

ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PARA CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE *COFFEA CANEPHORA*

INFRARED SPECTROSCOPY FOR CHARACTERIZATION OF *COFFEA* *CANEPHORA* GENOTYPES

¹Willian dos Santos Gomes

²Fábio Luiz Partelli

³Emanuele Catarina da Silva Oliveira

⁴Paulo Roberto Filgueiras

⁵Eustáquio Vinicius Ribeiro de Castro

⁶Aldemar Polonini Moreli

⁷Danieli Grancieri Debona

⁸Taís Rizzo Moreira

⁹Cristhiane Filete Altoé

^{10*}Lucas Louzada Pereira

¹Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: gwill.bio@gmail.com

²Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: partelli@yahoo.com.br

³Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: emanuele_cso@hotmail.com

⁴Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: filgueiras.pr@gmail.com

⁵Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: eustaquiovicinius@uol.com.br

⁶Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: aldemarpolonini@gmail.com

⁷Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: danielidebona@hotmail.com

⁸Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: taisr.moreira@hotmail.com

⁹Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: anealtoe@gmail.com

^{10*}Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: lucaslozada@hotmail.com

*Autor de correspondência

Artigo submetido em 30/09/2020, aceito em 11/12/2020 e publicado em 23/12/2020.

Resumo: O café conilon (*Coffea canephora*), também conhecido como robusta, participa em torno de 25% do café produzido no Brasil. O melhoramento genético da espécie tem proporcionado um incremento substancial na qualidade final da bebida, por meio do lançamento de diversos genótipos. Estes por sua vez apresentam uma grande diversidade na composição química, que impactam diretamente na qualidade do material genético. Portanto, é notório a importância de se ter em mãos ferramentas adequadas que tenham a capacidade de aferir de forma robusta esses parâmetros. Tendo isso em vista, o presente trabalho teve como objetivo testar a eficiência da técnica de espectroscopia do infravermelho para correlacionar possíveis relações entre propriedades genotípicas e os constituintes químicos do *Coffea canephora*. As matérias-primas selecionadas para a realização dos

experimentos foram obtidas de três propriedades rurais no norte do Espírito Santo dos genótipos '02' - Cultivar Emcapa 8111 e 'LB1' - Cultivar Monte Pascoal. Após o período de descanso das amostras depois da secagem (45 dias), os cafés foram classificados e torrados. Para análise físico-química foi utilizado a técnica de espectroscopia do infravermelho em conjunto com a análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA). A técnica de espectroscopia no infravermelho associada à análise multivariada PLS-DA mostrou-se aplicável na identificação da composição química oriunda dos genótipos estudados. Os resultados da análise exploratória mostraram uma sutil separação dos genótipos '02' e 'LB1' entre as propriedades testadas.

Palavras-chave: Conilon; Café especial; melhoramento de plantas; físico-química.

Abstract: Conilon coffee (*Coffea canephora*), also known as robusta, accounts for around 25% of processed coffee in Brazil. The genetic breeding of the species has provided a substantial increase in the final quality of the drink, through the launch of several genotypes. These in turn have a great diversity in chemical composition, which directly impact on the quality of genetic material. Therefore, the importance of having tools in hand that have the capacity to robustly measure these parameters is well known. The present study aimed to test the efficiency of the infrared spectroscopy technique to correlate possible relationships between genotypic properties and the chemical constituents of *Coffea canephora*. The raw materials selected to carry out the experiments were customized from three rural properties in the north of Espírito Santo of the genotypes '02' - Cultivar Emcapa 8111 and 'LB1' - Cultivar Monte Pascoal. After drying period (45 days), the coffees were classified and roasted. For physical-chemical analysis, the infrared spectroscopy technique was used in conjunction with the partial least square's discriminant analysis (PLS-DA). The infrared spectroscopy technique associated with multivariate PLS-DA analysis has been shown to be applicable in the identification of the chemical composition derived from the studied genotypes. The results of the exploratory analysis indifferent to a subtle separation of the genotypes '02' and 'LB1' between the tested properties.

Keywords: Conilon; special coffee; plant breeding; chemical physical analysis.

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das commodities agrícolas mais importantes do mundo. O Brasil é o maior produtor, exportador e segundo maior consumidor de café, produzindo mais de 56 milhões de sacas, aproximadamente um terço de todos os cafés exportados no mundo. As duas principais espécies de café cultivadas no Brasil são *Coffea arabica* (75%) e *C. canephora* (25%) (CONAB, 2020). Enquanto o *C. arabica* é cultivado em altitudes que variam de 600 a 1.200 m, culturas de *C. canephora* estão presentes em altitudes de 50 a 550 m (VELOSO *et al.*, 2020).

O café conilon (*C. canephora*) possui características sensoriais que normalmente apresentam neutralidade com relação à doçura e acidez, além de apresentar um aroma marcante de cereais torrados e se destaca pelo corpo mais pronunciado que a espécie arábica. Em virtude disso, seu principal uso atualmente

está vinculado a indústria de solubilização como matéria prima na formulação de *blends* com o café arábica (RIBEIRO *et al.*, 2014).

Com o intuito de aprimorar a qualidade do café, o melhoramento genético do conilon tem proporcionado um incremento substancial na qualidade final da bebida nas últimas décadas, por meio do lançamento de inúmeras cultivares (MONTAGNON *et al.*, 2012). É de conhecimento da literatura que diferentes genótipos apresentem composições químicas distintas, que por sua vez tendem a impactar diretamente na diversidade sensorial da bebida (RIBEIRO *et al.*, 2016). Tendo isso em vista, compreender o perfil químico de diferentes genótipos, é um passo fundamental para a melhoria da qualidade da bebida e demais características. Para isso, torna-se necessário a adoção de maiores investimentos analíticos que sejam capazes de mensurar a diversidade de

características presentes no café, e como as mesmas afetam a qualidade final do produto. Entender esses fatores significa projetar uma diversificação de seu mercado (CLEMENTE *et al.*, 2015).

Embora a análise sensorial tenha grande aplicação no processo de aferição da qualidade de alimentos, sua resposta é decorrente de apreciações e julgamentos realizados por pessoas e, por isso, resulta em uma classificação subjetiva (CARRERA *et al.*, 1998). Em vista disso, as análises físico-químicas são consideradas ferramentas importantes para complementar a avaliação sensorial, assegurando confiabilidade aos resultados, uma vez que os constituintes específicos como as características ambientais, métodos de processamento e variedade genética podem estar diretamente relacionados aos atributos presentes na bebida, possibilitando a escolha de características peculiares e produtos distintos (AGNOLETTI *et al.*, 2019). A espectroscopia na região do infravermelho é uma metodologia difundida para análises qualitativas e quantitativas para diversos produtos alimentícios, inclusive o café (OLIVEIRA *et al.*, 2020; SANTOS, 2005). Os espectros de infravermelho do café possuem inúmeras bandas de absorção refletindo sua grande complexidade química. Porém essa técnica gera uma quantidade considerável de dados, a qual necessita de tratamento por meio de técnicas matemáticas adequadas como a quimiometria e a adoção de métodos de análise multivariada a fim de extrair a maior quantidade de informações possíveis (SANTOS, 2005).

Tendo em vista a diversidade química que os diferentes genótipos de *C. canephora* podem apresentar, e consequentemente influenciar na qualidade final da bebida, este trabalho teve como objetivo testar a eficiência da técnica de espectroscopia do infravermelho para correlacionar possíveis relações entre propriedades genóticas e os constituintes

químicos do café. A relevância do presente estudo para o setor cafeeiro está conexas à geração de renda para o produtor rural, que de posse do conhecimento dos constituintes de sua matéria-prima, poderá em um futuro próximo escolher variedades de café com base no potencial químico a fim de obter um produto de qualidade sensorial promissor.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ORIGEM E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As matérias-primas selecionadas para a realização dos experimentos foram constituídas por cafés da espécie *Coffea canephora* – genótipo “LB1”, que compõe a cultivar Monte Pascoal (PARTELLI *et al.*, 2020), e o genótipo “02” que compõe a cultivar Emcapa 8111 (BRAGANÇA *et al.*, 2001).

Os genótipos foram obtidos de três propriedades rurais localizadas no norte do Espírito Santo, nos municípios de São Gabriel da Palha (SGP) – Representado pelo Genótipo ‘02’, Pinheiros (P) – Representado pelo genótipo ‘02’, e São Domingos do Norte (SDN) – Representado pelo genótipo ‘LB1’. Os frutos do café foram colhidos quando atingiram 90% de maturação. Foi realizada uma colheita seletiva com uso de peneiras e posteriormente foram processados por via úmida.

Após o período de descanso das amostras depois da secagem (45 dias), os cafés foram classificados de acordo com a metodologia da Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda (UCDA, 2010) por tipo e peneira. A torra foi realizada apenas com os grãos de café que passaram pela peneira nº 13 up. As amostras foram preparadas de acordo com a metodologia da Autoridade de Desenvolvimento de Café de Uganda. A torrefação foi realizada em torrador Probatino da marca Probat com conjunto

de discos Agron-SCA. O ponto de torra dessas amostras foi definido com base na cor do grão entre as cores determinadas pelos discos manuais da Agron # 65 e # 55 para cafés especiais (UCDA, 2010). Todas as amostras foram torradas de 9 a 10 minutos.

2.2 ANÁLISE DE INFRAVERMELHO

Neste trabalho foram utilizadas 34 amostras de café torrado e os espectros de infravermelho na região do médio foram obtidos em um espectrômetro modelo Cary 630 FTIR do fabricante Agilent Technologies, num acessório ATR (Reflexão Total Atenuada do inglês, attenuated total reflectance) de diamante com ângulo de reflexão de 45°, 1 mm de diâmetro, 200 μm de área ativa e aproximadamente 2 μm de profundidade de penetração na amostra, utilizando um detector de reflectância de Seleneto de Zinco (ZnSe). O espectro registrado foi obtido como a média de 8 varreduras consecutivas, com resolução de 4 cm^{-1} na faixa de trabalho de 4000 a 630 cm^{-1} .

2.3 TRATAMENTO QUIMIOMÉTRICO DOS DADOS

Os espectros originais foram organizados em uma matriz, onde cada réplica foi considerada como uma amostra. Todos os cálculos foram executados no software Matlab versão R2013a e Microsoft Excel versão 2016. Anteriormente à aplicação das ferramentas quimiométricas ao conjunto de dados, foram aplicados como recursos de tratamento dos dados a correção do espelhamento multiplicativo (MSC – multiplicative scatter correction). Os dados

foram centrados na média e posteriormente submetidos a análise exploratória por meio da técnica multivariada de análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA).

A análise discriminante por mínimo quadrados parciais (PLS-DA – Partial Least Squares Discriminant Analysis) é um método de regressão combinado com uma técnica de classificação. Diferente das metodologias de reconhecimento de padrões não supervisionados (PCA), o PLS-DA maximiza a separação entre classes pré-definidas, em vez de explicar as variações dentro de um conjunto de dados, ou seja, o PLS-DA calcula a probabilidade de cada amostra pertencer a uma determinada classe (WONG *et al.*, 2013).

Em relação ao PCA, o modelo PLS-DA é preferível para discriminação de amostras, visto que o segundo possui a capacidade de fornecer uma classificação mais precisa do que o primeiro, do qual só identifica diferenças bruscas de direção não distinguindo a variabilidade detalhada entre as classes (CANTARELLI *et al.*, 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o propósito de classificar as amostras quanto ao genótipo, aplicou-se o método de reconhecimento de padrão PLS-DA ao conjunto de dados. Objetivando avaliar o modelo construído, foram obtidos os parâmetros de classificação, tais como taxa de acerto e erro, especificidade e sensibilidade das classes, exatidão e prevalências.

Tabela 1 Parâmetros estatísticos obtidos no ajuste, validação cruzada e teste para avaliação do modelo de classificação das classes construído. Classe 1, representado pela propriedade em São Gabriel da Palha e genótipo 02; Classe 2, representado pela propriedade em Pinheiros e genótipo 02; Classe 3, representado pela propriedade em São Domingos do Norte e genótipo LB1.

			Ajuste	Validação cruzada	Teste
Modelo		Taxa de erro	0,05	0,11	0
		Acerto	0,95	0,89	1,00
		Exatidão	0,94	0,85	1,00
Classes	Classe 1	Sensibilidade	1,00	1,00	1,00
		Especificidade	0,95	0,9	1,00
		Acurácia	0,9	0,83	1,00
	Classe 2	Sensibilidade	0,97	0,8	1,00
		Especificidade	0,96	0,94	1,00
		Acurácia	0,94	0,87	1,00
	Classe 3	Sensibilidade	0,84	0,77	1,00
		Especificidade	1,00	0,94	1,00
		Acurácia	1,00	0,87	1,00

Fonte: Autor

Uma etapa fundamental na construção do modelo PLS-DA é a determinação do número correto de variáveis latentes, uma vez que estas modelam as fontes de variabilidade dos dados relevantes. Essa escolha é comumente realizada utilizando a validação cruzada das amostras de calibração, onde algumas amostras são separadas em um conjunto de predição e os modelos são construídos com as demais, o erro obtido por esses modelos é calculado, e escolhe-se o número de VL com menor erro.

Outra etapa muito importante é a etapa de validação/teste do modelo de classificação empregando amostras externas, ou seja, que não foram empregadas na etapa de treinamento. Nessa etapa, se o número de variáveis latentes escolhido na etapa de treinamento não for adequado, a classificação das novas amostras não será correta (SANTANA *et al.*, 2020). Embora no estudo em questão

os valores de validação cruzada

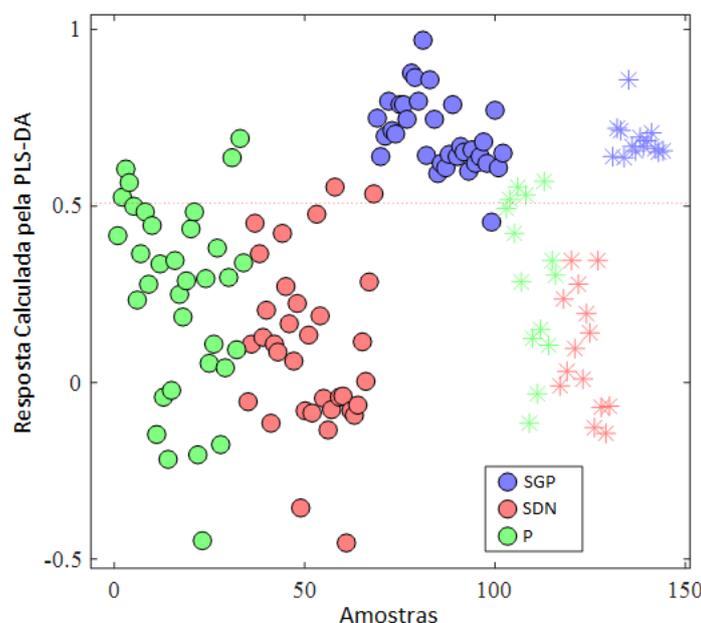
apresentaram uma taxa de erro de 11%, foi possível concluir que este modelo apresentou uma considerável separação entre as classes, visto que os resultados de exatidão, taxa de acerto, especificidade, sensibilidade e acurácia ficaram todas em 100% para o teste.

Esses três últimos parâmetros, embora às vezes possuam o mesmo nome, diferem dos parâmetros empregados em modelos quantitativos. Em problemas de classificação, a sensibilidade é possuir a aptidão de classificar corretamente amostras positivas dado que elas são realmente positivas. A especificidade (também denominada seletividade) é a habilidade do modelo em identificar corretamente as amostras negativas dado que elas são negativas. A acurácia por sua vez é um parâmetro estatístico que fornece um único valor global para medir o desempenho do modelo de classificação (LÓPEZ *et al.* 2015).

Prosseguindo com a análise dos dados, na figura 2 é apresentado o gráfico de resposta fornecido pelo método PLS-DA de

discriminação das amostras através dos parâmetros físico-químicos.

Figura 1 Resposta Calculada pelo método PLS-DA das classes de São Gabriel da Palha (genótipo 'LB1'); São Domingos do Norte (genótipo '02') e Pinheiros (genótipo '02').



Pelo gráfico de resposta da PLS-DA, para cada classe das amostras classificadas entre SGP, P e SDN (Figura 2), é possível observar que a maioria das amostras, tanto de treinamento como de predição estão situadas na região delimitada por suas respectivas classes; acima da linha pontilhada, situam-se as amostras de SGP (genótipo LB1) e, abaixo da linha estão as amostras de P e SDN (genótipo '02'). Essa disposição, configura uma tendência de discriminação da classe SGP das classes P e SDN.

A resposta da PLS-DA do estudo em questão colabora com o trabalho conduzido por Marquetti (2014), onde o mesmo conseguiu discriminar e traçar a origem genotípica de genótipos de café arábica utilizando a espectrometria de infra vermelho próximo. Embora os resultados obtidos indiquem que mesmo os genótipos possuindo composição genética similar, a técnica de infra vermelho contém informações importantes para

discriminação de amostras por genótipo. Na mesma linha, Scholz *et al.* (2011) estudando as características físico-químicas de grãos verdes e torrado de café arábica, observaram diferenças significativas na composição físico-química e nas características da bebida dos cafés de cada local em função do material genético.

Essa diferença pode ser explicada devido a existência de diversos genótipos de café disponíveis, os quais grande parte foram obtidas através do melhoramento genético. O desenvolvimento desses genótipos busca essencialmente obter grãos mais produtivos e adaptados a várias condições climáticas, de solo e também resistente a pragas e doenças, proporcionando a melhoria da qualidade (SERA *et al.*, 2001). A variabilidade genética existente entre genótipos em interação com o ambiente interfere quantitativa e qualitativamente nos componentes químicos e nas características

físico-químicas dos grãos de café (MALTA; CHAGAS, 2009; SCHOLZ *et al.*, 2011).

Sobre as regiões espectrais identificadas neste estudo, as classes avaliadas apresentaram algumas regiões em comum como o intervalo de 4000 a 2750 cm^{-1} que segundo Lopes (2004) corresponde a estiramentos O—H presentes em álcoois e ácidos carboxílicos, N—H de aminas e amidas, além de estiramentos C—H presentes em grupos hidrocarbonetos. O genótipo LB1, destacou-se pelo pico de 1461 cm^{-1} , o qual está relacionado com bandas atribuídas aos ácidos clorogênicos. Confirmando os resultados obtidos por (Fioresi *et al.*, 2021), onde os autores identificaram os mesmos estiramentos de ácidos clorogênicos para café conilon. De acordo com Fernandes *et al* (2001), na torração, os compostos fenólicos são gradualmente decompostos resultando na formação de voláteis do aroma, materiais poliméricos (melanoidinas) e liberação de CO_2 . O ácido clorogênico é hidrolisado à ácidos caféico e quínico cujos sabores, são mais amargos e adstringentes do que dos outros ácidos, pois seu grupo cíclico é um fenol. Um grande número de compostos fenólicos tem sido identificado em café torrado e alguns deles são originados dos ácidos clorogênicos.

Por outro lado, o genótipo '02', representado pelas propriedades SGP e P, apresentaram sinais representativos na região 885 a 895 cm^{-1} indicando a presença de um grupo do tipo $>\text{C} = \text{CH}_2$ - o sinal está presente em compostos como β -pineno, limoneno e canfeno (BUTEAN *et al.*, 2019). O limoneno e o β -pineno tem sido relatado na casca e no fruto de alguns genótipos de café arábica e conilon, e são considerados compostos voláteis antagônicos à broca (*Hypothenemus hampei*) do café, (Cerna-chávez *et al.* 2019; Sera *et al.*, 2010).

A sutil variabilidade genética representada na composição físico-química

dos genótipos estudados, abrem perspectivas para o aprofundamento do campo de estudo. A discriminação de diferentes compostos voláteis por meio do genótipo pode auxiliar os programas de melhoramento a selecionar indivíduos com base na expressão de determinados compostos físico-químicos, seja para melhoria da qualidade da bebida ou até mesmo na resistência às pragas e doenças.

Outra possibilidade vislumbrada com o proveito da técnica de infra vermelho para discriminação de genótipos diz respeito à construção de marcadores químicos para caracterização de distintos genótipos para identificação geográfica (IG).

Os genótipos de conilon disponíveis, são o resultado de décadas de interação entre genética e ambiente e, portanto, possuem características físicas, químicas e sensoriais que podem ser consideradas distintas e únicas. Assim, uma IG pode garantir alguns benefícios econômicos, tais como agregação de valor ao produto, aumento da renda do produtor, acesso a novos mercados internos e externos, inserção dos produtores ou regiões desfavorecidas, preservação da biodiversidade e recursos genéticos locais e a preservação do meio ambiente (BRUCH *et al*, 2012). Para tanto, torna-se necessário a caracterização de mais genótipos, afim de formar uma base sólida de dados que além de discriminar os genótipos, também consiga apontar a funcionalidade do composto presente no acesso.

Por fim além destes fatores citados, consideramos o potencial para estudos relativos à qualidade sensorial em detrimento dos genótipos e dos descritores sensoriais, visando uma compreensão mais ampla a respeito do efeito genotípico sobre a qualidade final.

4 CONCLUSÕES

A técnica de espectroscopia no infravermelho associada análise multivariada PLS-DA mostrou-se adequada na identificação da composição química oriunda os genótipos estudados. Os resultados da análise exploratória mostraram a capacidade da técnica em discriminar em diferentes grupos os genótipos 'LB1' e '02', sendo este último representado por duas propriedades, os quais apresentaram o resultado da PLS-DAS similares, reforçando a acurácia do teste.

Embora o presente trabalho expresse a necessidade de avaliação de outros genótipos, foi possível demonstrar o potencial uso da técnica de espectroscopia no infra vermelho na discriminação de genótipos de café conilon (*Coffea canephora*). As informações obtidas deverão ser úteis para os programas de melhoramento genético no processo de seleção de características de interesse de novos genótipos promissores a serem lançados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Cooperativa de Crédito Livre Admissão Sul Serrana do Espírito Santo - Sicoob (23186000886201801), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, ao Instituto Federal do Espírito Santo, pelo apoio a pesquisa, por meio do edital PRPPG n.º. 10/2019 - Programa Pesquisador Produtividade - PPP, e a Universidade Federal do Espírito Santo, através do LabPetro, pela cooperação de todos os atores no suporte e desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

AGNOLETTI, Bárbara Z. et al.
Discrimination of Arabica and conilon

coffee from physicochemical properties allied to chemometrics. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 3, p. 785–805, 2019.

BRAGANÇA, Scheilla Marina et al. Variedades clonais de café Conilon para o Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 765-770, 2001.

BRUCH, Kelly Lissandra; VIERA, Adriana Carvalho Pinto; WATANABE, Melissa. Perspectivas de desenvolvimento da vitivinicultura em face do reconhecimento da Indicação de Procedência Vales da Uva Goethe. **Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 2, n. 4, p. 327-343, 2012.

BUTEAN, Claudia et al. EXTRACTION AND CHARACTERISTICS OF THE PINE RESINS COMPOUNDS. **Scientific Bulletin Series D: Mining, Mineral Processing, Non-Ferrous Metallurgy, Geology and Environmental Engineering**, v. 33, n. 1, p. 39-50, 2019.

CANTARELLI, Miguel Ángel et al. Authentication and Discrimination of Whiskies of High Commercial Value by Pattern Recognition. **Food Analytical Methods**, v. 8, n. 3, p. 790–798, 2015.

CARRERA, F. et al. Authentication of green coffee varieties according to their sterolic profile. **Analytica Chimica Acta**, v. 370, n. 2–3, p. 131–139, 1998.

CARRERA, F. et al. Authentication of green coffee varieties according to their sterolic profile. **Analytica chimica acta**, v. 370, n. 2-3, p. 131-139, 1998.

CERNA-CHÁVEZ, Ernesto et al. Evaluación de extractos vegetales sobre incidencia y severidad de Hemileia vastatrix en cultivo de café. **Ecosistemas y recursos agropecuarios**, v. 6, n. 18, p. 557-563, 2019.

CLEMENTE, Aline da Consolação

Sampaio et al. Operações pós-colheita e qualidade físico-química e sensorial de cafés. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 233–241, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Café: Safra 2020**. Acompanhamento da safra brasileira - Primeiro levantamento, v.6, n.1, p.62, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>>. Acesso em: 14 Dez. 2020.

FIORES, D.B., PEREIRA, L.L., OLIVEIRA, E.C.S., MOREIRA, T.R., RAMOS, A.C. Mid infrared spectroscopy for comparative analysis of fermented arabica and robusta coffee. **Food Control** v. 121, 2020.

LÓPEZ, M. Isabel; CALLAO, M. Pilar; RUISÁNCHEZ, Itziar. A tutorial on the validation of qualitative methods: From the univariate to the multivariate approach. **Analytica Chimica Acta**, v. 891, p. 62–72, 2015.

MALTA, Marcelo Ribeiro; CHAGAS, Sílvio Júlio de Rezande. Avaliação de compostos não-voláteis em diferentes cultivares de cafeeiro produzidas na região sul de Minas Gerais. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 31, n. 1, p. 57–61, 2009.

MARQUETTI, Izabele. **Classificação de genótipos de café arábica usando espectroscopia de infravermelho próximo**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MONTAGNON, Christophe; MARRACCINI, Pierre; BERTRAND, Benoit. Breeding for coffee quality. **Specialty Coffee: Managing Quality**, p. 89–118, 2012.

OLIVEIRA, Emanuele Catarina da Silva et al. Espectroscopia de infravermelho para

estudo de café conilon fermentado.

Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 4, p. 19248–19259, 2020.

PARTELLI, Fábio Luiz *et al.* Monte Pascoal: Primeira Cultivar para Bahia. Em: PARTELLI, Fábio Luiz *et al.* (org.). **CAFÉ CONILON: Desafios e Oportunidades**. Alegre, 2020. p. 15-22.

RIBEIRO, Bruno Batista et al. Avaliação química e sensorial de blends de *Coffea canephora* Pierre e *Coffea arabica*. **Coffee Science**, v. 9, n. 2, p. 178–186, 2014.

RIBEIRO, Diego Egidio et al. Interaction of genotype, environment and processing in the chemical composition expression and sensorial quality of Arabica coffee. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 27, p. 2412–2422. 2016.

SANTANA, Felipe et al. Experimento didático de quimiometria para classificação de óleos vegetais comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio combinado com análise discriminante por mínimos quadrados parciais: um tutorial, Parte V. **Química Nova**, v. 43, n. 3, p. 371–381, 2020.

SANTOS, Mariana Cristina Souza. Utilização da espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) e quimiometria na identificação do café torrado e moído adulterado. p. 65, 2005.

SCHOLZ, Maria Brígida dos Santos et al. Características físico-químicas de grãos verdes e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) do IAPAR. **Coffee Science**, v. 6, n. 3, p. 245–255, 2011.

SERA, Gustavo Hiroshi et al. Coffee Berry Borer Resistance in Coffee Genotypes. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, p. 261–268, 2010.

SERA, T. Coffee Genetic Breeding at IAPAR. **Cropp Breeding and Applied Biotechnology**, v. 1, n. 2, p. 179–199, 2001.

UGANDA COFFEE DEVELOPMENT AUTHORITY - UCDA. Robusta Cupping Protocol. 2010. Disponível em: <https://ugandacoffee.go.ug/sites/default/files/Resource_center/UCDA%20Annual%20Report_2011-2012_0.pdf>. Acesso em: 14 Dez. 2020

VELOSO, Tomás Gomes Reis et al. Effects of environmental factors on microbiota of fruits and soil of *Coffea arabica* in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 14692, 7 dez. 2020.

WONG, Ka H. et al. Differentiation of *Pueraria lobata* and *Pueraria thomsonii* using partial least square discriminant analysis (PLS-DA). **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 84, p. 5–13, 2013.