVALHO et al., 1994; CHAGAS; MALTA; PEREIRA, 2005; MALTA et al., 2013). A oxidação dos polifenóis, pela PFO, pode prejudicar a bebida do café, sendo considerada como uns dos principais indutores da depreciação da qualidade. Além disso, a redução na atividade dessa enzima está relacionada à integridade do sistema de membranas.

No momento em que o sistema de membranas é danificado, a polifenoloxidase é liberada e ativada, oxidando o ácido clorogênico e seus isômeros, conferindo maior adstringência aos frutos (CARVALHO; GOSMANN; SCHENKEL, 2001; SANTANA et al., 2008). Entretanto esses compostos têm importante função antioxidante e de proteção de aldeídos, como ácidos clorogênicos e o cafeico. Quando ocorrem danos nas membranas, essas

enzimas são liberadas e ativadas e podem reagir com substratos fenólicos intra e extracelular e transformá-los em quinonas.

2.6 Técnica de biofotônica na análise da qualidade de materiais biológicos

A biofotônica é uma ciência que trata da interação entre a luz e a matéria biológica. Essa, ultimamente, vem avançando muito com as inovações em outras áreas do conhecimento como eletrônica, computação e fotônica.

As emissões ultrafracas de fótons, provenientes de seres vivos, também, podem ser chamadas de bioluminescência ultrafraca ou “biofótons”. Caracterizam-se por uma emissão eletromagnética espontânea cobrindo a faixa contínua da luz visível e estendendo-se até o ultravioleta e o infravermelho próximo, ou seja, algo em torno de 200 a 850 nm, e intensidades que variam de dezenas até milhares de fótons.cm⁻².s⁻¹, ou de 10⁻¹⁶ a 10⁻¹⁸ W/cm² (DEVARAJ; USA; INABA, 1997; POPP, 2003).

Os biofótons são diferentes de uma bioluminescência comum, como, por exemplo, as do vagalume, pois essa tem uma origem fotoquímica que utiliza proteínas fluorescentes e/ou enzimas da classe luciferase que catalisam esta bioluminescência. Também se diferencia da radiação de calor, na faixa do infravermelho, para a temperatura ambiente.

Outro tipo de emissão de fótons ultrafraca de origem comum à dos biofótons é a Emissão Estimulada ou Luminescência Retardada (no idioma inglês: Delayed Luminescence - DL), que aparece após a estimulação da amostra biológica por uma fonte de luz. Ela apresenta um perfil de decaimento hiperbólico bastante distinto em relação a amostras inanimadas que apresentam decaimento exponencial. Ao término da DL, a emissão de fótons ultrafraca da amostra biológica volta ao estado estacionário de sua emissão espontânea de biofótons que as caracterizam. A emissão espontânea de fótons é influenciada pela temperatura e pelas funções biológicas como a permeabilidade seletiva da

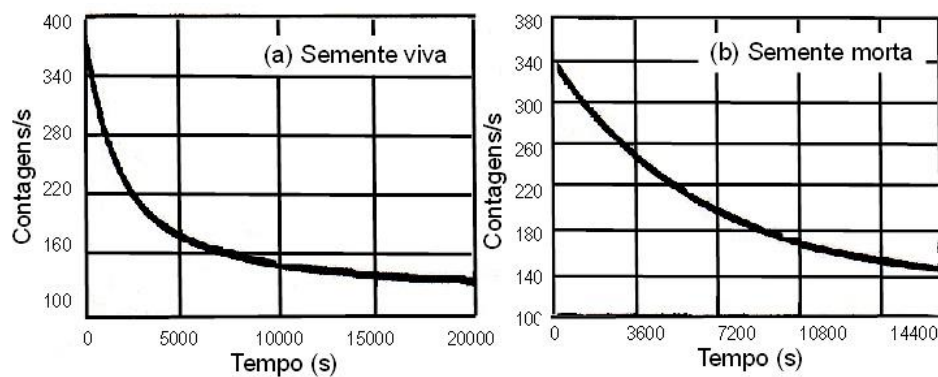
membrana celular e as reações bioquímicas refletindo, diretamente, no comportamento biofotônico (BERTOGNA, 2013).

A partir da descoberta, na década de 50 da foto-emissão pelo grupo de Colli et al. (1955), indicando que a luz emitida no espectro visível pode ser correlacionada com a fisiologia das amostras analisadas, vários pesquisadores têm realizado estudos relacionados à foto-emissão, provenientes de plantas e sementes, indicando formas de correlação com alterações no metabolismo. A concordância entre diversos pesquisadores é que a emissão biofotônica está fortemente ligada com as condições fisiológicas dos organismos analisados, mesmo que sejam por apenas a algumas reações bioquímicas. Fato esse observado, em testes de toxicidade, nos quais a intensidade e distribuição da luz emitida por amostras submetidas a condições de estresse apresentam distúrbios em relação às amostras-controle (MORAES et al., 2010).

Aplicações de técnicas biofotônicas podem ser de grande utilidade, no estudo da aplicação de resíduos urbanos, na agricultura e no monitoramento ambiental, como no tratamento de resíduos pelas próprias indústrias. A biofotônica tem permitido explorar vários aspectos relacionados a sistemas biológicos, uma vez que os fótons interagem em nível atômico, molecular e fisiológico. Desta maneira, eles podem representar componentes químicos e estruturas complexas destes sistemas biológicos.

Zeiger (1998) comprovou a relação direta entre a capacidade de germinação de trigo com o total de emissão espontânea de biofótons. Demonstrou, também, que as sementes vivas apresentam um decaimento de contagens de fótons de modo hiperbólico e as sementes mortas de modo exponencial como mostrado na Figura 2 (a) e (b).

Figura 2 - Decaimento hiperbólico de sementes vivas (a) e exponencial para sementes mortas (b) de trigo.



Fonte: Adaptado de Zeiger (1998)

Outro estudo, também, com trigo correlacionou a intensidade de emissão dos biofótons de sementes expostas a raios gamas e armazenadas e a taxa de germinação, tendo concluído que as medidas realizadas podem ser usadas para determinar o vigor de sementes de trigo (WANG; YU, 2009).

Em trabalhos recentes utilizando a biofotônica, para diferenciar sementes de arroz submetidas a diferentes níveis de estresse, foi demonstrado ser possível detectar diferenças, na emissão de fótons, à medida que as sementes foram expostas ao agente estressante. Desta forma, a técnica de biofotônica tem potencial como uma ferramenta de análise aplicada ao monitoramento de alterações químicas e fisiológicas de sementes (MORAES et al., 2010).

Teste de germinação, em que amostras de plântulas de trigo foram embebidas em fluoreto de sódio e outra em água, foi utilizado para comparar o estresse agudo em mudas. Os testes foram executados, simultaneamente, com emissão de fótons ultrafraco espontâneo e foram medidos, por 24 h, no quarto dia de germinação, em dois sistemas de medição idênticos. Neste sentido, os resultados, para o estresse de germinação, podem ser detectados, em algumas horas após a inoculação, contra alguns dias de procedimento padrão, sendo uma

metodologia de análise confiável e rápida para toxicidade em testes de germinação (BERTOGNA; CONFORTI; GALLEP, 2013).

Gallep et al. (2004), estudando três grupos de sementes de café arábica e três diferentes de café canéfora, todos com alta capacidade de germinação, mediram a luminescência retardada ultrafraca e outros parâmetros dessas amostras e observou que parâmetros relacionados com a DL em sementes de café poderiam ser mais estudados como rotas possíveis para uma abordagem fotônica de viabilidade.

Em outro estudo com sementes de café, realizado por Gallep et al. (2016a), utilizaram-se duas séries de nove grupos de sementes de café com capacidade germinativa diferente e verificaram –se que parâmetros do decaimento hiperbólico da DL tem boa correlação com germinação e vigor (alongamento das plântulas no 15° e 30° após a embebição). Esse trabalho concluiu que, embora limitados em número e alcance da qualidade das sementes, os dados preliminares apresentados mostram que as medições da DL de sementes de café podem ser usadas como um teste rápido não evasivo, não destrutivo, para verificar a viabilidade das amostras e, assim, ajudar na melhoria de tratamentos pós - colheita, métodos de armazenamento e, talvez, também, qualidade da bebida.

Estudos, também, têm relacionado a variação das emissões de biofótons por grãos e plântulas de diferentes espécies com as variações latitudinais. Esses resultados foram observados, em um experimento onde os grãos e plântulas foram transportados de uma região a outra (Brasil e Holanda) e analisados nos dois locais. Os autores verificaram uma correlação entre as variações das análises nos diferentes locais (GALLEP et al., 2016b).

A grande oportunidade, para o desenvolvimento deste método, reside na sua rapidez e no fato de ser um método não destrutivo, características essas

estratégicas, para apoiar a análise da qualidade de bebida de grãos de café, em larga escala.

2.7 Técnicas de análise de imagens para avaliação da qualidade

Os métodos que empregam visão artificial e processamento de imagens ocupam um lugar de destaque em pesquisas (HOWARTH; STANWOOD, 1993). A análise de imagens é um método rápido, objetivo, pouco oneroso, compacto e hoje está difundido em variados meios da indústria. Considerado como um método não destrutivo, sua aplicação, em diversos campos da ciência, tem sido observada, contribuindo no controle de qualidade, na identificação de cultivares, determinação e classificação de sementes, plântulas, danos e avaliações em diversos testes.

Atualmente observa-se a crescente busca por técnicas alternativas que analisem, de forma rápida e não destrutiva, o processo de produção de grãos e sementes de diversas culturas. Um exemplo desse método alternativo é a técnica por análise de imagens que se baseia na aquisição de imagens, por meio de câmeras, scanners e outros equipamentos e, posteriormente, essas imagens são analisadas por um software específico que fornecerá resultados para serem interpretados.

Nesse sentido, diferentes equipamentos e técnicas vêm surgindo visando facilitar a análise por imagem. Dentre eles podemos destacar o SAS - Sistema de Análise de Sementes

Por meio dessa demanda por técnicas rápidas e precisas, a empresa Tbit, que foi incubada na Universidade Federal de Lavras, desenvolveu, em 2011, o equipamento SAS – Sistema de Análise de Sementes, com objetivo de otimizar os recursos humanos e materiais no processo de análise de sementes.

O equipamento é composto por um módulo de captação de imagens e um software para análise e possui três diferentes versões de tecnologias, o SAS

Mini, o SAS Advanced e o SAS Pro. O objeto de estudo é inserido numa bandeja no módulo de captação e as imagens adquiridas são transferidas para um software de análise. Esses resultados poderão ser interpretados por meio de gráficos, histogramas, planilhas e estatística. O equipamento é capaz de gerar inúmeras características de morfologia, textura e coloração do objeto que está sendo estudado e facilitar a interpretação dos resultados.

O SAS permite uma maior versatilidade nas análises, possibilitando a criação de testes próprios e personalizados. Além do grande aumento de produtividade, com análises realizadas em menos de 3 minutos, os parâmetros estabelecidos permitem um maior controle da qualidade das sementes e padronização nas análises. Andrade (2014) concluiu que o tempo médio gasto pelo SAS[®] para realizar a captura das imagens foi de 30 segundos, para cada repetição, confirmando a rapidez e a otimização do processo de análise de imagens computadorizada.

Andrade (2014) verificou que é possível a utilização do equipamento SAS[®] para diferenciação de grupos de cultivares de soja, principalmente, quando se avalia a cor do hilo.

Pinto et al. (2015), em seus estudos com objetivo de adequar uma metodologia de análise de imagens de plântulas de milho pelo SAS, bem como verificar a potencialidade de utilização desse equipamento, na avaliação do potencial fisiológico de sementes de milho, verificaram que a análise de imagem de plântulas pelo equipamento SAS é uma ferramenta potencial na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho.

Segundo Venora et al. (2007), a análise de imagens vem sendo utilizada, em produtos agrícolas, em relação às características morfológicas, ópticas e texturais, de diversos tipos de cereais e leguminosas. No Canadá, um sistema de imagem foi desenvolvido com o objetivo de medir cor e tamanho de sementes a

granel de lentilhas, de forma consistente, para gradação de cores de lentilha de qualidade.

Venora et al. (2007), em seus estudos com lentilhas, utilizando um método em que as imagens foram capturadas por um *scanner* de mesa, para medir o tamanho, forma e cor das sementes e diferenciar cinco variedades, observaram que a análise de imagens, além de mais rápido, é seguro, não destrutivo e apresenta alta repetibilidade. Segundo esses mesmos autores, o método utilizado para avaliação dessas características é a inspeção visual do grão, o que torna a análise lenta e subjetiva.

Jesus et al. (2015), avaliando o potencial do teste modificado de tetrazólio, bem como o corante Azul de Evans, em endospermas dos grãos de café, associando os resultados ao processamento de imagens, para avaliar a qualidade do café, verificaram que os níveis da qualidade da bebida não foram diferenciados pelos padrões de cor do SAS, em endospermas de café, tratados com o sal de tetrazólio. Porém foi possível a identificação da melhor bebida (Estritamente Mole) e, também, das piores bebidas (Rio e Rio Zona) pelo sistema de cor dos endospermas tratados com o corante Azul de Evans associado ao SAS.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do experimento

A pesquisa foi realizada no Laboratório Central de Sementes e no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas, da Universidade Federal de Lavras, no Laboratório de Qualidade do Café Dr. Alcides Carvalho, da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, no município de Lavras/MG e no Laboratório de Fotônica Aplicada (LaFA), da Faculdade de Tecnologia da UNICAMP, em Limeira/SP,

Foram utilizadas amostras extraídas de lotes de café, produzidos por cooperados da cooperativa Cooxupé, caracterizados para a qualidade de bebida, conforme a Instrução Normativa nº 8, de 8 de junho de 2003 (BRASIL, 2003). Para a realização deste trabalho, foram utilizadas amostras de lotes comerciais de grãos café (*Coffea arabica* L.) da safra agrícola 2013/14.

As amostras foram processadas por via seca, originando cafés denominados cafés naturais, os quais foram beneficiadas, separando-se os grãos quanto à forma e tamanho sendo descartado o café que não ficou retido nas peneiras de crivo circular 14/68 de polegada e de crivo oblongo de 9 x 3/4 de polegada. Posteriormente foram retirados, manualmente, os grãos pretos, verdes e ardidos, descritos na Instrução Normativa nº 8 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA (BRASIL, 2003).

Os cafés, após terem sido submetidos ao processamento descrito, anteriormente, foram submetidos à avaliação sensorial, química, bioquímica, análise de imagem no SAS e avaliação da DL, conforme descrição abaixo.

3.2 Avaliações

A seguir estão descritas as avaliações realizadas nas amostras de café.

3.2.1 Análise sensorial

As amostras de café foram classificadas, na prova de xícara, segundo a Instrução Normativa nº 8 do MAPA (BRASIL, 2003), classificando-as em bebida estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riado e rio.

As amostras, também, foram avaliadas por três juízes certificados pela Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA), com a utilização do protocolo utilizado por essa associação, baseado na metodologia proposta por Lingle (2011). Nesse método, os atributos são agrupados em duas categorias, sendo uma subjetiva, representada pela fragrância/aroma, sabor, acidez, corpo, equilíbrio, finalização e impressão global, que são pontuados, segundo sua qualidade, em uma escala de 6 a 10 pontos, com intervalos de 0,25 pontos; e outra objetiva, representada pela uniformidade, doçura e xícara limpa (ausência de defeitos). Os atributos objetivos são pontuados em uma escala de 0 a 10 pontos, sendo atribuídos 2 pontos para cada xícara que apresentar normalidade quanto à uniformidade, à doçura e à xícara limpa, avaliando-se 5 xícaras por amostra. A nota final é obtida pela soma das notas de cada atributo.

Foram torrados 100 g de grãos de cada amostra, dentro do prazo mínimo de 8 e máximo de 24 horas, antes da degustação, sendo o ponto de torra determinado, visualmente, utilizando-se um sistema de classificação de cor por meio de discos padronizados (SCAA/Agtron Roast Color Classification System). A torra do café foi de leve a moderadamente leve, de acordo com o protocolo de análise sensorial da SCAA, cuja coloração deve corresponder a 58 pontos da escala Agtron, para o grão inteiro e 63 pontos, para o grão moído, com tolerância de ± 1 ponto. Durante a torração, fatores como temperatura e cor dos grãos, que afetam o ponto de torra, foram monitorados para que o término dessa etapa seja entre 8 a 12 minutos.

3.2.2 Sólidos solúveis

Foi determinado de acordo com a metodologia descrita na Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990). A partir do percentual de umidade, os dados foram expressos em matéria seca (ms).

3.2.3 Açúcares totais, redutores e não redutores

Foram extraídos pelo método de Lane-Enyon, citado pela AOAC (1990) e determinados pela técnica de Somogy, adaptada por Nelson (1944).

3.2.4 Determinação do teor de água

Foi determinado pelo método de estufa, a $105\pm 1^\circ\text{C}$, por $16\pm 0,5$ horas, conforme o método padrão da ISO 6673 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO, 1999).

3.2.5 Condutividade elétrica

Foi determinada nos grãos crus de acordo com a metodologia proposta por Malta, Pereira e Chagas (2005). Foram utilizados 50 grãos de cada parcela, os quais foram pesados com precisão de 0,001g e imersos em 75 mL de água destilada no interior de copos plásticos de 180 mL de capacidade. Os recipientes permaneceram, em estufa regulada para 25°C , por cinco horas, procedendo-se à leitura da condutividade elétrica da solução de embebição, em aparelho Digimed CD-20. 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.

3.2.6 Lixiviação de potássio

Foi realizada nos grãos crus, segundo metodologia proposta por Prete (1992). Após a leitura da condutividade elétrica, as soluções foram submetidas à determinação da quantidade de potássio lixiviado, sendo a leitura realizada em

fotômetro de chama Digimed NK-2002. Com os dados obtidos, foi calculada a quantidade de potássio lixiviado, expressando-se o resultado em mg.Kg^{-1} .

3.2.7 Atividade da polifenoloxidase

Para extração da polifenoloxidase foi feita uma adaptação do processo descrito por Draetta e Lima (1976). Foram pesados cinco gramas da amostra macerada de grãos, em nitrogênio líquido, aos quais foram adicionados 40 mL da solução tampão de fosfato de potássio 0,1M, pH 6,0. Em seguida, submeteu-se a amostra a um agitador magnético por cinco minutos. Todo o material utilizado foi mantido gelado. Após a agitação, foi feita a filtragem em filtro a vácuo, utilizando-se papel Whatman nº1. A polifenoloxidase foi determinada pelo método descrito por Ponting e Joslyng (1948), utilizando-se o extrato da amostra sem o DOPA, como branco. A atividade enzimática foi expressa em $\text{U.min}^{-1}.\text{g}^{-1}$.massa seca.

3.2.8 Polifenóis

Foram extraídos pelo método de Goldstein e Swain (1963), utilizando como extrator o metanol 50% (U/V) e identificados, de acordo com o método de Folin Denis, descrito pela AOAC (1990). Os resultados foram expressos em porcentagem na matéria seca.

3.2.9 Proteína bruta

A proteína foi analisada pelo conteúdo de nitrogênio total, utilizando método de Micro-Kjeldahl; um fator de 6,25 foi usado, para converter nitrogênio em proteína bruta, segundo normas da AOAC (1990).

3.2.10 Extrato etéreo

Foi determinada em aparelho do tipo de Soxhlet, da marca Tecnal, segundo normas da AOAC (1990). A quantidade de extrato etéreo, presente em cada amostra, foi dada em percentual.

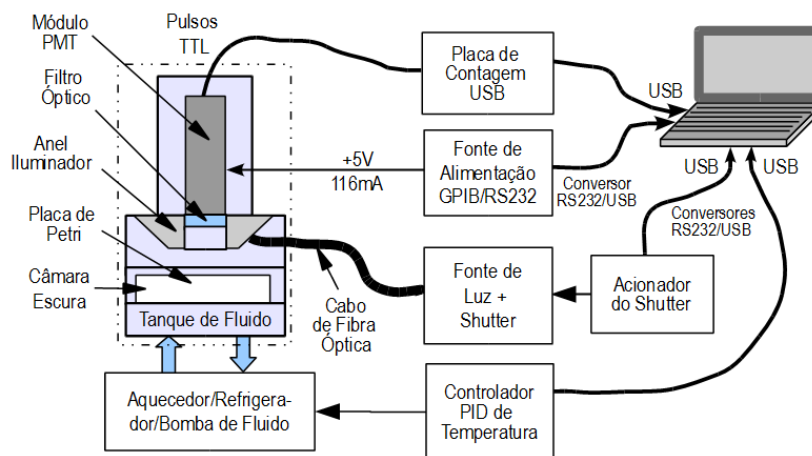
3.2.11 Cafeína

O teor de cafeína foi determinado por espectrofotometria, segundo metodologia, proposta por Li, Berger e Hartland (1990).

3.3 Análise da biofotônica

A instrumentação utilizada é composta de câmara escura portátil, dotada dos sistemas eletrônicos e fotônicos necessários, para a aquisição dos dados de contagem de fótons das emissões de bioluminescência ultrafracas. O elemento central um é um modulo constituído de uma válvula fotomultiplicadora (do idioma inglês: Photomultiplier Tube - PMT), de baixo ruído e demais circuitos eletrônicos, que foram associados a um programa de controle, feito em ambiente LabVIEW, integrando, assim, um sistema automático capaz de fazer aquisições de dados de contagens de fótons provenientes de amostras biológicas de tamanho reduzido (BERTOGNA, 2013).

Figura 3 - Diagrama da instrumentação para contagem de biofótons.



Fonte: Bertogna (2013).

A instrumentação projetada e implementada contou, ainda, com um controle da iluminação de excitação, para ensaios de bioluminescência ultrafraca estimulada e controle de tensão/corrente de alimentação da válvula fotomultiplicadora, controles esses implementados no programa em LabVIEW. O programa permite que o usuário determine o período de tempo da aquisição, proporciona salvamento automático de dados a cada período por este especificado e, ainda, aciona/desaciona a fonte de alimentação do módulo PMT de forma automática (BERTOGNA, 2013).

Na câmara escura, após ser esterilizada com álcool 70%, foram acondicionados em torno de 80 g de grãos de café, preparados para aquisição da Delayed luminescence (DL), de acordo com a Figura 4. O ambiente em que se encontra a instrumentação tem baixa iluminação e temperatura controlada em 20°C.

Figura 4 - Amostra de café na câmera escura.



Com aquisição da delayed luminescence (DL), foi medido 10 vezes sucessivas por amostra, com 4 amostras por lote de grãos de café. Após 0,5 segundos de excitação com luz ultravioleta com comprimento de onda de 345nm, os fótons foram contados pelos próximos 2 segundos, para um total de 20000 pontos de contagem com intervalo de integração discreta de 0,1 ms. Os melhores parâmetros de ajuste, para a curva dos fótons contados, foram baseados em decaimento hiperbólico de equação: $a + b / (1 + c \cdot t)^d$.

Os dados adquiridos pelo sistema de contagem de fótons, em experimentações foram, então, processados, posteriormente, empregando o programa OriginPro versão 8, da empresa OriginLab Corp. Todos os gráficos da evolução temporal das DLs foram alisados por meio da media local dos 100 valores de foto-contagem adjacentes, ocultando, assim, as variações aleatórias do ruído de escuro que são agregados aos sinais.

3.4 Análises de imagens

O equipamento SAS (Sistema de análise de sementes) é composto por um módulo de captação e um *software* para análise. O módulo de captação é composto de uma bandeja de acrílico, na qual é inserido o objeto de estudo, para a captura das imagens de alta resolução.

O *software* para análise gera informações que são capturadas e resultam em gráficos e planilhas que facilitam a interpretação das imagens das sementes.

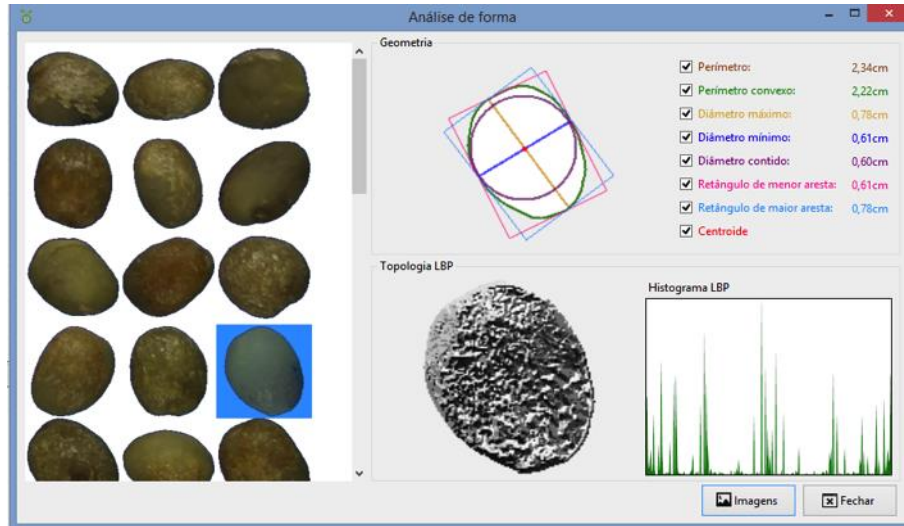
Para cada lote de grãos, foram dispostos, de forma aleatória, sobre a bandeja de acrílico, 100 grãos e isso foi repetido mais 3 vezes, totalizando 4 repetições por lote.

Posteriormente, com o *software* do SAS, foram selecionados, em cada repetição, 40 grãos de café em sua face plana e a mesma quantidade da face convexa. Foi feita essa seleção, para verificar as possíveis diferenças das informações quanto à face de captura de imagem do grão. O trabalho consistiu na verificação de diferenças quanto à cor, textura e geometria, em que foi analisada cada característica do sistema, individualmente, visando identificar a que melhor se aplicar, para correlacionar com os tipos de bebida.

Figura 5 - Equipamento SAS (Sistema de análise de sementes)



Figura 6 - Exemplo da interface gráfica do software do SAS.



4 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

Os testes foram realizados utilizando o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os dados foram submetidos à ANOVA ($p < 0,5$) e as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,5$), utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

Além disso, foi realizada análise de componentes principais - PCA para correlações dos resultados das diferentes variáveis. Primeiramente realizou-se a padronização dos dados (média igual a 0 e variância igual a 1). Com isso, foram colocados os dados, na mesma escala de variação, já que as características foram medidas em escalas diferentes. Pacote: função “prcomp” do pacote “vegan” do software “R”.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises físicas

Observa-se, na Tabela 1 que, para as características físicas avaliadas, houve diferenças significativas ($P < 0,05$).

A bebida estritamente mole apresentou menores valores de catação (8) e defeitos (69), enquanto a bebida riada apresentou os maiores valores (24 e 207) em relação aos demais padrões de bebida (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores médios de catação (CT), defeitos (DT) e Tipo dos diferentes padrões de bebida do café (estritamente mole (EM), mole (ML), apenas mole (AM), duro (DR), riada (RD) e rio (RI)).

	CT (%)	DT	Tipo
Estritamente Mole	8,00 f	69,00 f	5/6
Mole	20,00 b	160,00 b	7
Apenas Mole	16,00 c	130,00 c	6/7
Duro	10,00 e	83,00 e	5/6
Riado	24,00 a	207,00 a	7/8
Rio	11,00 d	93,00 d	6/7
C.V.	0,002	0,004	-
E.P.	0,001	0,006	-

Letras seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

A metodologia de componentes principais é um tipo de análise multivariada que auxilia a melhor compreensão das características investigadas, principalmente, quando são avaliadas muitas características de diferentes unidades (ABDI; WILLIAMS, 2010; PEARSON, 1901). Aliada a essa metodologia, os gráficos do tipo biplot permitem explorar a informação dos tratamentos e das variáveis, simultaneamente, retornando representações gráficas que facilitam, sobremaneira, a interpretação dos resultados.

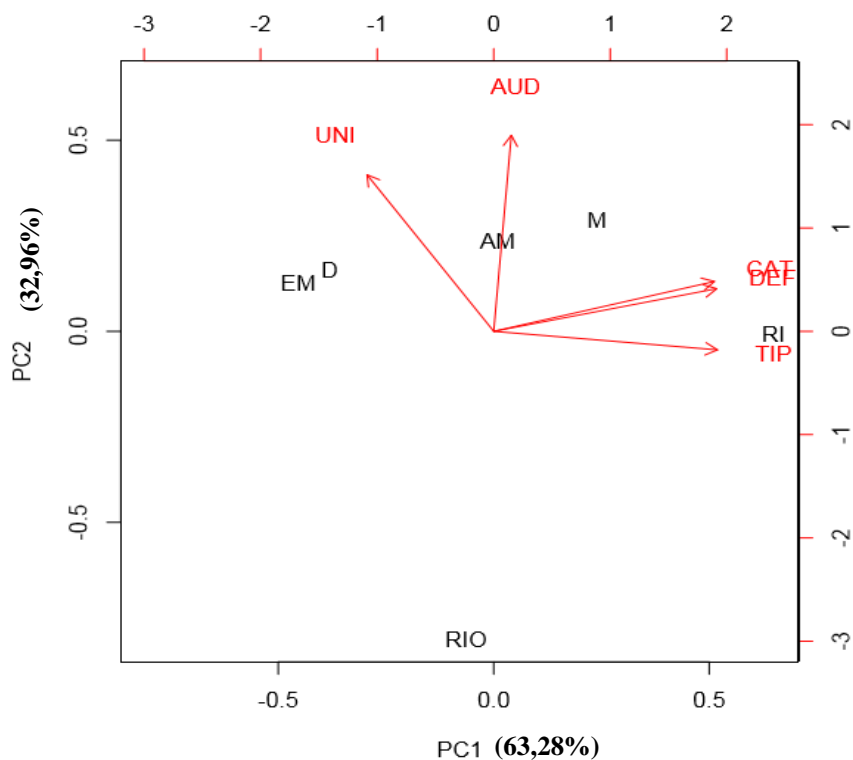
Na representação gráfica, cada eixo do biplot se refere a um componente principal que explica uma porcentagem da variação total entre os tratamentos.

Os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) do biplot referente às características físicas (Figura 7) explicaram 96,24% da variabilidade apresentada pelos tratamentos para catação (CAT), defeito (DEF), tipo (TIP), ausência de defeito (AUD) e uniformidade (UNI). O primeiro componente principal (PC1) foi suficiente para explicar grande parte da variação para CAT, DEF e TIP.

Observaram -se vetores muito próximos, com pequena angulação, principalmente, para CAT, DEF e TIP.

De acordo com Abdi e Williams (2010), quanto menor o ângulo entre os vetores maior a correlação entre essas características. Já a interação entre os tratamentos foi representada pelas iniciais de cada tratamento, de forma que quanto mais próximo um tratamento do outro maior a similaridade entre eles para as características estudadas. Assim, observou-se grande similaridade entre os tipos de bebida mole (M) e apenas mole (AM) e as características AUD e UNI explicaram grande parte dessa similaridade. A características CAT, DEF e TIP mostraram alta correlação com o tratamento riado (RI), e o tratamento rio (RIO) mostrou-se muito discrepante dos demais (Figura 7).

Figura 7 - Biplot dos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para as características catação (CAT), defeito (DEF), tipo (TIP), ausência de defeito (AUD) e uniformidade (UNI) dos tratamentos EM, M, AM, D, RIO, RI.



Segundo Matiello et al. (2010), os problemas relacionados aos principais defeitos do café são provocados, em decorrência do manejo inadequado, comprometendo a sua qualidade e influenciando no valor de venda por parte do produtor rural.

De acordo com Martinez, Tomaz e Sakiyama (2007), os defeitos podem ser classificados em intrínsecos, quando os grãos sofrem alterações em razão dos processos utilizados na agricultura, e os extrínsecos são caracterizados pelas impurezas encontradas no café. Entretanto os grãos pretos são considerados a base dos defeitos encontrados, que podem ser causados pela decomposição no

chão e a alta temperatura, na secagem dos grãos, em segundo lugar, os paus, pedras, brocados, ardidos, conchas e quebrados.

5.2 Análise sensorial

Em relação à qualidade da bebida, as amostras foram degustadas, segundo o protocolo da SCAA, em que são avaliados 10, parâmetros para compor a nota final e, também, de acordo com a “prova da xícara”, da instrução normativa brasileira, em que as amostras são classificadas em diferentes classes.

Na análise sensorial, observou-se que as notas totais aferidas pelos provadores foram proporcionais à classificação das bebidas variando de 84,33 para estritamente mole a 52,00 para a bebida rio (Tabela 2). Observou-se, também, que, para a bebida estritamente mole, obteve-se maior valor de fragrância, sabor, acidez, corpo, equilíbrio e final, não diferindo da bebida mole na fragrância e equilíbrio. A bebida rio apresentou a menor pontuação, para o atributo sensorial doçura, não se diferenciando, significativamente, da bebida rio para os demais atributos.

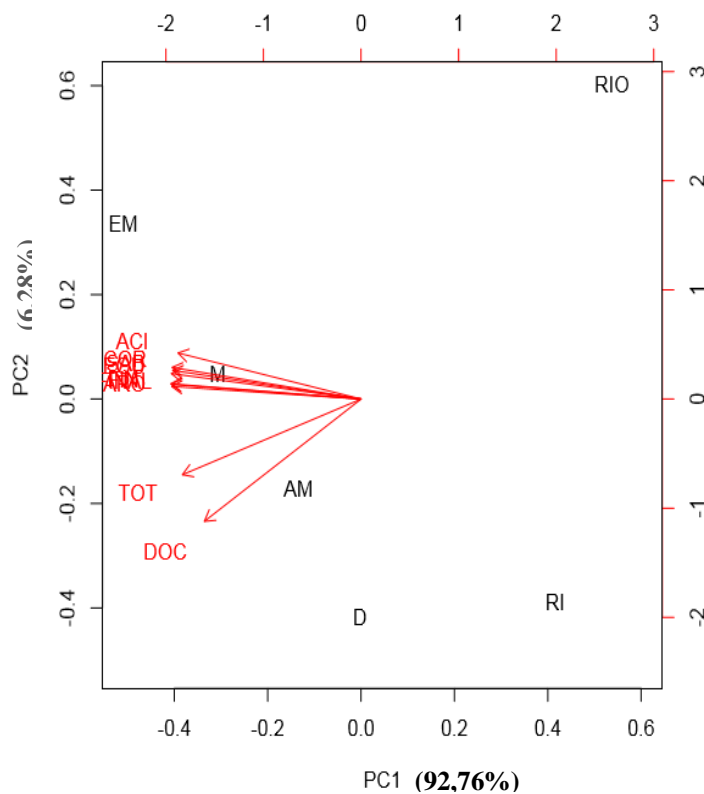
Tabela 2 - Valores médios das notas na análise sensorial para avaliação da qualidade de bebida por meio de fragrância (FG), uniformidade (UNI), ausência de defeitos (AUS), doçura (DR), sabor (SB), acidez (AD), corpo (CP), finalização (FL), equilíbrio (EQ), final (FN) e nota total (TT), dentro da classe de bebida

Padrões de bebida	FG	UNI	AUS	DR	SB	AD	CP	FL	EQ	FN	TT
EM	7,83 a	10	10	10,00a	8,00a	7,67a	7,83a	7,67a	7,67a	7,67a	84,33a
ML	7,50 a	10	10	10,00a	7,67b	7,17b	7,33b	7,33a	7,33a	7,17b	81,5b
AM	7,00 b	10	10	10,00a	7,00c	7,00b	7,00b	7,00b	7,00b	7,00b	79,00c
DR	7,00 b	10	10	10,00a	6,83c	6,33c	6,68c	6,83b	6,67c	6,83b	77,17c
RD	6,00 c	6	10	8,67 a	6,00d	6,00c	6,00d	6,00c	6,00d	6,00c	66,6d
RI	6,00 c	6	6	6,00 b	6,00d	6,00c	6,00d	6,00c	6,00d	6,00c	52,00e
C.V.	3,42	-	-	10,35	2,41	3,05	4,24	4,24	3,01	3,01	1,47
E.P.	0,14	-	-	0,54	0,10	0,20	0,17	0,16	0,12	0,12	0,62

Letras seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Os dois primeiros componentes principais do biplot referente às características relacionadas à qualidade de bebida (Figura 8) explicaram 99,04% da variabilidade apresentada pelos tratamentos para aroma (ARO), doçura (DOC), sabor (SAB), acidez (ACI), corpo (COR), equilíbrio (EQU), final (FINAL), finalização (FIN) e nota total (TOT). Todas as características apresentaram alta correlação, mostrando vetores muito próximos e, às vezes, até coincidentes. Por isso, grande parte da variação poderia ser explicada apenas pelo primeiro componente principal (PC1) da análise PCA, em torno de 92,76% da variação para todas as características. Observou-se similaridade entre os tratamentos M, EM e AM e alta correlação destes com as características avaliadas, confirmando a importância dessas características para a classificação de cafés de alta qualidade. Os tratamentos D e RI e, especialmente, o RIO mostraram-se discrepantes dos demais.

Figura 8 - Biplot dos componentes principais (PC1 e PC2) para as características da análise sensorial: aroma (ARO), doçura (DOC), sabor (SAB), acidez (ACI), corpo (COR), equilíbrio (EQU), final (FINAL), finalização (FIN) e nota total (TOT) dos tratamentos.



A similaridade apresentada entre o lote classificado em bebida apenas mole e mole pode ser em virtude da própria similaridade da descrição da IN n° 8 em que se afirma:

Apenas Mole: café que apresenta sabor levemente doce suave, mas sem adstringência ou aspereza de paladar.

Mole: café que apresenta aroma e sabor agradável, brando e adocicado. Um café suave e equilibrado.

Mostra-se, assim, a subjetividade da avaliação de qualidade de bebida, presente nessa instrução, demonstrando mais uma vez a necessidade de desenvolvimentos de técnicas auxiliares mais objetivas de avaliação de qualidade.

Os atributos especiais, determinados para cada tipo de café, estão relacionados com sua composição balanceada de acidez, doçura, corpo e aroma. Para o café ser considerado de boa qualidade, deve apresentar bebida com bom aroma, bom corpo, boa acidez e suavidade, cor e aspecto homogêneos. Além disso, não deverá conter os defeitos verdes, verde-escuros, preto-verdes, ardidos e pretos (CARVALHO JÚNIOR et al., 2003).

Na avaliação de cafés de qualidade, não só a nota global da bebida é importante, mas também as pontuações obtidas em cada um dos atributos que compõem a qualidade global do café, tendo em vista a identificação de características sensoriais distintas entre diferentes amostras e, ao mesmo tempo, a definição de notas ou nuances específicas de fragrância e sabor encontradas em uma determinada amostra.

5.3 Análises químicas

Observam-se diferenças significativas ($P < 0,05$), para diferentes padrões de bebida do café, para os resultados das variáveis analisadas (Tabela 3), sólidos solúveis (SS), açúcares redutores (AR), açúcares não redutores (ANR) e açúcares totais (AT).

Para os teores de sólidos solúveis (SS), a bebida estritamente mole (EM) e dura apresentaram valores, significativamente, superiores (35,00 e 33,33%). Ainda a bebida EM foi superior, para os açúcares totais (AT) e açúcares não redutores (AND), enquanto a bebida riada foi inferior (5,80 e 5,15%). Já, para os açúcares redutores (AR), o RI foi superior (0,56%).

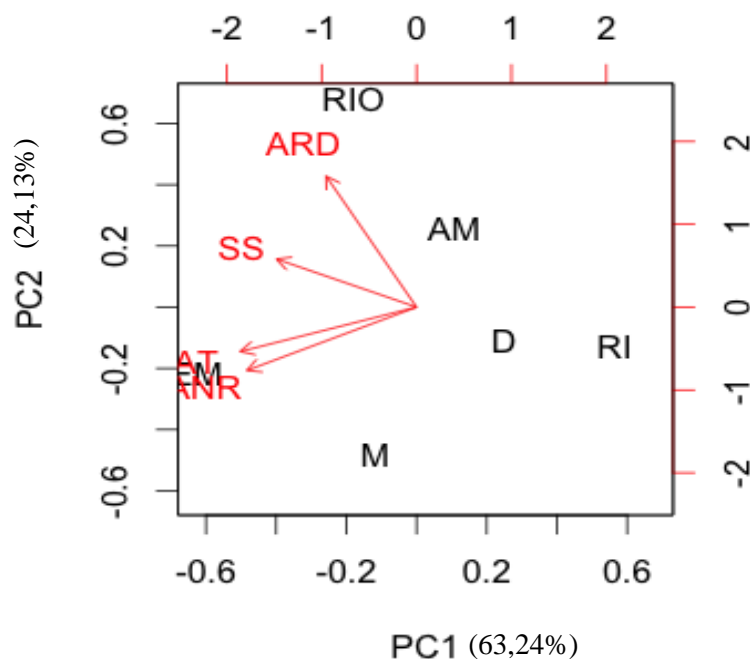
Tabela 3 - Valores médios dos teores de sólidos solúveis (SS), açúcares redutores (AR), açúcares não redutores (ANR) e açúcares totais (AT) de diferentes padrões de bebida do café (estritamente mole (EM), mole (ML), apenas mole (AM), duro (DR), riado (RD) e rio.

Qualidade de bebida	SS %	AR %	ANR %	AT %
Estritamente Mole	35,00 a	0,47 c	6,74 a	7,56 a
Mole	31,67 b	0,40 d	6,27 b	7,00 b
Apenas mole	30,67 b	0,52 b	5,65 c	6,46 c
Duro	33,33 a	0,37 d	5,43 d	6,09 d
Riado	30,00 b	0,38 d	5,15 e	5,80 e
Rio	35,00 a	0,56 a	5,63 c	6,48 c
C.V.	2,94	5,30	1,85	1,72
E.P.	0,55	0,01	0,06	0,07

Letras seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Para as características relacionadas ao teor de açúcares dos grãos, observou-se alta correlação entre todas as características, pois os vetores apresentaram a mesma direção (Figura 9). Da mesma forma que para composição química, os tratamentos apresentam-se dispersos no biplot, não havendo similaridade entre eles para essas características. Os dois primeiros componentes principais explicaram 87,36% da variação dos dados.

Figura 9 - Biplot dos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para as características relacionadas ao teor de açúcares das sementes: sólidos solúveis (SS), açúcares não redutores (ANR), açúcares redutores (ARD), e açúcares totais (AT) dos tratamentos.



De acordo com a Figura 9, os cafés de melhor qualidade sensorial, também, apresentaram os maiores teores de AT, ANR e SS. Por outro lado, os cafés de pior qualidade sensorial apresentaram os menores valores desses compostos, com exceção do café Rio.

A composição físico-química do café é complexa, responsável pela aparência do grão torrado e o sabor e aroma característicos da bebida (DELLA LUCIA et al., 2009).

O teor de sólidos solúveis presentes no café tem uma relação direta com o rendimento industrial, bem como o sabor e o corpo da bebida. Já os açúcares

têm relação importante com a qualidade do produto final (MENDONÇA; PEREIRA; MENDES, 2005).

Diferentes resultados, nos teores de açúcares redutores, foram observados por Moura et al. (2007), que, em seus estudos, obtiveram valores superiores variando entre 1,47 para o café robusta e 2,65% para o café arábica. Já, para os sólidos solúveis, os valores observados foram de 26,84% e de açúcares totais de 2,65% para café arábica e os valores de açúcares não redutores apresentaram resultados inversos aos de açúcares redutores.

Também Fernandes et al. (2003) verificaram teor de sólidos solúveis, em café arábica, de 26,97%, enquanto no presente estudo as variações ocorreram de 30 a 35% para o café arábica independente dos padrões de bebida do café.

Fernandes et al. (2002) verificaram teores de açúcares totais superiores ao presente estudo para o café arábica de 9,16%, os teores de açúcares redutores e não redutores foram, respectivamente, iguais a 1,23% e 7,71%. Segundo esses mesmos autores, os açúcares constituintes dos grãos de café são os precursores do sabor e do aroma característicos da bebida, influenciando na qualidade do produto final.

5.4 Análises de umidade, condutividade elétrica (CE) e lixiviação de potássio (LK)

Em relação aos resultados de umidade (Tabela 4), os valores estão dentro da faixa estipulada pela legislação brasileira, as quais variaram entre 9,62% a 11,00%, pois, independente da classificação do café, os graus de umidade do café beneficiado, grão cru o limite máximo de tolerância não poderá exceder a 12,5% (BRASIL, 2003).

Houve diferenças significativas ($P < 0,05$), para condutividade elétrica (CE) e lixiviação de potássio (LK), para os grãos de diferentes padrões de bebida

(Tabela 4). Observa-se que os cafés apresentaram grau de umidade variando de 9,62% a 11,00%. Para o café de bebida estritamente mole foi detectado o menor valor de CE e LK. Para os demais, os valores foram superiores, em destaque para os cafés de bebida mole, com valores mais elevados para as duas variáveis.

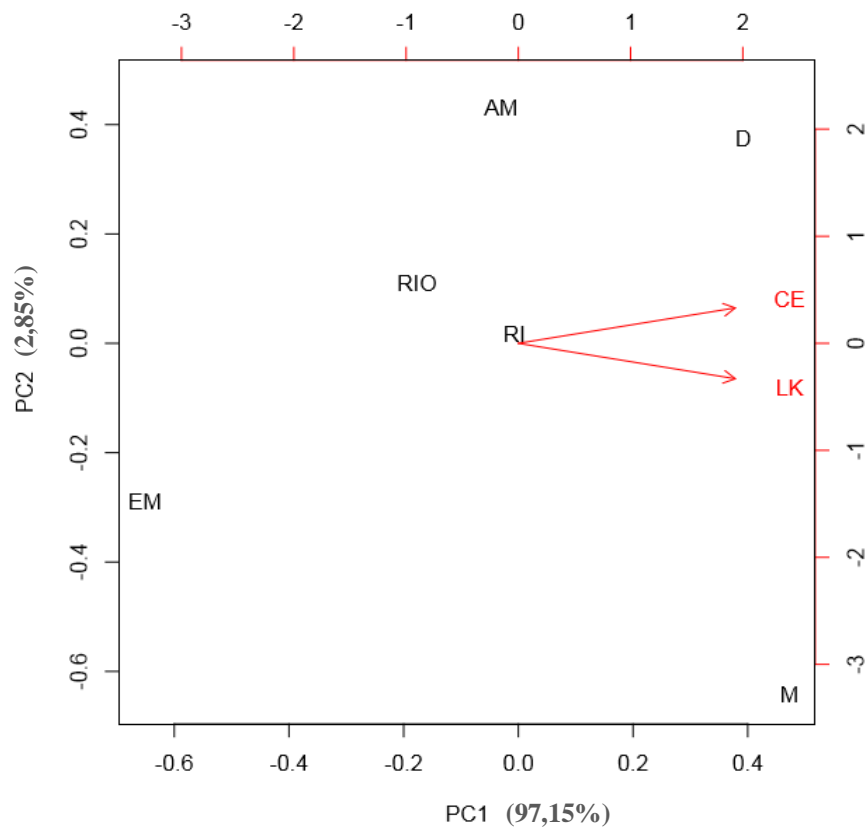
Tabela 4 - Valores médios das variáveis analisadas: umidade, condutividade elétrica (CE) e lixiviação de potássio (LK) de diferentes padrões de bebida do café (estritamente mole (EM), mole (ML), apenas mole (AM), duro (DR), riado (RD) e rio (RI)).

Padrões de bebidas	Umidade (%)	C E ($\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$)	LK (mg.Kg^{-1})
Estritamente mole	10,26	85,13 f	40,70 f
Mole	9,62	185,04 b	98,44 a
Apenas Mole	10,83	155,05 c	64,97 d
Duro	9,78	193,86 a	86,03 b
Riado	11,00	150,58 d	69,57 c
Rio	10,69	94,31 e	60,49 e
C.V.	-	0,87	2,20
E.P.	-	0,76	0,89

Letras seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Os testes de lixiviação de potássio e condutividade elétrica são indicadores consistentes da integridade de membranas celulares, inferindo, indiretamente, sobre a qualidade de bebida de café (REINATO, 2003). Por isso, optou-se por construir um gráfico com essas duas características apenas, que mostraram alta correlação entre si e com os tipos de bebida riado (RI) e duro (D). Os tipos rio e riado foram similares para essas características, pois se localizaram em pontos próximos no gráfico. Como nesse biplot apenas essas duas características foram consideradas, os dois primeiros componentes principais explicaram 100% da variação dos dados. Contudo apenas o primeiro componente já seria suficiente para explicar mais de 97% dessa variação (Figura 10).

Figura 10 - Biplot dos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para as características: condutividade elétrica (CE) e lixiviação de potássio (LK) dos tratamentos EM, M, AM, D, RIO e RI.



O alto teor de água tem influência direta na qualidade do café, pois facilita a atividade de microorganismos e enzimas, afetando a preservação do produto e alterando suas características sensoriais. Já o teste de CE e LK avalia a integridade do sistema de membrana, com capacidade de detectar alguns eventos iniciais relacionados à qualidade do café (ISQUIERDO et al., 2011).

Agnoletti et al. (2014) relatam que valores encontrados na literatura de CE, para café classificado como bebida mole e apenas mole, variam de 88,24 a 119,07 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$, sendo valores inferiores ao encontrado no presente estudo

(185,04 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$). Já, para a bebida dura, valores de 53,80 a 227,58 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$, resultados que corroboram com a atual pesquisa (193,8607 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$).

Resultados superiores foram encontrados por Agnoletti (2015), para café classificado como bebida estritamente mole. O autor observou valores de CE e LK de 133,16 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ e 53,43 $\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$.

5.5 Análises físico-químicas

Verifica-se, na Tabela 5, que houve diferenças significativas ($P < 0,05$) para os resultados das análises físico-químicas de polifenoloxidase (PPO), polifenóis totais (POL), teor de proteína bruta (PTB), extrato etéreo (EXE) e cafeína (CAF) de grãos de cafés classificados em diferentes tipos de bebidas. Observa-se que os valores médios da PPO foram superiores para o café estritamente mole (60,88) e rio (61,33), sendo inferior para duro (39,55).

Para os valores médios de POL, resultados superiores foram obtidos para o café mole e inferiores para o estritamente mole e riado. Os teores de proteínas dos grãos das bebidas apenas moles e rio apresentaram maiores valores 12,54% e 12,40% em relação aos demais. Para o teor de extrato etéreo, os grãos da bebida estritamente mole e dura apresentaram maiores teores (8,93% e 8,90%) e da bebida mole o menor teor (7,50). Já para o teor médio de cafeína dos grãos da bebida estritamente mole apresentou-se o menor teor (0,89) e os demais não diferiram (Tabela 5).

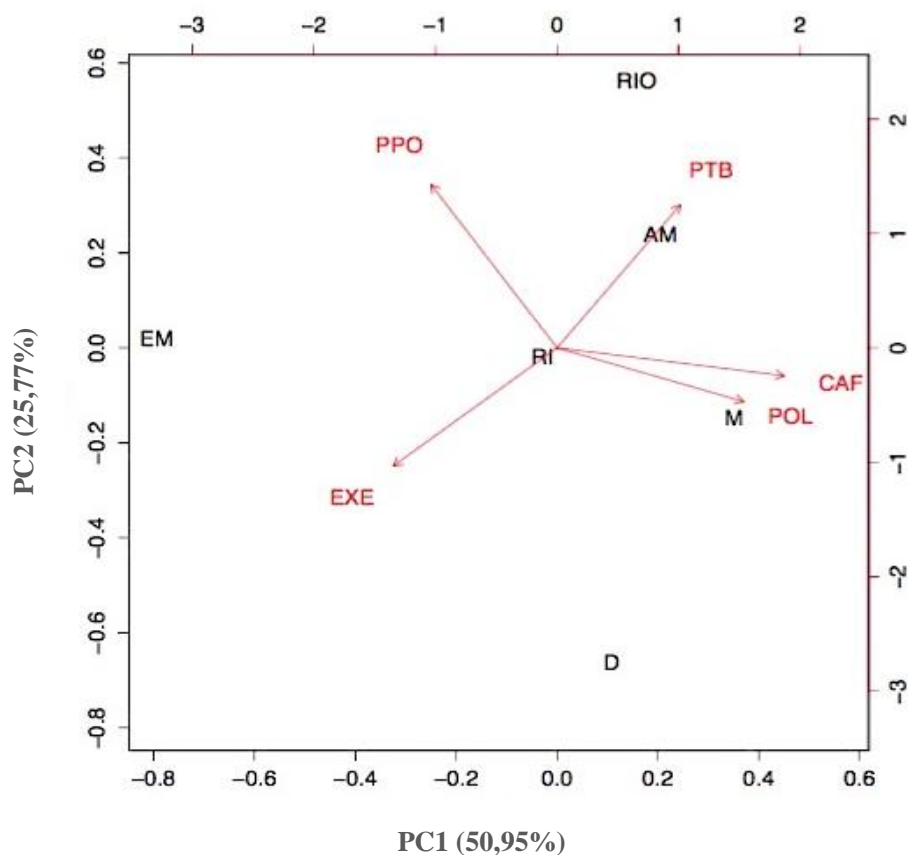
Tabela 5 - Análises físico-químicas de polifenoloxidase (PPO), polifenóis (POL), proteína bruta (PTB), extrato etéreo (EXE) e cafeína (CAF) de grãos de cafés classificados em bebidas estritamente mole (EM), mole (ML), apenas mole (AM), duro (DR), riada (RD) e Rio.

	PPO (U.min ⁻¹ .g ⁻¹ .ms)	POL (%)	PTB (%)	EXE (%)	CAF (%)
Est. Mole	60,88 a	6,59 c	11,68 b	8,93 a	0,89 b
Mole	47,46 b	7,58 a	11,92 b	7,50 c	1,05 a
Ap. Mole	46,44 b	7,06 b	12,54 a	7,97 b	1,02 a
Duro	39,55 c	7,34 b	11,96 b	8,90 a	1,05 a
Riado	46,44 b	6,66 c	12,01 b	7,87 b	1,03 a
Rio	61,33 a	7,19 b	12,40 a	7,73 b	1,04 a
C.V.	1,50	2,20	0,80	1,53	2,80
E.P.	0,44	0,09	0,06	0,07	0,02

Letras seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Pelos resultados dos diferentes tipos de bebidas, não houve similaridade em função das características relacionadas à composição química, sendo observados pontos dispersos no biplot (Figura 11). O teor de cafeína (CAF) foi altamente correlacionado ao teor de polifenóis totais (POL), sendo essas características relacionadas ao tipo de bebida mole (M). O vetor para teor de proteína bruta (PTB) apresentou alta relação com o tipo de bebida apenas mole (AM) e direção oposta ao vetor para extrato etéreo (EXE), indicando efeitos contrários dessas características em relação aos tratamentos. Os dois primeiros componentes principais explicaram 76,71% da variação para as características de composição química das sementes.

Figura 11 - Biplot dos componentes principais (PC1 e PC2) para as características relacionadas a composição química dos grãos: proteína bruta (PTB), extrato etéreo (EXE), cafeína (CAF), polifenóis totais (POL) e polifenol oxidase (PPO) dos tratamentos.



Vários trabalhos têm associado a atividade da polifenoloxidase com a qualidade sensorial dos grãos de café (CARVALHO et al., 1994; CHAGAS; MALTA; PEREIRA, 2005; MALTA et al., 2013; TAVEIRA et al., 20012). Segundo esses autores, a oxidação dos polifenóis, pela PPO, pode prejudicar a bebida do café, sendo considerado como um dos principais indutores da depreciação da qualidade. Entretanto, na presente pesquisa, foi observado valor

superior dessa enzima tanto para a bebida estritamente mole quanto para a bebida rio.

O teor de polifenóis livres é pequeno no café verde, aumentando durante a torração. Este aumento, segundo Clarke e Macrae (1985), está relacionado à degradação dos ácidos clorogênicos. Com a torração, os polifenóis contribuem de maneira significativa, para o aroma e sabor do produto final, sendo considerados os responsáveis pela adstringência dos frutos (RAMIREZ-MARTINEZ, 1988).

Villela (2002), em seu estudo com qualidade do café cereja despulpado, desmucilado, descascado e natural, durante o processo de secagem, encontrou teores de polifenóis de 7,73% para café natural, da cultivar Rubi. Esses resultados foram superiores aos encontrados, para os cafés dos diferentes padrões de bebida, os quais variaram entre 6,59% a 7,58%. Em trabalhos realizados por Coelho (2000), com café estritamente mole, encontraram-se cerca de 7,00% de polifenóis, valores esses, também, superiores aos obtidos no mesmo padrão de bebida (6,59%).

Pinto (2002) observou, em seus estudos, que o café de bebida rio apresentou maior teor de polifenóis e as bebidas mole, duras e riada apresentaram-se com os menores teores. Porém, na presente pesquisa, o café mole apresentou o maior teor enquanto o estritamente mole apresentou o menor e os demais padrões de bebida apresentaram valores intermediários.

Em relação às proteínas do café, encontram-se livres no citoplasma ou ligadas a polissacarídeos de parede celular. Os teores de proteínas presentes nos grãos de café variam entre 8,7 a 16% (TOCI; FARAH; TRUGO, 2006). No presente estudo os teores obtidos enquadraram, dentro dessa faixa, variando de 11,68% a 12,54%. De acordo com Hoffmann (2001), as proteínas, no processo de torra, dependendo da intensidade, podem ter uma perda de 20 a 40%, ou podem ser desnaturadas ou, ainda, reagir com compostos fenólicos e açúcares,

provocando a reação de Maillard, formando compostos aromáticos voláteis e não voláteis que são responsáveis pelo aroma e sabor do café torrado. Nesse sentido, quanto maior o teor de proteínas no grão cru maior a possibilidade de formação desses compostos aromáticos em razão da pirólise.

Já a cafeína é responsável por efeitos fisiológicos e o principal efeito é estimulante. Este composto permanece estável, com a torração, não alterando sua quantidade durante o processo. O teor de cafeína no café é dependente de uma série de fatores como a variedade da planta, método de cultivo, condições de crescimento, além de aspectos genéticos e sazonais (CAMARGO; TOLEDO, 1998). A cafeína encontra-se na polpa, no citoplasma e ligada à parede celular e representa, aproximadamente, 2,2% da matéria seca no café robusta e 1,3% no café arábica (LELOUP, 2006).

Casal, Oliveira e Ferreira (2000) avaliaram o teor de cafeína das espécies arábica e robusta e observaram que tanto nos grãos crus como nos torrados os robustas contêm maiores quantidades deste composto.

A concentração de cafeína, observada nas amostras de café arábica e canephora, foi equivalente de 1,03% e 2,15%, respectivamente. De acordo com Monteiro e Trugo (2005), a cafeína é um alcaloide que pertence ao grupo das xantinas, apresenta característica inodora e possui sabor amargo na bebida do café, contribuindo ou não, para o perfil sensorial da bebida, dependendo da intensidade. Os resultados obtidos neste trabalho não corroboram os de Moura et al. (2007), os quais verificaram teor de cafeína, no café arábica em torno de 1,4% e, na presente pesquisa, variou de 0,89 a 1,05%.

Fernandes et al. (2003) afirmam que os lipídeos encontrados nos grãos de cafés atuam como protetores de substâncias aromáticas. Essas substâncias são primordiais, para a formação de sabores encontrados no café, após o processo de torração. De acordo com esses mesmos autores, o valor do extrato etéreo encontrado nas amostras de café 100% arábica foi de 17,58% e de 10,68% no

café 100% canephora. Para o “blend” constituído de café 70% arábica e 30% canephora foi encontrado teor de extrato etéreo de 15,91%.

Mendonça et al. (2007) observaram, entre 16 cultivares de arábica, variações de 16,53% a 13,16% de extrato etéreo. Com diferenças significativas entre valores, Fernandes et al. (2003) encontraram teores de extrato etéreo de 17,58 %, 15,91% e 10,68%, respectivamente, para o café 100% arábica, blend com 70% de arábica e 30% de canephora e 100% canephora, o que, realmente, comprova teores superiores de extrato etéreo no café arábica. Observa-se, com as adições do café canephora ao café arábica, uma descaracterização dos grãos, pois os valores observados, para todos os constituintes, são intermediários aos encontrados nas amostras contendo 100% de ambas as espécies.

De acordo com Pimenta (2003), os lipídeos possuem um efeito benéfico na qualidade da bebida do café tanto no aroma como no sabor e, durante a torração, eles concentram-se, nas áreas externas, formando uma camada protetora na semente, assim, evitando as eventuais perdas durante esse processo. Porém, parte dos lipídios é perdida no processo de moagem, fato que explica por que os cafés de melhor qualidade apresentam os maiores teores de lipídeos.

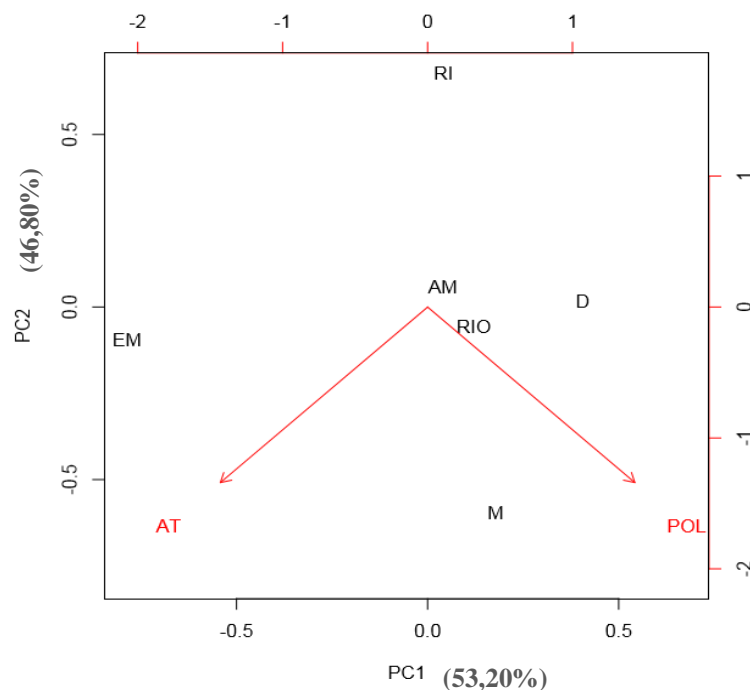
Lopes (2000) avaliou alguns constituintes químicos dos grãos crus de uma mistura de frutos de oito cultivares de *C. arabica* L. e observou variações significativas nos teores de sólidos solúveis, extrato etéreo, açúcares e proteína bruta. O autor ressalta a correlação destes constituintes com a qualidade de bebida, por serem estes compostos os precursores das substâncias responsáveis pelo sabor e aroma da bebida do café.

5.6 Teor de açúcares total (AT) x polifenóis totais (POL)

Da mesma forma que condutividade elétrica (CE) e lixiviação de potássio (LK), apresenta-se aqui o estudo conjunto do teor de açúcares totais (AT) e polifenóis totais (POL). Neste caso, os vetores para AT e POL foram

discrepantes, apontando para direções opostas (Figura 12). Apesar de, relativamente, distantes no gráfico, o teor de AT está mais relacionado aos tipos de bebida EM e M, comparando-se essa característica com os demais tipos de bebida. De forma geral, não houve grande similaridade entre os tipos de bebida, a não ser para AM e RIO.

Figura 12 - Biplot dos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para açúcares totais (AT) e polifenóis totais (POL) dos tratamentos estritamente mole (EM), mole (M), apenas mole (AM), duro (D), rio (RIO) e riado (RI).



De acordo com a Organización Internacional del Café - OIC (1992), valores mais elevados de açúcares podem indicar a presença de maior doçura na bebida, sendo responsáveis pela formação do sabor caramelo, identificado na bebida do café cujos teores são proporcionais à qualidade de bebida. Porém os

teores polifenóis são responsáveis pela adstringência na bebida e seus teores são, inversamente, proporcionais à qualidade da bebida. Isso tem sido atribuído ao estágio de maturação dos frutos, especialmente, em razão de ataque de microrganismos, local de cultivo, elevadas porcentagens de frutos verdes e da presença de defeitos e injúrias mecânicas (COELHO, 2000; PIMENTA, 2001).

5.7 Análises biofotônicas

Na Tabela 6, estão apresentados os parâmetros da curva ajustada para os resultados da análise biofotônica de cafés com diferentes tipos de bebida. Na equação de decaimento hiperbólico: $a + b / (1 + c \cdot t)^d$, o fator "a" é o valor final da curva - radiação emitida, após muitos segundos - o fator "b" o valor inicial - valor máximo, geralmente, muito dependente da umidade, os fatores "c" e "d" são a velocidade e a aceleração de decaimento, o "c" influi no início da queda e o "d" no final.

Os maiores índices dos parâmetros "a" e "b" foram observados, para os cafés de bebida dura, seguidos dos cafés de bebida mole. Já para os cafés com bebida estritamente mole e apenas mole, as curvas biofotônicas apresentaram decaimento mais rápido. Outro grupo que se diferenciou foram os cafés riado, em que as curvas de emissão de luz decresceram, rapidamente, em relação aos demais.

Cafés que apresentam qualidade de bebida inferior, geralmente, têm um gosto desagradável e bem característico e têm, como fatores desfavoráveis, a presença de grãos podres, verdes e, principalmente, os ardidos. Estes, muito comuns, têm origem na imperfeição da colheita e secagem (MORI et al., 2001). A presença desses grãos com características indesejáveis pode ser a causa de baixa emissão de fótons, como detectada nos cafés de bebida riada. Por outro lado, cafés com elevada qualidade (estritamente mole), os quais contêm apenas grãos com aspecto saudável, também, apresentaram baixa emissão de fótons,

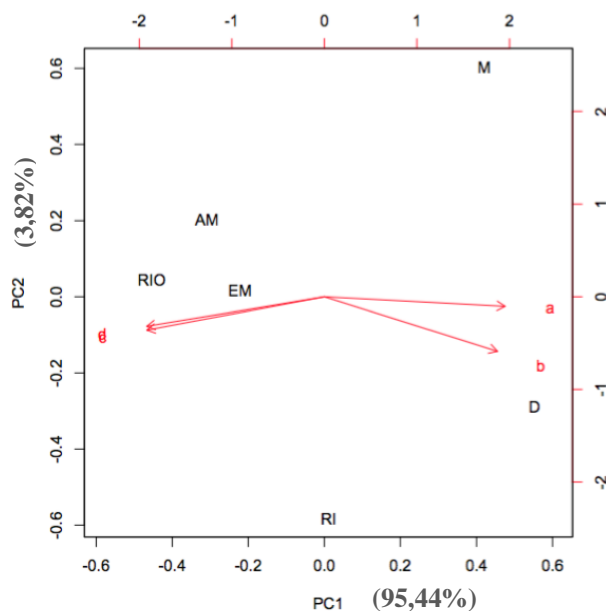
não sendo possível distinguir dos cafés de baixa qualidade pela técnica de biofóton.

Tabela 6 - Parâmetros do decaimento hiperbólico da DL das amostras estudadas

Classe	a	b	c	d
Estritamente Mole	0,645d	210,098c	1,010a	0,215c
Mole	1,808b	364,850b	0,718b	0,175d
Apenas Mole	0,513d	157,953d	0,990a	0,228b
Duro	2,233a	497,880a	0,730b	0,178d
Rio	1,135c	355,398b	0,938a	0,215c
Riado	0,330d	118,553d	1,055a	0,245a
CV	22,85	11,63	6,45	6,12
EP	0,1268	16,5197	0,0293	0,0064

Letras seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 13 - Biplot dos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) para os resultados da análise de imagem utilizando o biofóton dos tratamentos estritamente mole (EM), mole (M), apenas mole (AM), duro (D), rio (RIO) e riado (RI).



5.8 Análise de imagens SAS

O Sistema de Análise de Sementes (SAS) é um equipamento de análise de imagem de sementes e plântulas com potencial de utilização, no controle de qualidade de sementes. Nos vários tipos de análises foram realizados cor, diâmetro contido, esfericidade da forma, área, circularidade, irregularidade do contorno, extensão, perímetro e Textura: Fourier: Média de magnitudes.

O espaço de cor determina a gama de cores disponível, para a reprodução das cores, ou seja, é um modelo matemático usado para descrever cada cor a partir de fórmulas. Um dos parâmetros físicos importantes que influenciam, diretamente, a escolha do produto são a aparência e a cor. A CIE, em 1976, recomendou o uso da escala de cores, visando a uma melhor padronização.

No SAS foram medidos os parâmetros L (luminosidade), a e b (coordenadas de cromaticidade). Nesse sistema, L indica a luminosidade, que varia de zero 0, (correspondente à cor preta), até 100 (correspondente à cor branca). As coordenadas a e b indicam as direções que a cor pode assumir, valores positivos de a correspondem ao vermelho e valores negativos de a , ao verde. Já os valores positivos de b correspondem ao amarelo e valores negativos de b , ao azul, conforme descrito por Nobre (2005).

Os valores médios dos parâmetros colorimétricos não apresentaram diferenças significativas para a interação da face plana x convexa do grão de café. Já, em relação aos parâmetros L^* , a^* e b^* , verifica-se que não houve diferenças significativas para L^* e todas as bebidas tenderam para a cor mais escura. Verificou-se, também, que todas as bebidas tiveram valores negativos de a^* , a bebida apenas mole apresentou valor médio inferior (-2,02), enquanto a riada o maior valor (-0,74) com tendência à cor verde e valores positivos de b^* tendendo para o amarelo. No entanto, com variação significativamente, de

tonalidades entre as amostras, a bebida estritamente mole apresentou, significativamente, o menor valor 20,27 (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores médios dos parâmetros colorimétricos L*, a*, b* dos grãos de café de diferentes padrões de bebida (estritamente mole (EM), mole (ML), apenas mole (AM), duro (DR), riado (RD) e rio (RI)).

	L*	a*	b*
Estritamente Mole	30,47 a	-1,45 c	20,27 c
Mole	34,32 a	-1,20 b	20,86 b
Apenas Mole	37,51 a	-2,02 d	21,49 a
Duro	34,92 a	-0,83 a	21,62 a
Riado	33,55 a	-0,74 a	20,86 b
Rio	35,05 a	-0,98 b	21,89 a
C.V.	12,78	-22,61	1,91
E.P.	2,19	0,13	20,94

Letras seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Segundo Borém et al. (2013), a cor dos grãos de café tem importância econômica significativa, uma vez que os grãos descoloridos estão associados a preços mais baixos do mercado. De acordo com Nobre et al. (2007), a variação da cor dos grãos crus de café constitui um forte indicativo de ocorrência de processos oxidativos e transformações bioquímicas de natureza enzimática que irão alterar a composição dos precursores do sabor e aroma dos grãos, resultando na queda de qualidade de bebida.

De acordo com Oliveira et al. (2016), os valores mais elevados de L, a e b revelam perda de qualidade. Por exemplo, cafés classificados como esbranquiçados apresentaram valores de L em torno de 46,78, valores que foram diferentes dos valores observados neste trabalho, que ficaram abaixo de 37,51, mostrando que as amostras tinham um aspecto desejável enquanto sua cor.

De acordo com Jesus et al. (2015), por meio dos endospermas de grãos de cafés tratados com o corante Azul de Evans associado ao sistema de análise

de imagens, foi possível a identificação das piores bebidas (Rio e Rio Zona) pelo sistema de cor Cielab – dispersão de b.

Andrade (2014), utilizando o Sistema de análises de sementes (SAS), na detecção de misturas varietais e de sementes esverdeadas em soja, relata que o SAS é uma técnica confiável, rápida e objetiva que proporciona um nível de acerto de 99,51% na separação de sementes verdes em amostras de soja.

5.8.1 Canal vermelho, verde e azul (RGB)

Verifica-se, na Tabela 8, que, para os parâmetros canal azul, verde e vermelho houve diferenças significativas entre os padrões de bebidas. Nesses parâmetros, o café apenas mole apresentou os pixels de maior valor (52,60; 88,15 e 96,35). No canal azul o riado apresentou o menor valor (45,17). Já, no canal verde e vermelho, os cafés estritamente mole, mole e riado apresentaram os menores valores.

Tabela 8 - Valores médios dos parâmetros canal verde e vermelho das duas faces dos grãos de café (plana e convexa) de diferentes padrões de bebida do café (estritamente mole (EM), mole (ML), apenas mole (AM), duro (DR), riado (RD) e rio (RI)).

	Canal azul	Canal verde	Canal vermelho
Est. Mole	47,08b	79,21c	88,26c
Mole	46,51b	80,17c	89,28c
Ap. Mole	52,60a	88,15a	96,35a
Duro	46,50b	81,39b	91,63b
Riado	45,17c	78,21 c	87,97c
Rio	47,48b	81,79b	91,61b
C.V.	2,70	2,20	1,93
E.P.	0,45	0,90	0,88

Letras seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com Campos (2014), a reflexão especular é um problema apresentado, em vários trabalhos, gerando falsos positivos, onde pode ser observado, em situações reais, que diversos pontos de luz possuem pixels com

valor maior no canal azul do que nos canais vermelho e verde. No entanto, na presente pesquisa, isso não ocorreu, uma vez que, para os valores pixels, o canal vermelho apresentou maior valor, seguido pelo verde e azul.

5.8.2 Área, circularidade, textura, diâmetro contido e extensão

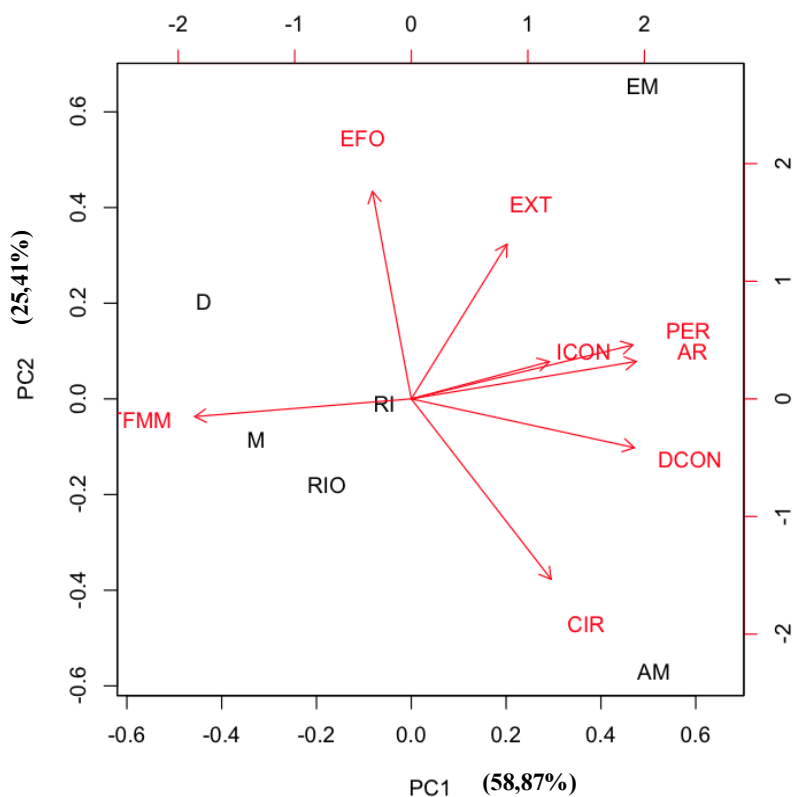
Em relação à área, circularidade, textura, diâmetro contido e extensão, houve diferenças significativas entre os grãos dos diferentes padrões de bebidas (Tabela 9). Os grãos das bebidas estritamente mole e apenas mole apresentaram maiores valores, para todos esses parâmetros em relação aos demais, exceto para circularidade e extensão cujos grãos das bebidas riado e rio, bem como duro e rio, apresentaram, também, maiores valores. Já os grãos das bebidas mole e duro apresentaram os menores valores, para todos os parâmetros avaliados, exceto para extensão cujo riado, também, apresentou menor valor em relação aos demais.

Tabela 9 - Valores médios dos parâmetros área, circularidade, textura, diâmetro contido e extensão dos grãos de café de diferentes padrões de bebida do café (estritamente mole (EM), mole (ML), apenas mole (AM), duro (DR), riado (RD) e rio (RI)).

	Área	Circularidade	Textura	Diâmetro Contido	Extensão
Est. Mole	0,49a	0,78a	2,64a	0,63 a	0,81a
Mole	0,43c	0,76b	2,48c	0,60 d	0,79b
Ap. Mole	0,48a	0,78a	2,63a	0,64 a	0,81a
Duro	0,43c	0,75b	2,47c	0,59 d	0,80b
Riado	0,45b	0,77a	2,54b	0,62 b	0,80b
Rio	0,44b	0,77a	2,51b	0,61c	0,81a
C.V.	2,91	1,32	1,51	1,58	0,49
E.P.	0,01	0,003	0,14	0,005	0,001

Letras seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 14 - Biplot dos dois primeiros componentes principais para os resultados das análises para as características de efericidade da forma (EFO), área (AR), circularidade (CIR), diâmetro contido (DCON), extensão (EXT), irregularidade do contorno (ICON), perímetro (PER) e text. Fourrie med. Magnitudes (TFMM) dos grãos dos diferentes padrões de bebidas.



Andrade (2014) verificou que é possível a utilização do equipamento SAS®, para diferenciação de grupos de cultivares de soja, principalmente, quando se avalia a cor do hilo.

Segundo Venora et al. (2007), a análise de imagens vem sendo utilizada, em produtos agrícolas em relação as características morfológicas, ópticas e texturais, de diversos tipos de cereais e leguminosas. No Canadá, um sistema de

imagem foi desenvolvido com o objetivo de medir cor e tamanho de sementes a granel de lentilhas de forma consistente para gradação de cores de lentilha de qualidade.

De acordo com vários autores, dentre vários fatores, o grau de umidade é o fator mais importante que influencia as propriedades físicas e mecânicas de sementes. Com o aumento no teor de água nas sementes, aumentam as dimensões lineares, área projetada e volume das sementes maduras de quiabo (CALISIR et al., 2005); aumenta em comprimento, largura, espessura, diâmetro de média aritmética, média geométrica diâmetro, esfericidade, volume e área de superfície de pipoca kernels (KARABABA, 2006), sementes de sorgo (MWITHIGA; SIFUNA, 2006) e em sementes de quinoa (VILCHE; GELY; SANTALLA, 2003). Manickavasagan et al. (2008) utilizaram imagens monocromáticas para determinar o grau de umidade de trigo Canadian.

Experiências semelhantes foram realizadas por Tahir et al. (2007), que identificaram, por meio de imagens de câmera, como suportam as propriedades do trigo e grãos de cevada com diferentes teores de água e verificaram que as sementes com um teor de 12%, 14%, 16%, 18% e 20% de umidade foram classificadas com precisão superior a 90%. Entretanto, no presente trabalho, as variações nos teores de água das amostras não eram expressivas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade do café é avaliada, oficialmente, por meio de análise sensorial, para detectar os efeitos de defeitos na qualidade. Mas é muito importante a realização de outras análises, para complementar a avaliação, assegurando confiabilidade aos resultados, tais como as análises da composição química, condutividade elétrica de lixiviados dos grãos, bem como as análises de imagens, a fim de investigar os fatores, que afetam a qualidade final da bebida.

Como a quantidade de defeitos influencia na qualidade de bebida e no preço do produto, durante a comercialização, é recomendável o desenvolvimento de sistemas automatizados e confiáveis para avaliação da quantidade de defeitos presentes nos grãos. Dessa forma, o SAS pode ser uma solução muito promissora, no auxílio do controle de qualidade do produto café garantindo um comércio justo e uma maior segurança alimentar para o consumidor final.

Apesar de a IN nº 8 e do protocolo de degustação da SCAA serem dois métodos diferentes de análise sensorial de café existe uma similaridade entre eles. Como apresentado neste trabalho, as bebidas estritamente mole e mole, quando degustadas pelo protocolo da SCAA foram similares na fragrância, doçura e equilíbrio aos resultados da avaliação sensorial de acordo com a IN nº 8. Um café, para ser classificado como bebida estritamente mole, apresenta, em conjunto (equilíbrio), todos os requisitos de aroma (fragrância) e sabor (doçura) de um café classificado como “mole”, porém mais acentuado.

Apesar de neste trabalho a avaliação da DL não ter distinguido um café de bebida estritamente mole de um rio, a análise dos biofótons deve ser mais investigada, pois já existem trabalhos demonstrando a viabilidade da técnica para avaliação de qualidade de sementes de café. Por outro lado, também, há trabalhos que mostram a relação da qualidade fisiológica das sementes com a qualidade de sua bebida. Assim, há a necessidade de uma melhor investigação

sobre o uso dos biofótons para avaliação da qualidade dos grãos com relação ao seu tipo da bebida.

7 CONCLUSÕES

De acordo com as técnicas utilizadas neste trabalho, não é possível estabelecer uma relação direta entre a composição química dos grãos crus e as diferentes classes de bebida.

O comportamento da DL não se relaciona, diretamente, com a qualidade de bebida das amostras avaliadas.

As características avaliadas pelo SAS não apresentam uma relação com a qualidade de bebida dos lotes analisados.

REFERÊNCIAS

- ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, New York, v. 2, n. 4, p. 433-459, 2010.
- ABRAHÃO, S. A. **Qualidade da bebida e atividade antioxidante em in vivo e in vitro**. 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- ABRAHÃO, S. A. et al. Compostos bioativos e atividade antioxidante do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 414-420, mar./abr. 2010.
- ABRAHÃO, S. A. et al. Compostos bioativos em café integral e descafeinado e qualidade sensorial da bebida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 12, p. 1799-1804, dez. 2008.
- AGNOLETTI, B. Z. **Avaliação das propriedades físico-químicas de café arábica (*Coffea arabica*) e conilon (*Coffea canephora*) classificados quanto à qualidade da bebida**. 2015. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2015.
- AGNOLETTI, B. Z. et al. Análises físico-químicas relacionadas à qualidade do café. In: TEIXEIRA, L. J. Q.; OLIVEIRA, A. do N.; SARTORI, M. A. (Org.). **Tópicos especiais em engenharia de alimentos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2014. v. 1, p. 209-230.
- AGUIAR, A. T. da E. **Descritores para caracterização de cultivares e linhagens de café tipo arábica**. 2001. 98 f. Dissertação (Mestrado em Melhoramento Genético Vegetal)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.
- ALPIZAR, E.; BERTRAND, B. Incidence of elevation on chemical composition and beverage quality of coffee in Central America. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 2004, Bangalore. **Proceedings...** Bangalore: ASIC, 2004. 1 CD-ROM.
- AMORIM, H. V. **Relação entre alguns compostos orgânicos do grão do café verde com a qualidade da bebida**. 1972. 136 f. Tese (Doutorado em

Bioquímica)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1972.

ANDRADE, D. B. de. **Sistema de análise de sementes (SAS) na detecção de misturas varietais e de sementes esverdeadas em soja**. 2014. 78 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 15th ed. Washington, 1990. 1074 p.

BEDFORD, L. V. Conductivity tests in commercial and hand harvested seed of pea cultivars and their relation to field establishment. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 2, n. 3, p. 323-335, 1974.

BERJAK, P. Unifying perspectives of some mechanisms basic to desiccation tolerance across lifeforms. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 16, p. 1-15, Mar. 2006.

BERTOINA, E. G. **Projeto, construção e aplicações de câmara escura portátil para medidas de bioluminescência ultra-fraca**. Campinas: Ed. UNICAMP, 2013. 174 p.

BERTOINA, E. G.; CONFORTI, E.; GALLEG, C. M. Simultaneous biophoton measurement of control and fluoride stressed seedlings samples. In: MICROWAVE & OPTOELECTRONICS CONFERENCE, SBMO/IEEE MTT-S INTERNATIONAL, 2013, Rio de Janeiro. **Proceedings...** New York: IEEE, 2013. p. 1-3.

BORÉM, F. M. Armazenamento do café. In: BORÉM, F. M. et al. (Ed.). **Armazenamento do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 351-388.

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

BRASIL. Instrução Normativa n. 8, de 11 de junho de 2003. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, jun. 2003. Seção 1, p. 22-29.

BRAZILIAN SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. **Crítérios de certificação**. Disponível em: <<http://bsca.com.br/criterios-certificacao.php>>. Acesso em: 21 dez. 2015a.

BRAZILIAN SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. **O que são cafés especiais**. Disponível em: <<http://bsca.com.br/cafes-especiais.php>>. Acesso em: 20 dez. 2015b.

CALISIR, S. et al. A study on some physico-chemical properties of Turkey okra (*Hibiscus esculentus*, L.) seeds. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 68, n. 1, p. 73-78, May 2005.

CAMARGO, M. C. R.; TOLEDO, M. C. F. Caffeine content of commercial Brazilian coffee. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 18, n. 4, p. 421-424, 1998.

CAMPOS, G. F. C. **Sistema robusto de visão computacional para segmentação da gordura da carne**. 2014. 56 p. Monografia (Bacharelado em Ciência da Computação)-Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

CARDOSO DE ARAUJO, J. B. **Aspectos químicos das frações dos defeitos PVA dos grãos de café**. 2004. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica e Agrobioquímica)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

CARRERA, F. et al. Authentication of green coffee varieties according to their sterolic profile. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 370, p. 131-139, 1998.

CARVALHO, J. C. T.; GOSMANN, G.; SCHENKEL, E. P. Compostos fenólicos simples e heterosídicos. In: SIMÕES, C. M. O. et al. (Org.). **Farmacognosia da planta ao medicamento**. 3. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2001. p. 443-459.

CARVALHO, V. D. de; CHALFOUN, S. M. Aspectos qualitativos do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 79-92, 1985.

CARVALHO, V. D. de et al. Fatores que afetam a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 5-20, 1997.

CARVALHO, V. D. de et al. Relação entre a composição físico-química dos grãos de café beneficiado e a qualidade da bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 3, p. 445-449, mar. 1994.

CARVALHO JÚNIOR, C. D. et al. Influence of different harvest systems on quality of coffee (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 5, p. 1089-1096, set./out. 2003.

CASAL, S.; OLIVEIRA, M. B.; FERREIRA, M. A. HPLC/diodearray applied to the thermal degradation of trigonelline, nicotinic acid and caffeine in coffee. **Food Chemistry**, Oxford, v. 68, n. 4, p. 481-485, Mar. 2000.

CHAGAS, S. J. de R. **Caracterização química e qualitativa de cafés de alguns municípios de três regiões produtoras de Minas Gerais**. 1994. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1994.

CHAGAS, S. J. de R.; MALTA, M. R.; PEREIRA, R. G. F. A. 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**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 590-597, maio/jun. 2005.

CHALFOUN, S. M.; CHAGAS, S. J. R.; PEREIRA, M. C. Determinação da microbiota associada externa e internamente a grãos beneficiados de café. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 25, n. 4, p. 369-372, 1999.

CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.). **Coffee: chemistry**. London: Elsevier Applied Science, 1985. v. 1, 306 p.

CLIFFORD, M. N. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products. In: _____. **Coffee**. New York: Springer, 1985. p. 305-374.

COELHO, K. F. **Avaliação química e sensorial da qualidade do café de bebida estritamente mole após a inclusão de grãos defeituosos**. 2000. 96 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

COLLI, L. et al. Further measurements on the bioluminescence of the seedlings. **Experientia**, Basel, v. 11, n. 12, p. 479-481, 1955.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café**: v. 2, safra 2015, n. 4, quarto levantamento. Brasília, DF, 2015. 60 p.

COPELAND, L. O.; MCDONALD, M. B. **Principles of seed science and technology**. 4th ed. Massachusetts: Academic, 2001. 467 p.

CORTEZ, J. G. Aptidão climática para qualidade da bebida nas principais regiões cafeeiras de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 21-26, 1997.

DELLA LUCIA, S. M. et al. Aplicação da análise descritiva quantitativa para a caracterização sensorial de produtos alimentícios. In: TEIXEIRA, L. J. Q. et al. (Org.). **Ciência de alimentos, nutrição e saúde: avanços e perspectivas**. Alegre: Ed. CCA-UFES, 2009. cap. 10, p. 139-154.

DELLA LUCIA, S. M.; MININ, V. P. R. M.; CARNEIRO, J. D. S. Análise sensorial de alimentos. In: MININ, V. P. R. M. (Ed.). **Análise sensorial: estudos com consumidores**. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 13-48.

DEVARAJ, B.; USA, M.; INABA, H. Biophotons: ultraweak light emission from living systems. **Current Opinion in Solid State and Materials Science**, New York, v. 2, n. 2, p. 188-193, 1997.

DRAETTA, I. dos S.; LIMA, D. C. de. Isolamento e caracterização das polifenoloxidasas do café. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 7, p. 3-28, 1976.

FARAH, A. et al. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, London, v. 98, n. 2, p. 373-380, 2006.

FAVARIN, J. L. et al. Qualidade da bebida de café de frutos cereja submetidos à diferentes manejos pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 2, p. 187-192, fev. 2004.

FENNEMA, O. R. **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1993. 1095 p.

FERNANDES, S. M. et al. Comparação entre duas cooperativas do sul de Minas Gerais quanto à composição química de cafés com torração comercial. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 830-835, jul./ago. 2002.

FERNANDES, S. M. et al. Constituintes químicos e teor de extrato aquoso de cafés arábica (*Coffea arabica* L.) e conilon (*Coffea canephora* Pierre) torrados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 5, p. 1076-1081, set./out. 2003.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE

INTERNACIONAL DE BIOMETRIA UFSCAR, 45., 2000, São Carlos.
Anais... São Carlos: Ed. UFSCar, 2000. p. 255-258.

GALLEP, C. M. et al. Delayed luminescence in relation to the germination and vigor of coffee seeds: initial series with C. Arabica Samples. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHOTONICS, OPTICS AND LASER TECHNOLOGY REVISED SELECTED PAPERS, 2., 2016, Cham.
Proceedings... Cham: Springer International, 2016a. p. 111-119.

GALLEP, C. M. et al. Simultaneous and intercontinental tests show synchronism between the local gravimetric tide and the ultra-weak photon emission in seedlings of different plant species. **Protoplasma**, New York, p. 1-11, Jan. 2016b. Disponível em:
<<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26820150>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

GALLEP, C. M. et al. Ultra-weak delayed luminescence in coffee seeds (*Coffea arabica* and *C. canephora*) and their germination potential: some indications for a photonic approach in seed viability. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM OF MICROWAVE AND OPTOELECTRONICS, 11., 2004, São Paulo.
Proceedings... São Paulo, 2004. 1 CD-ROM.

GOLDSTEIN, J. L.; SWAIN, T. Changes in tannins in ripening fruits. **Phytochemistry**, Oxford, v. 2, p. 371-383, 1963.

GONZÁLEZ, A. G. et al. HPLC analysis of tocopherols and triglycerides in coffee and their use as authentication parameters. **Food Chemistry**, London, v. 75, p. 93-101, 2001.

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

HOWARTH, M. S.; STANWOOD, P. C. Tetrazolium staining viability seed test using color image processing. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 36, n. 6, p. 1937-1940, 1993.

ILLY, A.; VIANI, R. **Espresso coffee: the chemistry of quality**. San Diego: Academic, 1995. 398 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1977. 36 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Green coffee**: determination of loss mass at 105°C: ISO 6673:2003. Geneva, 1999. 4 p.

ISQUIERDO, E. P. et al. Qualidade do café cereja desmucilado submetido ao parcelamento da secagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-90, 2011.

JESUS, V. A. M. de et al. Métodos para avaliação da qualidade do café por análise de imagens. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 24., 2015, Lavras. **Anais...** Lavras: Ed. UFLA, 2015. 1 CD-ROM.

KARABABA, E. Physical properties of popcorn kernels. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 72, n. 1, p. 100-107, Jan. 2006.

LELOUP, V. Evaluation of the nutritive value of soluble coffee. In: ASIC COLLOQUE, 21., 2006, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier, 2006. p. 80-87.

LI, S.; BERGER, J.; HARTLAND, S. UV spectrophotometric determination of theobromine and caffeine in cocoa beans. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 232, n. 2, p. 409-412, 1990.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of Coffee's Flavor. 7th ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66 p.

LOPES, L. M. V. **Avaliação da qualidade de grão crus e torrados de cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. Lavras: UFLA, 2000. 95 p.

LOPES, L. M. V. Avaliação da qualidade de grãos de diferentes cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 25, p. 3-8, 2000. Edição especial 1.

MACRAE, R. Nitrogenous compounds. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.). **Coffee**. London: Elsevier Applied Science, 1985. chap. 4, p. 115-152.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. R.; OLIVEIRA, W. M. Composição físico-química e qualidade do café submetido a diferentes formas de pré-processamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 6, p. 37-41, 2003. Especial café.

MALTA, M. R. et al. Alterações na qualidade do café submetido a diferentes formas de processamento e secagem. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 21, n. 5, p. 431-440, 2013.

MALTA, M. R.; PEREIRA, G. F. A.; CHAGAS, S. J. R. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio do exsudado de grãos de café: alguns fatores que podem influenciar essas avaliações. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 5, p. 1015-1020, set./out. 2005.

MANICKAVASAGAN, A. et al. Wheat class identification using monochrome images. **Journal of Cereal Science**, London, v. 47, n. 3, p. 518-527, 2008.

MARTINEZ, H. E. P.; TOMAZ, M. A.; SAKIYAMA, N. S. **Guia de acompanhamento de aulas de cafeicultura**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. v. 1, 152 p.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil**: manual de recomendações. Varginha: Santo Antônio, 2010. 542 p.

MCDONALD, M. B. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 27, n. 1, p. 177-237, 1999.

MENDONÇA, L. M. V. L. et al. Composição química de grãos crus de cultivares de *Coffea arabica* L. 413 suscetíveis e resistentes à *Hemileia vastatrix* Berg et Br. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 413-419, mar./abr. 2007.

MENDONÇA, L. M. V. L.; PEREIRA, R. G. F. A.; MENDES, A. N. G. Parâmetros bromatológicos de grãos crus e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 239-243, 2005.

MONTEIRO, M. C.; TRUGO, L. C. Determinação de compostos bioativos em amostras comerciais de café torrado. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 4, p. 637-641, 2005.

MORAES, T. A. et al. Spontaneous light emission of wheat seedlings with K₂Cr₂O₇. In: LATIN AMERICA OPTICS AND PHOTONICS CONFERENCE, 2010, Recife. **Proceedings...** Recife: Optical Society of America, 2010. p. MB11.

- MORI, E. E. M. et al. Brazil coffee growing regions and quality of natural, pulped natural and washed coffees. In: INTERNATIONAL COFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 19., 2001, Trieste. **Proceedings...** Trieste: Association Scientifique Internationale du Café, 2001. 1 CD-ROM.
- MOURA, S. C. S. R. de et al. Avaliações físicas, químicas e sensoriais de blends de café arábica com café canephora (robusta). **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v. 10, n. 4, p. 271-277, out./dez. 2007.
- MWITHIGA, G.; SIFUNA, M. M. Effect of moisture content on the physical properties of three varieties of sorghum seeds. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 75, n. 6, p. 480-486, June 2006.
- NELSON, N. A photometric adaptation of Somogy method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemists**, Baltimore, v. 153, n. 1, p. 375-384, 1944.
- 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. Alterações químicas do café-cereja descascado durante o armazenamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-9, jan./jun. 2007.
- OLIVEIRA, E. M. D. et al. A computer vision system for coffee beans classification based on computational intelligence techniques. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 171, p. 22-27, Feb. 2016.
- ORGANIZACION INTERNACIONAL DEL CAFÉ. **El despulpado del café por medio de desmucilaginas mecánicas sin proceso de fermentación y su efecto en la calidad de bebida de café producido en la región de Apucarana en el estado de Paraná en Brasil**. London, 1992. (Reporte de Evaluación Sensorial).
- PALACIN, J. J. F. et al. Secagem combinada de café cereja descascado. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, n. 17, n. 3, p. 244-258, 2009.
- PEASON, K. On lines and planes of closest fit to systems of point in space. **Philosophical Magazine**, London, v. 2, p. 559-572, 1901.
- PEREIRA, A. **Avaliação das atividades cicatrizante e antitumoral de extratos provenientes da casca de banana cultivar Prata Anã (*Musa spp*)**.

2010. 156 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

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

PIMENTA, C. J. **Época de colheita e tempo de permanência dos frutos à espera da secagem, na qualidade do café**. 2001. 145 p. Tese (Doutorado em Química, Físico-Química e Bioquímica de Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

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

PIMENTA, C. J. et al. Composição química e avaliação da qualidade do café (*Coffea arabica* L.) colhido em diferentes épocas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 10, p. 29-35, 2008. Especial café.

PINTO, C. A. G. et al. Análise de imagens na avaliação do potencial fisiológico de sementes de milho. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 2, p. 319-328, abr./jun. 2015.

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.

PONTING, J. D.; JOSLYNG, M. A. Ascorbic acid oxidation and browning in apple tissue extracts. **Archives of Biochemistry**, New York, v. 19, p. 47-63, 1948.

POPP, F. A. Biophotons: background, experimental results, theoretical approach and applications. In: POPP, F. A.; BELOUSSOV, L. (Ed.). **Integrative biophysics: biophotonics**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2003. p. 387-438.

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

RAMIREZ-MARTINEZ, J. R. Phenolic compounds in coffee pulp: quantitative determination by HPLC. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 43, n. 2, p. 135-144, 1988.

REINATO, C. H. R. et al. Avaliação técnica, econômica e qualitativa do uso de lenha e GLP na secagem de café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 27, p. 21-29, 2003.

ROGERS, W. J. et al. Changes to the content of sugars, sugar alcohols, myo-inositol, carboxylic acids and inorganic anions in development grains from different varieties of Robusta (*Coffea canephora*) and arabica (*C. arabica*) coffees. **Plant Science**, London, v. 149, p. 115-123, 1999.

SAATH, R. **Qualidade do café natural e despulpado em diferentes condições de secagem e tempos de armazenamento**. 2010. 246 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2010.

SALVA, T. de J. G. (Ed.). **Cafés de qualidade: aspectos tecnológicos, científicos e comerciais**. Campinas: IAC, 2007. 484 p.

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

SANTANA, M. T. A. et al. Caracterização físico-química e enzimática de uva “patricia” cultivada na região de Primavera do Leste, MT. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 186-190, jan./fev. 2008.

SELMAR, D.; BYTOF, G.; KNOPP, S. E. The storage of green coffee (*Coffea arabica* L.): decrease of viability and changes of potential aroma precursors. **Annals of Botany**, London, v. 101, n. 1, p. 31-38, 2008.

SIVETZ, M. Chemical properties of coffee. **Coffee Processing Technology**, Westport, v. 2, n. 379, p. 162-186, 1963.

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.

TAHIR, A. R. et al. Evaluation of the effect of moisture content on cereal grains by digital image analysis. **Food Research International**, Barking, v. 40, n. 9, p. 1140-1145, 2007.

TAVEIRA, J. H. S. et al. Perfis proteicos e desempenho fisiológico de sementes de café submetidas a diferentes métodos de processamento e secagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 10, p. 1511-1517, out. 2012.

TOCI, A.; FARAH, A.; TRUGO, L. C. Efeito do processo de descafeinação com diclorometano sobre a composição química dos cafés arábica e robusta antes e após a torração. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 5, p. 965-971, out. 2006.

VENORA, G. et al. Identification of Sicilian landraces and Canadian cultivars of lentil using an image analysis system. **Food Research International**, Barking, v. 40, n. 1, p. 161-166, Jan. 2007.

VIDIGAL, D. S. et al. Alterações fisiológicas e enzimáticas durante a maturação de sementes de pimenta (*Capsicum annum* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 31, n. 2, p. 129-136, 2009.

VILCHE, C.; GELY, M.; SANTALLA, E. Physical properties of quinoa seeds. **Biosystems Engineering**, London, v. 86, n. 1, p. 59-65, 2003.

VILELA, E. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Pós-colheita e qualidade do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA: ARMAZENAMENTO DE PROCESSAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS, 1998, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 219-274.

VILLELA, T. C. **Qualidade do café despulpado, desmucilado, descascado e natural durante o processo de secagem**. 2002. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

WANG, J.; YU, Y. Relationship between ultra-weak bioluminescence and vigour or irradiation dose of irradiated wheat. **Luminescence**, Aligarh, v. 24, n. 4, p. 209-212, 2009.

WOODSTOCK, L. W. Physiological and biochemical tests for seed vigor. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 1, n. 1, p. 127-157, 1973.

ZEIGER, B. F. Photon emission of cereal seeds, "Biophotons", as a measure of germinative ability and vigour. In: CHANG, J. J. et al. (Ed.). **Biophotons**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1998. p. 251-297.

ZYLBERSZTAJN, D.; FARINA, E. M. M. Q. **Diagnóstico sobre o sistema agroindustrial de cafés especiais e qualidade superior do Estado de Minas Gerais**: relatório final ENSA/FEA/USP. São Paulo: SEBRAE, 2001. 174 p.