

CAFÉ CANÉFORA

Ciência, sabor e identidade



Enrique Anastácio Alves
Rodrigo Barros Rocha
Alexsandro Lara Teixeira

Editores técnicos

Embrapa

***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Rondônia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

Café Canéfora

Ciência, sabor e identidade

*Enrique Anastacio Alves
Rodrigo Barros Rocha
Alexsandro Lara Teixeira*

Editores técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2025

Embrapa
Parque Estação Biológica,
Av. W3 Norte (final)
70707-901 Brasília, DF
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Responsável pelo conteúdo

Embrapa Rondônia
BR 364 km 5,5 s/n
Caixa Postal 127
76815-800 Porto Velho, RO
<https://www.embrapa.br/rondonia>

Comitê Local de Publicações

Presidente:

José Marques Carneiro Junior

Secretário-executivo:

Victor Ferreira de Souza

Membros:

*Calixto Rosa Neto, Enrique Anastácio Alves,
Juliana Alves Dias, Mauricio Reginaldo Alves
dos Santos, Wilma Inês de França Araújo*

Edição executiva

Alexsandro Lara Teixeira

Revisão de texto

Wilma Inês de França Araújo

Normalização bibliográfica

Jeana Garcia Beltrão Macieira

Projeto gráfico

André Luiz Garcia da Silva

Diagramação

André Luiz Garcia da Silva

Arte da capa

Yara Santos Cioffi

Foto da capa

Enrique Anastacio Alves

1ª edição:

1ª impressão (2025): 200 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Rondônia

Café canéfora : ciência, sabor e identidade / Enrique Anastácio Alves, Rodrigo Barros Rocha, Alexsandro Lara Teixeira, editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2025.

PDF (241 p.) : il. color.

ISBN 978-65-5467-111-8

ISBN 978-65-5467-117-0

1. Coffea canephora. 2. Café conilon. 3. Qualidade da bebida. 4. Atributos sensoriais. 5. Indicação geográfica. I. Alves, Enrique Anastácio. II. Rocha, Rodrigo Barros. III. Teixeira, Alexsandro Lara. IV. Embrapa Rondônia.

CDD (22 ed.) 633.73

Editores técnicos e autores

Aguinaldo José de Lima

Administrador, Empresário da AJLima Consultoria em Agronegócios Ltda,
Patrocínio, MG

Alexsandro Lara Teixeira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento, pesquisador da
Embrapa Café, Brasília, DF

Alvaro Luis Lamas Cassago

Farmacêutico-bioquímico, pesquisador colaborador da Faculdade de Ciências
Farmacêuticas, Ribeirão Preto, SP

Ana Carolina Andrade Silva

Engenheira-agrônoma, doutora em Genética e Melhoramento, pesquisadora
colaboradora da Epamig, Viçosa, MG

André Luiz Buzzo Mori

Químico, doutor em Ciência de Alimentos, professor da Universidade Estadual de
Londrina, Londrina, PR

Bárbara Zani Agnoletti

Engenheira de alimentos, doutora em Química, desenvolvedora de produtos na
indústria de café solúvel, Linhares, ES

Beatriz Junqueira

Zootecnista, mestre em Economia Aplicada, Auditora Fiscal Federal Agropecuária,
Vitória, ES

Danieli Grancieri Debona

Química, mestre em Química, pesquisadora colaboradora da Universidade
Federal do Espírito Santo, Vitória, ES

Eliana Relvas de Almeida

Engenheira de Alimentos, MBA em Administração Industrial, Consultora especializada em cafés especiais, São Paulo, SP

Emanuele Catarina da Silva Oliveira

Química, doutora em Química, professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Venda Nova do Imigrante, ES

Enrique Anastácio Alves

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Empresa Rondônia, Porto Velho, RO

Eustáquio Vinícius Ribeiro de Castro

Químico, doutor em química, professor da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES

Eveline Teixeira Caixeta

Engenheira-agrônoma, doutora em Genética e Melhoramento, pesquisadora da Embrapa Café, Brasília, DF

Fabiana Mesquita de Carvalho

Bióloga, doutora em Psicobiologia, pesquisadora colaboradora da Universidade Estadual de Campinas, Ribeirão Preto, SP

Francisco Lucas Chaves Almeida

Bacharel em Agroindústria, doutor em Ciências, pesquisador colaborador da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP

Juliana Azevedo Lima Pallone

Química, doutora em Ciência de Alimentos, professora da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP

Julyene Francisco de Mattos

Tecnóloga de Alimentos, mestre em Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR

Jussara Moreira Coelho

Engenheira de Alimentos, doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos, professora da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES

Lucas Louzada Pereira

Administrador, doutor em engenharia de produção, Pesquisador do Instituto Mió, Venda Nova do Imigrante, ES

Marcelo Curitiba Espindula

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Café, Brasília, DF

Maria Amélia Gava Ferrão

Engenheira-agrônoma, doutora em Genética e Melhoramento, pesquisadora aposentada da Embrapa Café, Brasília, DF

Mariane Santos Anholeti

Química, mestre em Agroquímica, pesquisadora colaboradora da universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES

Marta de Toledo Benassi

Engenheira de Alimentos, doutora em Ciência de Alimentos, professora da Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR

Mateus Manfrin Artêncio

Administrador, doutor em Administração de Organizações, pesquisador colaborador da Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP

Michel Rocha Baqueta

Tecnólogo em Alimentos, doutor em Ciência de Alimentos, pesquisador colaborador da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP

Pâmela Mysen Machado Martins

Engenheira de Alimentos, doutora em Ciência dos Alimentos, pesquisadora colaboradora da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG

Patrícia Campos Bernardes

Bacharel em Ciência e Tecnologia de Laticínios, doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos, professora da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES

Patrícia Maria da Silva Barbosa

Bióloga, pós-doutora em Propriedade Intelectual, Inovação e desenvolvimento, Tecnologista do Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Rio de Janeiro, RJ

Patrícia Valderrama

Química, doutora em Química, professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, PR

Paulo Roberto Filgueiras

Matemático, doutor em Química, professor da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES

Renata Kelly da Silva

Comunicadora Social – Jornalista, mestre em Administração de Organizações, analista de inovação da Embrapa Alimentos e Territórios, Maceió, AL

Rodrigo Barros Rocha

Biólogo, doutor em Genética e Melhoramento, pesquisador da Embrapa Café, Brasília, DF

Rosane Freitas Schwan

Agrônoma, doutora em Microbiologia, professora da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG

Em nome de todos os envolvidos na promoção da qualidade do café produzido na Amazônia, expressamos nossa gratidão aos cafeicultores, técnicos e extensionistas do estado de Rondônia. A dedicação e o trabalho incansável de vocês são fundamentais para a constante melhoria da qualidade dos cafés da nossa região. A transformação que vimos nos últimos anos não é apenas um reflexo da evolução das técnicas agrícolas, mas também do empenho em oferecer um produto que representa, de maneira genuína, a riqueza e a diversidade da nossa Amazônia. É por meio da inovação, do aprendizado contínuo e da troca de experiências que a qualidade do café de Rondônia tem se destacado, conquistando o reconhecimento tanto no mercado nacional quanto internacional. O compromisso com a sustentabilidade, o respeito ao meio ambiente e a valorização do produtor local são pilares essenciais que sustentam essa trajetória de sucesso.

Aos técnicos e extensionistas, que com seu conhecimento e orientação, têm feito toda a diferença na capacitação e no crescimento da cafeicultura no estado, aos cafeicultores, que, com tanto esforço e paixão, cultivam o grão que representa não apenas uma atividade econômica, mas uma verdadeira cultura

À Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), à Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento (FAPED) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que disponibilizaram recursos financeiros, infraestrutura, equipe capacitada e informações para a confecção desta obra.

Ao Governo do estado de Rondônia, por meio da Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SEDEC); Secretaria de Estado da Agricultura (SEAGRI); Entidade Autárquica de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Rondônia (EMATER-RO); Superintendência Federal de Agricultura SFA/RO (MAPA); Câmara Setorial do Café do estado de Rondônia; Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE); Associação dos Produtores de Café de Rondônia (Caferon); Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (CAPES); do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR); Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBP&D/Café) e do Consórcio Energia Sustentável do Brasil (ESBR).

Apresentação

Este livro surge como um marco no estudo e na valorização dos cafés robusta e conilon cultivados no Brasil, com especial ênfase na região Amazônica. A obra traz à tona a diversidade e os avanços na pesquisa, abordando de maneira profunda desde a origem das cultivares, até as novas tecnologias e abordagens utilizadas para garantir a qualidade e o reconhecimento desses cafés no cenário global.

O primeiro capítulo revela a origem, diversidade genética e as principais cultivares de *Coffea canephora* no Brasil, destacando o potencial desta espécie no contexto nacional e internacional. A seguir, o livro explora os perfis sensoriais dos Robustas Amazônicos, fornecendo uma análise detalhada das características que tornam esses cafés únicos e de alta qualidade.

Ao abordar os protocolos de classificação e degustação, a obra estabelece uma base sólida para a padronização e valorização do café canéfora, incluindo a avaliação sensorial que permite distinguir e qualificar os grãos com precisão. Avançando para a inovação tecnológica, discutem-se os recentes desenvolvimentos e o potencial da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para a tipificação de cafés robustas amazônicos especiais, uma ferramenta essencial para a qualidade e diferenciação dos produtos.

O livro também foca em cafés híbridos intervarietais, com destaque para os mais cultivados na Amazônia, explorando sua composição em bioativos hidrossolúveis e atividade antioxidante. Além disso, são apresentadas abordagens baseadas em espectroscopia e reconhecimento de padrões, que têm se mostrado essenciais para o estudo químico de *Coffea canephora*, ajudando na identificação e na melhoria das características dos cafés.

Outro aspecto fundamental abordado é a microbiologia e fermentação dos cafés canéfora, que são processos cruciais para o desenvolvimento de cafés de alta qualidade. A obra também antecipa o futuro promissor dos desse tipo de grão, destacando o impacto das informações científicas no reconhecimento sensorial e na ampliação de seu mercado.

Por fim, são discutidos os protocolos de degustação dos cafés solúveis, um segmento que tem ganhado relevância, e a importância da indicação geográfica

para os cafés canéforas brasileiros, que tem sido um marco no reconhecimento e valorização desses cafés como produtos especiais de uma região única.

Com este livro, o leitor terá acesso a uma visão ampla e detalhada sobre os aspectos técnicos, sensoriais e científicos que moldam os cafés canéforas brasileiros, além de compreender os desafios e as oportunidades que a cafeicultura oferece. Esta obra não é apenas uma contribuição ao campo da pesquisa sobre o café, mas uma celebração do potencial do Brasil como um dos maiores produtores de cafés robustas especiais no mundo.

Lúcia Helena de Oliveira Wadt

Chefe-geral da Embrapa Rondônia

Ricardo Cappelli

Presidente da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI)

Robert Eugene Schaffert

Diretor Executivo da Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento (FAPED)

Prefácio

Este livro é um reconhecimento ao trabalho conjunto e ao impacto das parcerias público-privadas no desenvolvimento de novas tecnologias, fundamentais para a evolução da cafeicultura em Rondônia e para a melhoria da qualidade dos cafés produzidos na Amazônia.

Ao longo das páginas, buscamos ilustrar como a colaboração entre o setor público e o privado tem sido crucial para impulsionar a inovação, capacitar os cafeicultores e promover a sustentabilidade na produção de café. O foco está na transformação que essas parcerias têm proporcionado aos produtores, técnicos e extensionistas, responsáveis pela constante elevação dos padrões de qualidade do café no estado de Rondônia.

Essas parcerias, que envolvem investimentos em pesquisa, capacitação, e disseminação de boas práticas agrícolas, têm permitido o desenvolvimento de novas tecnologias e processos que não apenas aumentam a produtividade, mas garantem um produto final de qualidade superior, capaz de competir e se destacar nos mercados nacional e internacional.

Este livro visa, portanto, reconhecer e valorizar o esforço conjunto entre os agentes públicos, privados e a sociedade civil, destacando como essa união tem sido vital para o fortalecimento da cafeicultura de Rondônia. Por meio da inovação tecnológica, a região tem conseguido superar desafios e alcançar resultados significativos, refletidos na qualidade excepcional de seus cafés.

Esperamos que, ao percorrer estas páginas, o leitor compreenda a importância das parcerias estratégicas e como elas podem, efetivamente, transformar a realidade de uma cadeia produtiva, trazendo benefícios tanto para os produtores quanto para toda a sociedade.

Antonio Carlos Tafuri

Analista de Produtividade e Inovação

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI)

Sumário

Capítulo 1 – Origem, Diversidade genética e cultivares de <i>Coffea canephora</i> do Brasil.....	15
Capítulo 2 – Perfil Sensorial dos cafés canéforas brasileiros	37
Capítulo 3 – Protocolos de classificação e degustação de Cafés.....	55
Capítulo 4 – Recentes desenvolvimentos e potencial da espectroscopia no infravermelho próximo para tipificação de cafés Robustas Amazônicos especiais.....	79
Capítulo 5 – Cafés canéfora híbridos intervarietais mais cultivados na Amazônia Ocidental: composição em bioativos hidrossolúveis e atividade antioxidante.....	107
Capítulo 6 – Abordagens baseadas em espectroscopia e reconhecimento de padrões para o estudo químico de <i>coffea canephora</i>	135
Capítulo 7 – Microbiologia e fermentação de cafés canéforas	171
Capítulo 8 – Futuro promissor: impacto das informações no reconhecimento sensorial dos cafés canéfora	187
Capítulo 9 – Protocolo de degustação de cafés solúveis.....	205
Capítulo 10 – A indicação geográfica nos cafés canéforas brasileiros	229



Foto: Enrique Anastácio Alves

Capítulo 1

Origem, Diversidade genética e cultivares de *Coffea canephora* do Brasil

Eveline Teixeira Caixeta,
Alexsandro Lara Teixeira,
Ana Carolina Andrade Silva,
Maria Amélia Gava Ferrão,
Marcelo Curitiba Espindula,
Rodrigo Barros Rocha

Origem e dispersão dos cafés

O café se refere a plantas que pertencem ao gênero *Coffea*, composto por 124 espécies que ocorrem naturalmente na zona intertropical dos continentes da África, Ásia e Oceania (Davis et al., 2011). No entanto, apenas duas espécies, *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, são amplamente comercializadas e utilizadas na produção da bebida do café. O primeiro café a ser consumido foi da espécie *C. arabica*. Essa espécie é nativa das terras altas do Leste da África (Sudoeste da Etiópia, Sudeste do Sudão e Norte do Quênia) e, atualmente, são encontradas como plantas nativas nas florestas antigas do Planalto da Etiópia, mais especificamente, na região do antigo reinado de Kaffa. A história da descoberta do café como bebida e o início de seu cultivo são relatados em registros muito antigos, muitas vezes controversos. Mas em geral, os registros mostram que sementes de café se espalharam pelas rotas comerciais e de peregrinação no início do século XV da África para o Iêmen (Arábia), onde as primeiras plantas foram cultivadas para consumo local. Por terem sido cultivadas pela primeira vez na Arábia, apesar da origem na África, em 1737, Carl Von Linné (Lineu) classificou a espécie, dando-lhe o nome de *Coffea arabica* (Martins, 2008).

No século XVI, o café era uma bebida popular no Egito, Pérsia, Síria e Turquia. As cafeterias surgiram no Oriente Médio, na África Oriental e na Europa. Durante séculos, o café foi exportado torrado e somente o Iêmen podia cultivá-lo (Muñoz-Pajares et al., 2023). Nessa época, as plantas eram protegidas e as exportações de sementes e plantas eram proibidas, como uma forma de controle do mercado imposto pela Arábia. O café foi introduzido na Índia, segundo tradição

Indígena, dentro do bolso de um peregrino que o levou do Porto de Mocha (Iê-men). Algumas sementes também foram levadas por exploradores holandeses e foram plantadas na Indonésia, mais especificamente na Ilha de Java, Bornéu e Sumatra. Suas progênies foram introduzidas no Suriname, que assim como Java, estava sob domínio da Holanda (Berthaud; Charrier, 1985; Carvalho, 1993). Em 1616, uma planta de café foi transportada para a Holanda, sendo mantida no Jardim Botânico de Amsterdan (Smith, 1985; Muñoz-Pajares et al., 2023). No entanto, oficialmente, apenas no início do século XVIII, Portugueses e Holandeses conseguiram levar plantas de café para Siri Lanka (na época conhecida como Ceilão). Em 1850, as potências europeias estabeleceram plantações em muitas áreas sob seu controle para manter a autoridade sobre o altamente lucrativo comércio de café (Muñoz-Pajares et al., 2023). Nessa época, Portugal, Holanda, França e Espanha começaram a cultivar o cafeeiro em suas colônias tropicais, onde a planta se adaptava. A Inglaterra foi o último país a cultivar o café em suas colônias (Smith, 1985).

No Brasil, a introdução do café se deu em 1727, quando uma pequena quantidade de sementes e mudas foram plantadas em Belém, no estado do Pará. Esse cultivar introduzido da Guiana Francesa, denominado de *Typica*, foi disseminado para o restante do país sendo, praticamente, o único cultivar explorado comercialmente até meados do século XIX. As primeiras plantações comerciais foram estabelecidas no Vale do Paraíba por volta de 1761. Nos anos de 1852 e 1896, ocorreram mais dois ciclos de introdução de genótipos provenientes da Ilha de Reunião (antigamente, conhecida como Ilha Bourbon) e da Ilha de Sumatra, respectivamente (Carvalho, 1993). Nessas ocasiões, foram introduzidos os cultivares 'Bourbon' e 'Sumatra' que tiveram grande importância para a cafeicultura brasileira, por serem as genitoras de vários cultivares plantados até a atualidade no Brasil.

Os registros históricos mostram que a partir dos séculos XVIII e XIX, o cultivo do café se espalhou para vários países no mundo entre os Trópicos de Câncer e de Capricórnio. O *C. arabica*, nessa época, constituía a principal espécie cultivada e consumida até meados do século XIX, quando a ferrugem, doença causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*, dizimou o cultivo no Siri Lanka e nas Índias Orientais. A partir desse momento, houve uma busca internacional por outras espécies de café que fossem resistentes a essa enfermidade e pudessem servir como alternativa

para produção de café. Entre 1870-1900, quando ocorreu a grande epidemia da ferrugem no Sudeste da Ásia, o cultivo de café em Sri Lanka foi quase completamente substituído por chá. No entanto, a cadeia do café na Indonésia foi preservada pela introdução do café da espécie *C. canephora*. O café introduzido foi chamado de Robusta e combinava vigor de crescimento e produção com alto nível de resistência à ferrugem, apesar de ter valor de mercado menor (Van Der Vossen, 1985).

A espécie *C. canephora* é originária de uma ampla região da África, que se estende do Guiné ao Congo, da costa oeste à região central do continente, predominando em regiões de baixa altitude. A África Central e, mais especificamente, a bacia do Congo, constitui o centro de diversidade genética de *C. canephora*, bem como de outras várias espécies de *Coffea*. Foi a partir das proximidades do rio Lomami, um afluente do rio Congo, que sementes foram coletadas para estabelecer uma lavoura de café em 1890. A introdução desse café do Congo, denominado de Robusta, para Java ocorreu na década de 1900. De Java o café Robusta foi levado para Índia, Uganda e Costa do Marfim (Van Der Vossen, 1985) e, desde então, se espalhou para vários países. O cultivo comercial de Robusta na Índia ocorreu a partir de 1925, quando foram realizadas diferentes introduções dessa espécie, vindo de países como Indonésia, Madagascar, Costa Rica, Costa do Marfim, Guatemala, Uganda e Vietnã. Essas introduções permitiram a ampliação da base genética dos cafeeiros. Na década de 1950, 27% dos cafés plantados na Índia correspondiam a Robusta e o restante a *C. arabica*. Esse cenário vem sendo alterado, sendo que em 2018-2019, 50% das lavouras cafeeiras já pertenciam a espécie *C. canephora* no país (Huded et al., 2020).

Outro grupo de plantas de *C. canephora* também passou a ser cultivado, no entanto, foi originado de sementes de plantas obtidas da proximidade do rio Kouillou, também no Congo. Esses cafeeiros, denominados atualmente de Conilon, apresentam porte, folhas e frutos menores que o café Robusta, sendo, portanto, considerado outro grupo varietal. Esses cafeeiros passaram a ser cultivados em Madagascar e Uganda. O Conilon foi introduzido na Indonésia em 1901, mas não alcançou importância econômica. Por outro lado, no Brasil, especialmente no estado do Espírito Santo, esses cafeeiros apresentaram maior adaptação (Van Der Vossen, 1985) e se tornaram o principal grupo varietal da espécie *C. canephora* cultivada no país.

Grupos varietais de *Coffea canephora*

Cafeeiros da espécie *C. canephora* consistem em genótipos com grande variabilidade que formam subpopulações geneticamente divergentes e, em geral, a diversidade está associada à localização geográfica. A espécie é dividida em dois grandes grupos: (a) Congolense, originários da África central, onde estão os Robustas e Conilons e (b) Guineano, originários do Oeste da África (Guiné e Costa do Marfim). Essa separação pode estar relacionada tanto com a grande distância geográfica como com eventos históricos, uma vez que existe uma barreira biogeográfica separando as regiões onde ocorrem esses cafeeiros. Essa barreira corresponde a uma estreita faixa de terras áridas, com cerca de 300 km de largura, denominada de intervalo Dahomey, localizada no Benin e situada entre os blocos de floresta do Centro e do Oeste da África (Maurin et al., 2007; Gomez et al., 2009).

Esses dois grandes grupos são subdivididos, conforme a diversidade genética que apresentam. Por meio de análise de diferentes marcadores bioquímicos e moleculares, os cafeeiros da espécie *C. canephora* foram inicialmente subdivididos em cinco subgrupos genéticos, A (ou SG1), B, C, D e E (ou SG2) (Montagnon et al., 1992; Dussert et al., 1999; Gomez et al., 2009). O grande grupo Guineano é formado apenas pelo subgrupo D e o Congolense composto pelos demais grupos. Outro subgrupo distinto foi identificado, denominado de grupo O, o qual corresponde a populações selvagens de Uganda (Musoli et al., 2009). Novos grupos foram identificados e, atualmente, tem sido considerado a formação de oito subgrupos pelos cafeeiros selvagens da espécie *C. canephora* (Kiwuka et al., 2021)

O grupo A ou também denominado de grupo SG1 reúne os genótipos chamados de Conilon, que ocorrem, naturalmente, do Benin ao Gabão e apresentam características adaptativas semelhantes, em parte, àquelas do grupo Guineano, sobretudo por serem tolerantes à seca e suscetíveis à ferrugem (Montagnon et al., 1998). Apesar de apresentarem características morfoagronômicas semelhantes aos cafeeiros guineanos, os grãos do SG1 produzem bebida de qualidade superior e equivalente à bebida dos cafeeiros congolense. Os subgrupos E ou SG2, bem como os grupos B, C e ugandenses compreendem os genótipos do tipo Robusta, que são plantas mais altas, vigorosas, de folhas e frutos maiores, com melhor qualidade de bebida, maior resistência à ferrugem e maior sensibilidade à seca (Musoli et al., 2009).

No Brasil, foram introduzidos cafeeiros do grupo A (SG1), os Conilons, e do grupo E (SG2), os Robusta, ambos do grupo Congolense. Atualmente esses dois grupos varietais são considerados *pools* gênicos independentes e o cruzamento entre eles tem gerado genótipos com vigor híbrido, os quais têm sido explorados nos programas de melhoramento genético (Alkimim et al., 2021; Ferrão et al., 2022).

Introdução e dispersão de *Coffea canephora* no Brasil

Os cafeeiros da espécie *C. canephora*, foram introduzidos no Brasil no estado do Espírito Santo, no município de Cachoeira do Itapemirim. As primeiras mudas e sementes foram trazidas em 1912 pelo então Governador Jerônimo Monteiro. O material genético introduzido foi do grupo A (SG1) representado pelo tipo varietal Conilon (adaptação do termo ‘Kouillou’, com o “u” sendo trocado pelo “n”). Por isso, no estado do Espírito Santo, a espécie é popularmente conhecida como Conilon. Com o passar dos anos, as sementes oriundas dessas primeiras lavouras implantadas se espalharam por outras propriedades e municípios do estado. Somente em 1971, no município de São Gabriel da Palha, é que o cultivo do Conilon atingiu níveis de produção em escala comercial, com lavouras tecnificadas, iniciativas de fomento à produção de mudas e assistência técnica. Foi nesse período que o café Conilon passou a representar uma excelente alternativa aos cafeicultores das regiões mais quentes e secas do estado, inaptas ao cultivo do café arábica (Dadalto; Barbosa, 1997; Fonseca et al., 2004). Outra situação que impulsionou a cafeicultura capixaba foi a instalação de uma indústria de café solúvel, a Real Café, no município de Viana em 1971.

O crescente mercado de cafés solúveis na Europa e Estados Unidos, daquela época, potencializaram a expansão do Conilon por vários municípios do estado do Espírito Santo, na década de 1980. Desde então, os poderes públicos municipais e estadual criaram ações para fomento da cafeicultura local (Loss, 2004). Na década de 1990, houve grandes avanços nas técnicas de propagação vegetativa com a utilização de jardins clonais que maximizou a produção de mudas em larga escala. Ao mesmo tempo, as pesquisas do programa de melhoramento genético do cafeeiro do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), iniciaram o desenvolvimento e lançamento de novos cultivares para uso comercial (Ferrão et al., 2017).

O crescimento da produção de café conilon no Espírito Santo culminou com o período de maior migração de agricultores capixabas para o estado de Rondônia. A migração, que se iniciou em 1960, com a construção da rodovia BR-364 no estado de Rondônia, foi intensificada no final da década de 1970 e teve seu ápice durante a década de 1980. Entre os anos de 1980 e 1991, a migração de capixabas para Rondônia chegou a 42.111 capixabas (Dalapícola, 2008).

Os agricultores capixabas migrantes levaram consigo sementes de Conilon para serem cultivados em Rondônia, dando início ao cultivo da espécie na região. Essas sementes, juntamente com as sementes de cafeeiros Robustas introduzidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, se tornaram a base da cafeicultura de Rondônia, segundo maior produtor de cafés canéfora do Brasil (Espindula et al., 2022).

Recursos genéticos de *C. canephora*

As populações naturais de *C. canephora* e as lavouras primitivas do continente africano são recursos genéticos valiosos a serem explorados pelos programas de melhoramento do cafeeiro. Esses materiais exibem uma vasta variabilidade genética, resultado do intenso intercâmbio genético entre as regiões produtoras, além das próprias características biológicas da espécie: alógama com autoincompatibilidade do tipo gametofítica, formado por variedades botânicas ou diferentes *pool* gênicos (Berthaud; Charrier, 1985; Ferrão et al., 2017; Moraes et al., 2018). Como resultado, a diversidade genética da espécie foi ampliada pela recombinação genética entre esses materiais, permitindo o surgimento de genótipos de café que não ocorriam naturalmente por causa do isolamento geográfico (Rocha et al., 2015).

Os materiais genéticos de *C. canephora*, assim como as demais espécies do gênero *Coffea*, têm sido conservados em coleções *ex situ*, devido à perda do poder germinativo das sementes em um curto período de armazenamento (Dulloo et al., 1998). Diferentes países possuem banco de germoplasma *ex situ* da espécie, tais como: Costa do Marfim, Camarões, Uganda, Índia, Indonésia e Brasil (Berthaud; Charrier, 1985). No Brasil, as principais instituições mantenedoras de coleções *ex situ* de *C. canephora* são: Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

Caracterizar a diversidade genética existente no germoplasma das instituições mantenedoras geram informações essenciais para orientar a utilização dos recursos genéticos de *C. canephora* disponíveis no país (Ferrão et al., 2017). Essas informações permitem o conhecimento do material genético disponível, auxiliam na manutenção do banco de germoplasma e no intercâmbio de genótipos entre instituições, além de auxiliarem as tomadas de decisões em programas de melhoramento, aumentando a variabilidade genética existente e, consequentemente, os ganhos com a seleção (Rocha et al., 2015; Ferrão et al., 2022). A caracterização da diversidade genética dos acessos pode ser realizada por meio de dados fenotípicos, pela avaliação de características morfológicas, bem como por dados moleculares usando marcadores de DNA. Marcadores moleculares de DNA permitem analisar o polimorfismo existente a nível de DNA e a vantagem desses marcadores está na possibilidade de comparar genótipos, mesmo que amostrados em diferentes regiões, tipos de tecido ou estágio de desenvolvimento. Outra vantagem é a possibilidade teórica de detectar polimorfismo no DNA ao longo de todo o genoma e sem a interferência do ambiente. Além disso, os marcadores de DNA permitem uma avaliação mais rápida da variabilidade entre os indivíduos, trazendo benefícios principalmente para espécie como o cafeeiro que é perene de ciclo juvenil longo, na qual algumas características morfológicas a serem avaliadas serão expressas tardiamente (Caixeta et al., 2016).

Marcadores moleculares foram utilizados para avaliar a diversidade genética existente nos materiais das principais instituições mantenedoras dos recursos genéticos de *C. canephora* no Brasil. Souza et al. (2013) avaliaram a diversidade genética existente entre 130 acessos dos bancos de germoplasma do IAC, UFV e acessos coletados em lavouras do Espírito Santo e Rondônia. Foi observado alto grau de polimorfismo entre os acessos, com a formação de dois grandes grupos: o primeiro constituído pelos acessos dos bancos de germoplasma do IAC e UFV, e o segundo pelos acessos do Espírito Santo e Rondônia. Este último grupo foi subdividido em dois subgrupos, no qual os acessos do Espírito Santo e Rondônia se alocaram em subgrupos distintos. Essas informações obtidas são de grande importância para os programas de melhoramento brasileiros, pois permitem explorar a heterose resultante dos cruzamentos intergrupos e assim aumentar o ganho genético.

Trabalhos comparativos entre diferentes acessos do banco de germoplasma da Embrapa Rondônia e dos cafeeiros mais plantados no estado de Rondônia em diferentes décadas, mostraram uma mudança de cenário na preferência dos produ-

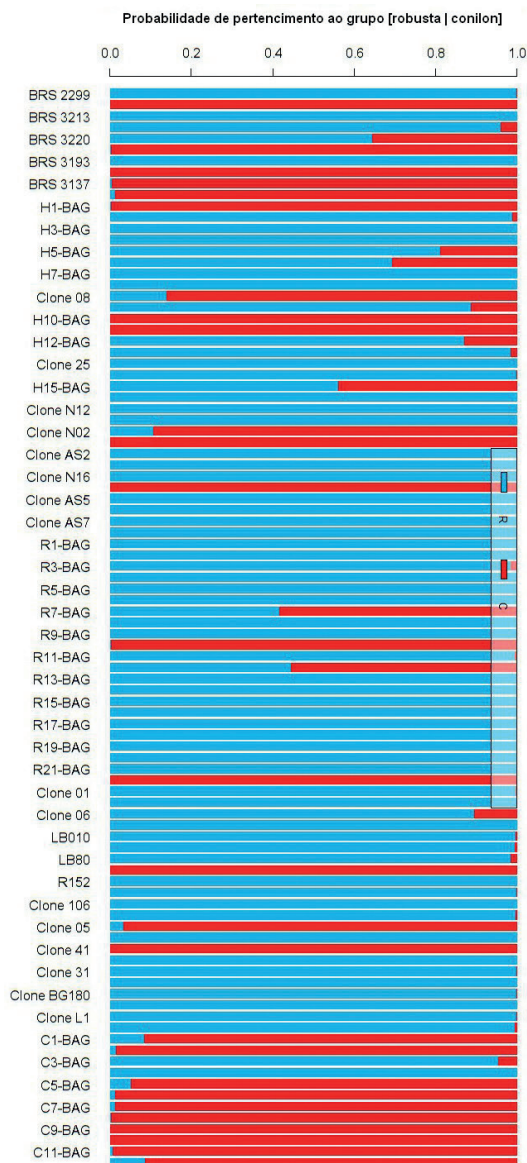


Figura 2. Gráfico de barras da análise bayesiana de pertencimento utilizada para estudo de diversidade de cafeeiros da espécie *C. canephora*, mantidos e plantados em Rondônia na década de 2020. Os 96 genótipos divididos em dois grupos ($k=2$) de acordo com as variedades botânicas Conilon (Verde) e Robusta (Vermelho). O eixo x representa os cafeeiros e o eixo y a probabilidade de pertencimento em seu respectivo grupo.

Fonte: Silva (2022).

Bancos de germoplasma de *C. canephora* do Espírito Santo e Minas Gerais também tiveram a diversidade genética estimada, por meio de marcadores moleculares SNPs. Zaidan et al. (2023) avaliaram a diversidade genética e estrutura populacional de 280 genótipos de *C. canephora* selecionadas em antigas lavouras seminais do sul do Espírito Santo. Foi observado a formação de seis grupos divergentes com o germoplasma estruturado em dois *pools* gênicos. Esses cafeeiros representam um valioso recurso genético para os programas de melhoramento, principalmente para ampliar a base genética das atuais lavouras clonais do estado. Alkimim et al. (2018) analisaram 72 genótipos de *C. canephora* (Conilon, Robusta e Híbrido) pertencentes ao banco de germoplasma da Epamig/UFV/Embrapa. Foi observado menores valores de dissimilaridade genética no grupo varietal Conilon, fazendo-se necessário a introdução de novos acessos deste grupo no banco do germoplasma. Maiores valores de distância genética foram observados entre os genótipos dos grupos varietais, Conilon e Robusta, dos quais cruzamentos promissores foram selecionados, a fim de aproveitar a heterose manifestada.

Apesar da grande variabilidade genética existente na espécie, essa ainda é pouco explorada pelos programas de melhoramento genético do cafeeiro conduzidos no Brasil (Ferrão et al., 2007). Inicialmente, houve maior expansão do grupo Congolense, subgrupo SG1, o qual representa o grupo varietal Conilon. Em seguida, o SG2, que abrange os cafeeiros do grupo varietal Robusta, passou a ser mais difundido, uma vez que possui vários alelos de interesse, com destaque para os alelos de resistência às principais doenças e pragas do cafeeiro. Além da resistência a ferrugem (*Hemileia vastatrix*), CBD (*Colletotrichum kahawae*), nematoides e bicho mineiro, esses cafeeiros apresentam outras importantes características de rendimento e interesse comercial, tais como, maior tamanho de grãos e menor teor de cafeína. No entanto, poucas foram as sementes e mudas que deram origem a esses cafeeiros.

O grupo Guineano é formado por cafeeiros portadores de importantes alelos de interesse agrônomo, como tolerância a seca. Todavia, este grupo não passou por uma grande dispersão, ficando restrito ao Guiné e Costa do Marfim, local de origem. Não há relatos da introdução dos cafeeiros deste grupo em programas de melhoramento do Brasil e de outros países (Montagnon et al., 1998). Assim, os acessos mantidos nos bancos de germoplasma de *C. canephora* no Brasil são progênies resultantes de um número limitado de materiais genéticos e acessos de outras coleções estabelecidas em outros países, com destaque para Indonésia e Costa Rica (Fazuoli et al., 2009).

O conhecimento e preservação da variabilidade dos recursos genéticos disponíveis é de suma importância para atender às necessidades atuais e futu-

ras da cultura do cafeeiro. Isso permite o desenvolvimento de estratégias de seleção ou introdução de materiais que possam vir a contribuir *per se* ou por meio de cruzamentos, gerando recombinações que aumentem a base genética existente (Ferrão et al., 2022). Com uma diversidade genética mais ampla, os programas de melhoramento do cafeeiro terão acesso a uma variedade de materiais para enfrentar diferentes estresses bióticos e abióticos que afetam a espécie *C. canephora*.

Base genética de cafeeiros cultivados no Brasil

Espírito Santo, Rondônia e Bahia são atualmente os principais produtores de café canéfora do país. Cada um com suas peculiaridades que vai desde o modelo de cafeicultura utilizado, que pode ser familiar ou empresarial, até a escolha dos clones para implementação das lavouras. O material genético predominante em cada estado está intimamente relacionado com o desenvolvimento da cafeicultura naquela região.

O café Conilon é o principal grupo varietal de *C. canephora* cultivado no estado do Espírito Santo (Ferrão et al., 2015), destacando-se pelo seu volume de produção e valor industrial. Devido a importância desse cafeeiro para o estado, em 1985 o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) iniciou um programa de pesquisa contínuo sobre a espécie, tendo desenvolvido e lançado vários cultivares seminais e, principalmente, clonais. Em 1993, o Incaper lançou os cultivares clonais Emcapa 8111, Emcapa 8121 e Emcapa 8131, possuindo 9, 14 e 9 clones, respectivamente. Em 1994 foi lançado o cultivar Emcapa 8141 (Robustão Capixaba), com 10 clones; em 2000 foi lançada a variedade seminal Emcaper 8151 (Robusta Tropical); em 2004, a Vitória Incaper 8142, formada por 13 clones (Ferrão et al., 2007). Em 2013, mais três variedades clonais foram lançadas pelo Incaper: Diamante Incaper ES8112, Jequitibá Incaper ES8122 e Centenária Incaper ES8132, compostas por nove clones cada (Ferrão et al., 2015). Em 2017 foi lançada a variedade Marilândia ES8143, composta por 12 clones considerados tolerantes à seca.

A ampla oferta de variedades clonais tem influenciado na formatação da cafeicultura capixaba. Nesse formato, os cafeicultores utilizam de 4 a 6 clones de sua preferência para a instalação de uma nova lavoura. Os clones atualmente mais utilizados são A1, K61, 02(12V), LB1, P1, P2, 143, 153 e Verdin. Pela proximidade geográfica e em decorrência da migração dos cafeicultores capixabas para o extremo sul da Bahia, neste estado há predominância de cultivo de clones

originalmente desenvolvidos no Espírito Santo. Na Bahia, além dos genótipos citados acima, também há predominância dos clones: 204(Romarinho), 205 (2V) e 208(04 BA) da variedade Jequitibá; 305(5V), 307(13V) da variedade Centenária e o clone SV2010.

Já o cultivo de café canéfora em Rondônia teve início na década de 1970, com a substituição das lavouras de arábica pela espécie *C. canephora* na expectativa de um melhor desempenho produtivo nas condições amazônicas. Essa introdução foi realizada por cafeicultores originários do Espírito Santo, que trouxeram mudas e sementes de Conilon para suas propriedades em Rondônia. O programa de melhoramento genético do cafeeiro da Embrapa Rondônia também contribuiu na introdução de sementes de cafeeiros da espécie *C. canephora*, oriundas do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), na segunda metade da década de 1970 (Veneziano; Carvalho, 1982), no início dos anos 1980 (Veneziano, 1993) e na segunda metade da década de 1990 (Souza; Santos, 2009). Algumas das variedades introduzidas foram: Robusta LC 1675; Robusta 640, Garini col 11, híbrido Icatú H 3851-2-ATBMR, Guarini 1675, entre outras coleções de Kouillou, Robusta e Laurentii.

Ao longo do tempo, durante a renovação e implementação de novas lavouras, foram utilizadas sementes colhidas nas próprias lavouras antigas, ou oriundas dos campos experimentais da Embrapa, disseminando para todo o estado as variedades Conilon e Robusta. Considerando que a espécie *Coffea canephora* possui polinização cruzada, houve um intenso fluxo gênico entre as variedades botânicas Conilon e Robusta, o que levou ao surgimento de plantas com novas características, agregando as vantagens de ambas. No final da década de 1990, utilizando as técnicas de clonagem, os cafeicultores iniciaram o processo de seleção de plantas nas suas próprias lavouras. Naquela época, os principais critérios de seleção utilizados foram a produtividade, resistência à ferrugem (*Hemileia vastatrix*) e tolerância ao estresse hídrico, visto que muitas lavouras não eram irrigadas. Assim, de forma indireta, o processo de seleção favoreceu a seleção de plantas com características intermediárias entre as variedades botânicas Conilon e Robusta, que eram denominadas de plantas híbridas (Souza et al., 2013).

Em 2018 foi realizado um levantamento para identificação dos clones cultivados no parque cafeeiro do estado. Esse levantamento apresentou 74 clones, distribuídos por diferentes regiões (Dalazen et al., 2019). Observou-se que alguns poucos clones aparecem com elevada frequência, o que indica predomi-

nância dos mesmos nas lavouras de Rondônia. Entre os mais cultivados estão os clones 08, 25 e 03. Os clones 08 e 25 estão presentes em 89% das lavouras enquanto o clone 03 em 80% das propriedades amostradas. Em seguida, o clone 66 (P50) é cultivado em 64% das propriedades e os clones 05, 80 e 41, estão presentes 41%, 36% e 29% das propriedades. A maior presença desses sete genótipos nas lavouras está relacionada ao seu maior tempo de cultivo, uma vez que foram os primeiros genótipos a serem comercializados na região (Espindula et al., 2022).

Recentemente, por meio de técnicas utilizando Espectrofotômetro Vermelho Próximo – NIR e quimiometria, foi possível observar divergências entre as regiões de cultivo, baseado apenas em amostras de grãos crus e torrados de café canéfora. Por meio das análises foi possível registrar informações que possibilitaram o agrupamento dos clones por origem, qualidade, espécie e/ou variedade. Na Figura 3 é possível visualizar a similaridade entre clones cultivados na mesma região.

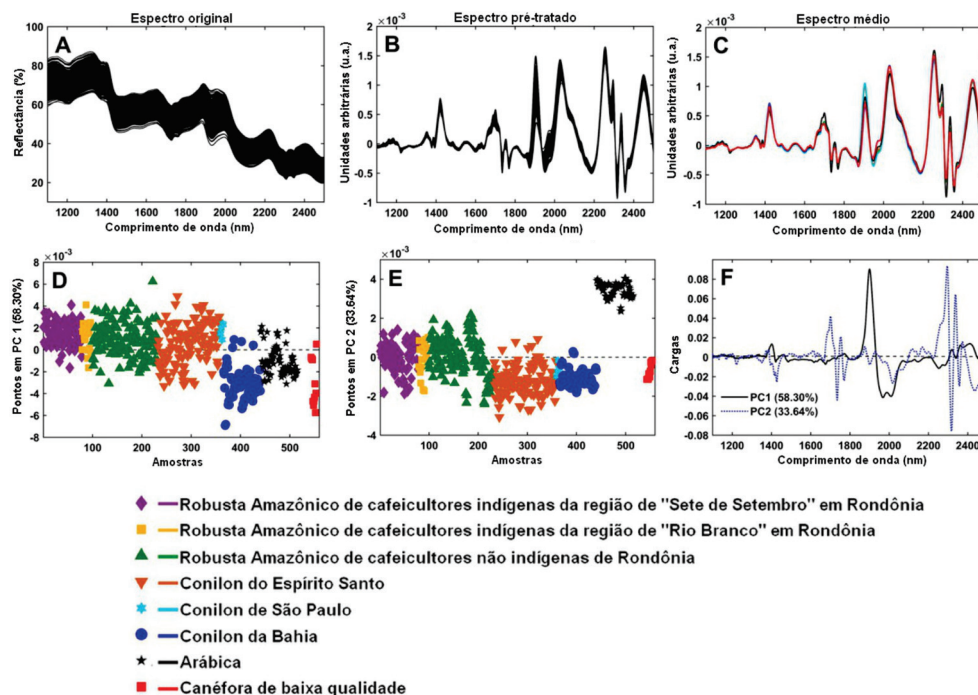


Figura 3. Impressões NIR originais (A), pré-tratadas (B) e médias (C), bem como PCA com dados de todos os cafés mostrando pontuações em PC1 (D) e PC2 (E) e respectivos carregamentos em PC1 e PC2 (F).

Fonte: Baqueta et al. (2023).

Bases genéticas de outros países

Atualmente, o canéfora compreende 40% do café produzido e comercializado globalmente, com uma produção estimada de 80 milhões de sacas para 2023. O maior produtor mundial é o Vietnã, com uma representação de 36% na produção mundial, seguido por Brasil (28%), Indonésia (12%), Uganda (7%) e Índia (6%) (Associação Brasileira da Indústria de Café, 2023).

Na maioria desses países em que a cafeicultura é pujante, há também instituições que trabalham no desenvolvimento de novos cultivares com o objetivo não só de incrementos de produtividade, mas também para solucionar problemas regionais e desenvolver novas técnicas de cultivo. Na Tabela 1 são apresentados alguns cultivares registrados para utilização e seus respectivos países.

Tabela 1. Cultivares registrados para utilização, seus respectivos países e instituição desenvolvedora, 2023.

País	México	Uganda	Indonésia	Índia	Vietnã	Tai-lândia	Nicarágua
CULTIVAR / VARIEDADE	INIFAP 00-24	NARO-Kituza Robusta 1	BP 534	Perdenia	TR4	Roubi 4	Roubi 6
	INIFAP 00-28	NARO-Kituza Robusta 2	BP936	SIn.1R	TR9	Roubi 5	Roubi 7
	INIFAP 95-9	NARO-Kituza Robusta 3	BP 939	SIn.2R	TR11		Roubi 8
	INIFAP 97-14	NARO-Kituza Robusta 4	AS 237	SIn.3R	TRS1		Roubi 9
	INIFAP 97-15	NARO-Kituza Robusta 5			Xanh lun		Roubi 10
	Roubi 1	NARO-Kituza Robusta 6					
	Roubi 2	NARO-Kituza Robusta 7					
		NARO-Kituza Robusta 8					
		NARO-Kituza Robusta 9					
		NARO-Kituza Robusta 10					

Continua

Tabela 1. Continuação.

País	México	Uganda	Indo- nésia	Índia	Vietnã	Tai- lândia	Nica- rágua
INSTITUIÇÃO	Nestlé Research/ Instituto Nacional de Investiga- ções Forestais Agrícolas y Pecuarias	National Coffee Research Institute of Uganda (NACORI)	Indonesian Coffee and Cocoa Research Institute (ICCRI)	Central Coffee Research Institute (CCRI), Coffee Board of India	Western Highlands Agroforestry Science Institute (WASI)	Nestlé Research	Nestlé Research

Fonte: World Coffe Research (2023).

Cultivares ou clones não registrados

A legislação prevê que o cafeicultor deve utilizar em suas lavouras cultivares registrados, tendo como preceito fundamental que a geração de novos cultivares se traduz em altas tecnologias transferidas para o agronegócio, indispensáveis ao sucesso deste, pelo aumento da produtividade agrícola e da qualidade dos insumos e dos produtos deles derivados. Entretanto, na prática, essa diretriz nem sempre é seguida de forma efetiva. O desenvolvimento de novos cultivares de café canéfora no Brasil ocorreu de forma rápida e dinâmica. Na busca de melhorar a produtividade de suas lavouras, os próprios cafeicultores dominaram as técnicas de clonagem e seleção de plantas em lavouras seminais. Anualmente, durante as colheitas, o produtor identificava as plantas que apresentavam alta produtividade e/ou outra característica de interesse, e monitorava essas plantas ao longo dos anos. Caso o desempenho dessas plantas fosse confirmado, as mesmas eram multiplicadas em viveiro por meio de estaquia. Nesse processo de seleção de genótipos utilizado pelos próprios agricultores, de maneira empírica e sem registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), as plantas são popularmente conhecidas como *clones* e, para produção comercial de mudas desses clones, os viveiristas inscrevem seus jardins clonais como “Campo de plantas fornecedoras de material de propagação sem origem genética comprovada, sem denominação de cultivares e/ou variedades”, conforme prevê a Instrução Normativa nº 35, de 29 de Novembro de 2012 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).

No Brasil, existem atualmente 46 cultivares registradas pertencentes à espécie *Coffea canephora*. A Tabela 2 apresenta todas as cultivares de *C. canephora* registradas até o momento, com seus respectivos mantenedores e data de registro.

Tabela 2. Cultivares de café da espécie *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner registradas no Registro Nacional de Cultivares – RNC, 2025.

Denominação	Data de registro	Nº registro	Mantenedor
Apoatã IAC 2258	04/11/1999	2958	IAC
Conilon	28/06/2000	5381	INCAPER
EMCAPA - 8131	28/06/2000	5382	INCAPER
EMCAPA 8121	28/06/2000	5383	INCAPER
EMCAPA 8111 Precoce	28/06/2000	5384	INCAPER
EMCAPA 8141 Robustão capixaba	21/08/2000	5385	INCAPER
EMCAPER 8151 Robusta Tropical	21/08/2000	5386/6382	INCAPER
Verdebrás G30/G35	28/08/2000	6380	Wanderlino M. Bastos
Vitória Incaper 8142	10/03/2006	20471	INCAPER
Ipiranga 501	19/10/2009	26043	Francisco L. S. Felner
SV 2010	05/08/2010	27053	José Jânio Bizi
BRS Ouro Preto	05/04/2012	29486	Embrapa
Centenária ES8132	29/08/2013	31001	INCAPER
Diamante ES8112	29/08/2013	31002	INCAPER
Jequitibá ES8122	29/08/2013	31003	INCAPER
Colatina PR6	10/06/2015	34015	Fundação PROCAFÉ
Marilândia ES8143	17/10/2017	37678	INCAPER
Tributun	04/12/2017	37808	UFES
ANDINA	30/11/2018	39441	IFGOIANO - UFES
BRS 2314	25/01/2019	39560	Embrapa

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Denominação	Data de registro	Nº registro	Mantenedor
BRS 3220	28/01/2019	39555	Embrapa
BRS 3213	28/01/2019	39556	Embrapa
BRS 3137	28/01/2019	39557	Embrapa
BRS 3210	28/01/2019	39559	Embrapa
BRS 1216	28/01/2019	39561	Embrapa
BRS 2336	28/01/2019	39562	Embrapa
BRS 3193	25/10/2019	41304	Embrapa
BRS 2357	25/10/2019	41305	Embrapa
BRS 2299	25/10/2019	41306	Embrapa
ES8152	19/11/2019	41517	INCAPER
Monte pascoal	15/05/2020	44082	UFES
BRS Primalta	27/01/2021	46372	Embrapa
BRS Primalta 20	27/01/2021	46373	Embrapa
BRS Primalta 30	27/01/2021	46383	Embrapa
BRS Primalta 40	27/01/2021	46384	Embrapa
BRS Primalta 50	27/01/2021	46385	Embrapa
BRS Primalta 60	27/01/2021	46386	Embrapa
BRS Primalta 70	27/01/2021	46387	Embrapa
BRS Primalta 80	27/01/2021	46411	Embrapa
BRS Primalta 90	27/01/2021	46412	Embrapa
SALUTAR	21/02/2021	45722	UFES
ES8161 Goytacá	23/11/2021	49201	INCAPER
Forte Guarani	21/12/2021	49301	UFES
Plena	17/03/2022	50300	UFES
IAC Herculândia	19/08/2022	52409	IAC
Magnus Grano	31/03/2023	52460	UENF/UFES

Fonte: CultivarWeb (2025).

Referências

ABIC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Sumário Executivo:**

Relatório Estatístico do Café. Disponível em: <https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/sumario-executivo-do-cafe/>. Acesso em: 30 maio 2023.

ALKIMIM, E. R.; CAIXETA, E. T.; SOUSA, T. V.; SILVA, F. L. da; SAKIYAMA, N. S.; ZAMBOLIM, L. High-throughput targeted genotyping using next-generation sequencing applied in *Coffea canephora* breeding. **Euphytica**, v. 214, p.1-18, 2018.

ALKIMIM, E. R.; CAIXETA, E. T.; SOUSA, T. V.; GOIS, I. B.; SILVA, F. L.; SAKIYAMA, N. S.; ZAMBOLIM, L.; ALVES, R. S.; RESENTE, M. D. V. Designing the best breeding strategy for *Coffea canephora*: Genetic evaluation of pure and hybrid individuals aiming to select for productivity and disease resistance traits. **PLoS ONE**, v. 16, n. 12, e0260997, dez. 2021.

BAQUETA, M. R.; ALVES, E. A.; VALDERRAMA, P.; PALLONE, J. A. L. Brazilian Canephora coffee evaluation using NIR spectroscopy and discriminant chemometric techniques. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 116, 105065, nov. 2023.

BERTHAUD, J.; CHARRIER, A. Genetic resources of *Coffea*. In: CLARCK, R. J.; MACRAE, R. (ed.). **Coffee – Agronomy**. London: Elsevier Applied Science, 1985. p. 1-40.

CAIXETA, E. T.; OLIVEIRA, A. C. B. D.; BRITO, G. G. D.; SAKIYAMA, N. S. Tipos de marcadores moleculares. In: BORÉM, A.; CAIXETA, E.T. (ed.). **Marcadores Moleculares**. Viçosa, MG: UFV, 2016. p. 9-93.

CARVALHO, A. **Histórico do desenvolvimento do cultivo do café no Brasil**. Campinas, SP: Instituto Agrônomo de Campinas. 1993. 7 p. (IAC. Documentos, 34).

CULTIVARWEB. Registro nacional de cultivares - RNC. Disponível em: https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php. Acesso em: 01 de março de 2025.

DADALTO, G. G.; BARBOSA, C. A. **Zoneamento agroecológico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo**. Vitória, ES: Seag, 1997. 28 p.

DALAPÍCOLA, T. **A migração de Capixabas para Rondônia**. 2008. 60 f. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Departamento de Geografia de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

DALAZEN, J. R.; ROCHA, R. B.; ESPINDULA, M. C.; DIAS, J. R. M.; DALAZEN, J. R. Base genética da cafeicultura e caracterização dos principais clones cultivados no estado de Rondônia. In: PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C. (ed.). **Café Conilon: Gestão e Manejo com Sustentabilidade**. Alegre, ES: CAUFES, 2019. p. 165-177.

DAVIS, A. P.; TOSH, J.; RUCH, N.; FAY, M. F. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae)

subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 167, n. 4, p. 357-377, out. 2011.

DULLOO, M. E.; GUARINO, L.; ENGELMANN, F.; NIGEL, M.; NEWBURG, J. H.; ATTERE, F.; FORD-LOYD, B. V. Complementary conservation strategies for genus *Coffea*: a case study of Mascarene *Coffea* species. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 45, p. 565-579, dez. 1998.

DUSSERT, S.; LASHERMES, P.; ANTHONY, F.; MONTAGNON, C.; TROUSLOT, P.; COMBES, M. C.; BERTHAUD, J.; NOIROT, M.; HAMON, S. Le caféier, *Coffea canephora*. In: Hamon P.; Seguin M.; Perrier X.; Glaszmann J. C. (ed.). **Diversité génétique des plantes tropicales cultivées**. Montpellier, France: CIRAD, 1999. p. 175-794.

ESPINDULA, M. C.; DALAZEN, J. R.; ROCHA, R. B.; TEIXEIRA, A. L.; DIOCLECIANO, J. M.; DIAS, J. R. M.; SCHMIDT, R.; LIMA, P. P.; GAMA, W. **Robustas Amazônicos: os cafeeiros cultivados em Rondônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. 144 p.

FAZUOLI, L. C.; MISTRO, J. C.; BRAGHINI, M. T. Melhoramento do café Robusta no Instituto Agronômico de Campinas. In: ZAMBOLIM, L. (ed.). **Tecnologias para produção do café Conilon**. Viçosa, MG: UFV, 2009. p. 201-247.

FERRÃO, L. F. V.; CAIXETA, E. T.; SOUZA, F. D. F.; ZAMBOLIM, E. M.; CRUZ, C. D.; ZAMBOLIM, L.; SAKIYAMA, N. S. Comparative study of different molecular markers for classifying and establishing genetic relationships in *Coffea canephora*. **Plant systematics and evolution**, v. 299, n. 1, p. 225-238, jan. 2013.

FERRÃO, M. A. G.; MENDONÇA, R. F.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G.; VOLPI, P. S.; SENRA, J. F. B.; COMÉRIO, M.; VERDIN FILHO, A. C.; RIVA-SOUZA, E. M. **Variabilidade de *Coffea canephora* do Banco Ativo de Germoplasma do Incaper: Caracterização dos Acessos com Base em Descritores Mínimos**. Vitória, ES: Incaper, 2022. 74 p. (Circular técnica, 08-I)

FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; VOLPI, P.; 'Diamante ES8112', 'Jequitibá ES8122', 'Centenária ES8132': Novas cultivares clonais de café conilon com qualidade de bebida para o Espírito Santo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 9., 2015, Curitiba. **Consórcio pesquisa café: oportunidades e novos desafios: anais**. Brasília, DF: Embrapa Café, 2015.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. D.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANÇA, S. M.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S. Cultivares de café Conilon. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. D.; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. (ed.). **Café Conilon**. 1. ed. Vitória, ES: INCAPER, 2007. p. 205-225.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. de. **Café Conilon**. 2. ed. rev. e atual. Vitória, ES: Incaper, 2017. 784 p.

FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A.; FERRÃO, R. G.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; ZUCATELI, F. **Conilon Vitória** - 'Incaper 8142': variedade clonal de café conilon. Vitória, ES: Incaper, 2004. 24 p. (Incaper. Documentos, 37).

GOMEZ, C.; DUSSERT, S.; HAMON, P.; HAMON, S.; de KOCHKO, A.; PONCET, V. Current genetic differentiation of *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehn in the Guineo-Congolian African zone: cumulative impact of ancient climatic changes and recent human activities. **BMC evolutionary biology**, v. 9, p. 1-19, jul. 2009.

HUDED, A. K. C.; JINGADE P.; BYCHAPPA M.; MISHRA M. K. Genetic Diversity and Population Structure Analysis of Coffee (*Coffea canephora*) Germplasm Collections in Indian Gene Bank Employing SRAP and SCoT Markers. **International Journal of Fruit Science**, v. 20, n. sup2, p. S757-S784, may. 2020.

KIWUKA, C.; GOUDSMIT, E.; TOURNEBIZE, R.; AQUINO, S. O. de; DOUMA, J. C.; BELLANGER, L.; Crouzillat, D.; STOFFELEN, P.; SUMIRAT, U.; LEGNATÉ, H.; MARRACCINI, P.; KOCHKO, A.; ANDRADE, A. C.; MULUMBA, J. W.; MUSOLI, P.; ANTEN, N. P. R.; PONCET, V. Genetic diversity of native and cultivated Ugandan Robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner): Climate influences, breeding potential and diversity conservation. **PLoS One**, v. 16, n. 2, p.e0245965, feb. 2021.

LOSS, W. R. **Café conilon**: da crise da erradicação a vanguarda do desenvolvimento no Espírito Santo. Vitória, ES: Seag, 2004. 20 p.

MARTINS, A. L. **História do café**. São Paulo, SP: Contexto, 2008. 316p.

MAURIN, O.; DAVIS, P. A.; CHESTER, M.; MVUNG, E. F.; JAUFEEERALLY-FAKIM, Y.; FAY, M. F. Towards a phylogeny for *Coffea* (Rubiaceae): Identifying well-supported lineages based on nuclear and plastid DNA sequences. **Annals of Botany**, Londres, v. 100, n. 7, p. 1565-1583, 2007.

MONTAGNON, C.; LEROY, T.; ESKES, A. B. Amélioration variétale de *Coffea canephora*. II. Les programmes de sélection et leurs résultats. **Plantations, Recherche, Développement**, v. 5, n. 1, p. 89-98, mar-avr. 1998.

MONTAGNON, C.; LEROY, T.; YAPO, A. B. Diversité génotypique et phénotypique de quelques groupes de caféiers (*Coffea canephora* Pierre) en collection. Conséquences sur leur utilisation en sélection. **Café Cacao Thé**, v. 36, p.187-198, jui-sep. 1992.

MORAES, M. S.; TEIXEIRA, A. L.; RAMALHO, A. R.; ESPÍNDULA, M. C. FERRÃO, M. A. G.; ROCHA, R. B. Characterization of gametophytic self-incompatibility of superior clones of *Coffea canephora*. **Genetics and molecular research**, v. 17, p. 1-8, jan. 2018.

MUÑOZ-PAJARES, A. J.; VÁRZEA, V.; SILVA, M. C. The story of coffee: legend and truth. **Trends in Plant Science**, v. 28, p. 501-504, may. 2023.

MUSOLI, P.; CUBRY, P.; ALUKA, P.; BILLOT, C.; DUFOUR, M.; BELLIS, F. de; POT, D.; BIEYSSE D.; CHARRIER, A.; LEROY, T. Genetic differentiation of wild and cultivated populations: diversity of *Coffea canephora* Pierre in Uganda. **Genome**, v. 52, n. 7, p. 634-646, jun. 2009.

ROCHA, R. B.; TEIXEIRA, A. L.; RAMALHO, A. R.; SOUZA, F. F. Melhoramento de *Coffea canephora* - considerações e metodologias. In: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. (ed.). **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. v.1, p.99-126,

SILVA, L. F. **Estrutura Populacional e Diversidade Genética de *Coffea canephora* detectadas por Marcadores Moleculares**. 2022, 80f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SMITH, R. F. A history of coffee. In: CLIFFORD, M. N.; WILSON, K. C. (ed.). **Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage**. Westport, Connecticut: AVI Publishing Company, 1985. p.1-12.

SOUZA, F. D. F.; CAIXETA, E. T.; FERRÃO, L. F. V.; PENA, G. F.; SAKIYAMA, N. S.; ZAMBOLIM, E. M.; ZAMBOLIM, L.; CRUZ, C. D. Molecular diversity in *Coffea canephora* germplasm conserved and cultivated in Brazil. **Crop breeding and applied biotechnology**, v. 13, p. 221-227, dec. 2013.

SOUZA, F. F.; SANTOS, M. M. Melhoramento genético do café canéfora em Rondônia. In: ZAMBOLIM, L. (ed.). **Melhoramento genético do café canéfora em Rondônia**. Viçosa, MG: UFV, 2009. p.175-200.

VAN DER VOSSEN, H. A. M. Coffee selection and breeding. In: CLIFFORD, M. N.; WILSON, K. C. (ed.). **Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage**. Westport, Connecticut: AVI Publishing Company, 1985. p. 48-96.

VENEZIANO, W. **Avaliação de progênies de cafeeiros (*Coffea canephora* Pierre ex. Froehiner) em Rondônia**. 1993. 73f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

VENEZIANO, W.; CARVALHO, A. **Análise de progênies e linhagens de café Icatu em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa-UEPAE Porto Velho, 1982. 3 p.

WORLD COFFEE RESEARCH. **Robusta**. Disponível em: <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/robusta>. Acesso em: 1º dez. 2023..

ZAIDAN, I. R.; FERREIRA, A.; NOIA, L. R.; SANTOS, J. G.; ARRUDA, V. C.; V. de; COUTO, D. P. do; BRAZ, R. A.; SENRA, J. F. B.; PARTELLI, F. L.; AZEVEDO, C. F.; FERREIRA, M. F. S. Diversity and structure of *Coffea canephora* from old seminal crops in Espírito Santo, Brazil: genetic resources for coffee breeding. **Tree Genetics & Genomes**, v. 19, n. 2, p. 19, mar. 2023.



Capítulo 2

Perfil Sensorial dos cafés canéforas brasileiros

*Enrique Anastácio Alves,
Rodrigo Barros Rocha,
Alexsandro Lara Teixeira,
Bárbara Zani Agnoletti,
Lucas Louzada Pereira*

É impossível definir o tempo em que as plantas e os animais existem na face da terra. Estima-se que a terra tenha se originado há 4,5 bilhões de anos e as primeiras formas de vida tenham surgido muito tempo depois.

Uma comparação que pode nos ajudar a compreender estes longos períodos é associar o tempo de existência de nosso planeta ao número de dias do ano. Se na escala de tempo de um ano (365 dias), nosso planeta tivesse surgido no dia 1º de janeiro, as primeiras formas de vida teriam surgido no 28º dia de março. Por sua vez as primeiras plantas e os primeiros animais teriam surgido somente no mês de novembro. Próximo ao final do ano, o 25º dia do mês de dezembro marca a época de extinção dos dinossauros, enquanto o primeiro homem teria surgido na terra faltando apenas 15 segundos para a meia noite do 31º dia de dezembro.

Essa comparação nos auxilia entender que, por longos períodos de tempo, houve plantas de café na natureza sem que existisse nenhum homem para observá-las. Estima-se que a primeira planta de café tenha surgido há 65 milhões de anos atrás no continente Africano, que em nossa comparação, corresponde ao 25º dia do mês de dezembro.

Em uma escala de milhares de anos, cafeeiros com maiores teores de cafeína em suas folhas, frutos e grãos foram favorecidos pela natureza por diferentes motivos. O sabor amargo das folhas com maior teor de cafeína reduz a atratividade para animais herbívoros, enquanto a presença de cafeína nas estruturas reprodutivas aumenta seu interesse para insetos polinizadores, como as abelhas, que desempenham um papel fundamental na polinização dos cafeeiros. Flores vistosas ricas em néctar e em cafeína são estruturas reprodutivas típicas destas plantas que apresentam grande capacidade de atração de uma diversidade de insetos polinizadores.

Atualmente cultivado para a produção de uma bebida aromática e agradável, os altos teores de cafeína desta infusão têm agregado valor aos grãos de café. A cafeína é um alcaloide sintetizado nas folhas, frutos e grãos dos cafeeiros, conhecido pelo seu efeito estimulante do sistema nervoso central. A cafeína contribui com uma nota de amargor para essa bebida, sendo rapidamente absorvida no organismo quando poucos minutos após a ingestão atinge o cérebro, resultando em aumento da atividade neural e produção de hormônios, tais como a adrenalina e a dopamina.

Entre mais de 100 espécies de cafeeiros que podem ser encontradas na natureza, a espécie *Coffea canephora* se destaca pelo seu alto potencial produtivo e adaptação às regiões de clima tropical (Davis et al., 2006). Este cafeeiro também se caracteriza pela alta diversidade genética e pela polinização cruzada, que ocorre quando o pólen de uma planta fertiliza o óvulo de uma outra planta. Mecanismos de autoincompatibilidade impedem a autopolinização e favorecem a polinização cruzada nesta espécie, contribuindo para maior diversidade genética entre as plantas, que apresentam em seu centro de origem diferentes variedades botânicas (Rocha et al., 2021; Depolo et al., 2022).

A denominação ‘variedade botânica’ pode ser entendida como um grupo de indivíduos de uma mesma espécie, que evoluiu naturalmente em uma determinada condição ambiental, e que apresenta características próprias e distintas das de outros indivíduos da mesma espécie que evoluíram em ambientes diferentes. As plantas da variedade botânica Conilon têm seu centro de origem em diferentes regiões da África Ocidental, enquanto plantas da variedade botânica Robusta têm seu centro de origem em regiões de clima úmido da África Central (Charrier; Berthaud, 1985).

O centro de origem pode ser entendido como o local em que os cafeeiros estiveram presentes por longos períodos, e por este motivo, apresentam maior diversidade neste local em comparação com outras regiões do mundo. Ao longo de milhares de anos os acessos desse cafeeiro presentes na Costa do Marfim e Gana ficaram isolados de outras regiões do continente africano devido a uma região de isolamento geográfico conhecida como “Dahomey Gap”. Essa região se caracteriza pela ausência de floresta tropical contínua e pelas massas de ar quente e seco que se originam no Deserto do Saara, criando uma zona de transição entre o clima úmido e tropical da África Central e o clima seco do Norte da África.

As variedades botânicas Conilon e Robusta se caracterizam como diferentes populações naturais desse cafeeiro que apresentam características próprias. A va-

riedade botânica Conilon, tem seu centro de origem em regiões de baixas altitudes e altas temperaturas, na região ocidental do continente africano. Essa variedade se diferencia pelo seu menor porte, maior resistência ao déficit hídrico e maior suscetibilidade à ferrugem alaranjada e aos nematoides das galhas. Por outro lado, a variedade botânica Robusta tem seu centro de origem em regiões de floresta tropical, distinta das do grupo Conilon, porém naquele mesmo continente, se diferenciando pelo maior porte, menor resistência ao déficit hídrico e maior resistência à ferrugem e ao nematoide-das-galhas (Figura 1).



Foto: A: Teixeira et al., 2020; B: Ramalho et al., 2009; C e D: Souza et al., 2015

Figura 1. Características das plantas das variedades botânicas Conilon e Robusta. A) Clon BRS2357 desenvolvido pela Embrapa com características típicas da variedade botânica Conilon tais como porte reduzido, rosetas próximas, folhas que se fecham durante a seca e suscetibilidade à ferrugem. B) Diversidade na coloração dos frutos da variedade botânica Robusta. C e D) Plantas das variedades botânicas Conilon e Robusta, respectivamente, preparadas para a realização de transferência de grãos de pólen. Na foto podemos observar algumas características das plantas da variedade botânica Robusta, tais como o maior tamanho de seus frutos e folhas verde-escuras que não se fecham durante o período seco.

Na Amazônia Ocidental a cafeicultura pode ser genuinamente sustentável e aliada à preservação das florestas. Por ser uma atividade intensiva, realizada majoritariamente em pequenas propriedades de base familiar, favorece a manutenção do homem no campo e se beneficia da proximidade com as florestas, que contribui para a presença dos polinizadores naturais do cafeeiro. A evolução na produção de café na Amazônia pode ser exemplificada pelos dados do estado de Rondônia, que segundo a Companhia Nacional de Abastecimento, é responsável por 97% do café produzido nessa região (Conab, 2022). Em 2001, o estado de Rondônia contava com 318 mil hectares de lavouras que produziam 1,9 milhão de sacas e produtividade média de 8 sacas por hectare. Na safra 2023 foram alcançados recordes de produção e de produtividade com a produção de aproximadamente 3,0 milhões de sacas, com uma produtividade média de 50,4 sacas por hectare, produzidas em uma área 78% inferior à de 2001.

Atualmente a cafeicultura do estado de Rondônia se diferencia pelo cultivo de plantas com características destas duas variedades botânicas. Essa mistura é resultado da introdução de sementes da variedade botânica Conilon trazidas pelos próprios migrantes na década de 1970 e pelas sementes da variedade botânica Robusta, oriundas do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, distribuídas pela Embrapa na década de 1980. Durante aproximadamente uma década sementes com a genética da variedade botânica Robusta foram distribuídas pela Embrapa que trabalhou com o beneficiamento e distribuição dessas sementes (Figura 2).

Visando oferecer novas opções para o cultivo e contribuir para aumento da variabilidade genética da cafeicultura na Amazônia Ocidental, a Embrapa Rondônia desenvolveu dez novos cultivares com alto potencial produtivo e com características agrônomicas típicas das variedades botânicas Conilon e Robusta (Teixeira et al., 2020). Estas plantas se diferenciam pelo registro individual dos novos cultivares; pela natureza híbrida das plantas, resultado da recombinação entre variedades botânicas distintas e pela riqueza de informações sobre cada cultivar (Rocha et al., 2021).

Considerado como um produto de menor qualidade, a espécie *C. canephora* já foi cultivada com o menor custo de produção possível, o que contribuiu para baixa qualidade do café produzido, com características não apreciadas ou que não podiam ser reconhecidas pelos consumidores. O maior potencial produtivo e a maior valorização do café comercializado contribuíram para maior adoção de tecnologias e para melhor qualidade deste alimento.

Desenvolvido no ano de 2010, o protocolo para degustação de Robustas finos é uma adaptação do protocolo do café arábica utilizado para diferenciar os cafés finos e especiais dos cafés cultivados comercialmente (Uganda Coffee Development Authority-UCDA, 2010). Os cafés finos são aqueles que se diferenciam pela qualidade e por seus atributos agradáveis classificados por notas acima de 80 pontos no protocolo de degustação.



Figura 2. Dia de campo realizado no campo experimental de Ouro Preto do Oeste em 1988 (A). Avaliação de plantas realizada pelos pesquisadores Wilson Veneziano e Milton Messias (B). Sacolas com sementes da variedade botânica robusta que foram distribuídas na década de 1980 (C). Frutos redondos típicos da variedade botânica robusta (D).

Fonte: Ramalho e Rocha (2018).

Para a avaliação da qualidade são consideradas características físicas dos grãos e sensoriais de qualidade da bebida. O protocolo para avaliação da qualidade da bebida permite reconhecer as características da bebida deste cafeeiro que

se diferencia pela menor doçura, maior corpo e pelos maiores teores de cafeína e de ácidos clorogênicos (Viencz et al., 2023).

A avaliação é realizada por um grupo de degustadores capacitados que, por meio de uma escala numérica, classificam diferentes atributos. Os procedimentos para preparo, tais como torra, moagem, infusão e temperatura são definidos no protocolo que considera a padronização de todas as etapas. Durante a avaliação as amostras são avaliadas em formulários sendo pontuados os atributos de aroma, sabor, retrogosto, acidez, sensação na boca, equilíbrio, uniformidade, xícara limpa, doçura, defeitos e avaliação global. A classificação de cada atributo é feita em uma escala que varia de 0 a 10 pontos.

O sabor é uma combinação de impressões de paladar e olfato. Por sua vez, o sabor da bebida que permanece no paladar é denominado retrogosto. A acidez é dada pela quantidade e pelo tipo de ácidos orgânicos presentes na bebida. O corpo está associado a textura do líquido na boca. A interação destes diferentes aspectos constitui o equilíbrio. A doçura é a percepção do gosto doce na bebida, que pode ser devida a baixos níveis de ácidos e sais. Por sua vez a uniformidade da bebida refere-se a consistência do sabor de uma mesma amostra.

Grãos pretos, ardidos e verdes são alguns defeitos que influenciam negativamente nas análises sensoriais. Os defeitos são classificados em duas categorias no formulário de cupping variando de leve a grave, quando o defeito se encontra em diferentes aspectos gustativos.

O resultado final da avaliação sensorial do café é calculado a partir da soma das pontuações individuais. Os defeitos são então subtraídos da pontuação total para chegar ao resultado final. Cafés com pontuações acima de 80 são classificados como finos, sendo designados como cafés superiores ou de alta qualidade.

Nas análises sensoriais a consistência entre os avaliadores é uma questão fundamental que está associada a capacidade dos provadores em reconhecer os atributos da bebida. Para quantificar a concordância da interpretação dada por seis provadores treinados (Q-Graders), 44 amostras dos cafeeiros Robustas Amazônicos foram avaliadas em duas medições diferentes. A partir destas avaliações foram consideradas estimativas de correlação entre duas medições realizadas, a primeira no período da manhã e a segunda no período da tarde. As correlações medem a força e a direção da associação entre as avaliações, ou seja, se elas estão relacionadas positivamente, negativamente ou ainda, se não estão relacionadas.

Na Figura 3 é mostrada uma matriz de correlações comparando a primeira medição e a segunda medição. Nesta matriz os valores diagonais referem-se à comparação do avaliador com ele mesmo nas avaliações matutina e vespertina. E fora da diagonal estão os valores de comparação de um avaliador com o outro. O período da manhã refere-se à parte inferior da diagonal enquanto que o período da tarde à parte superior.

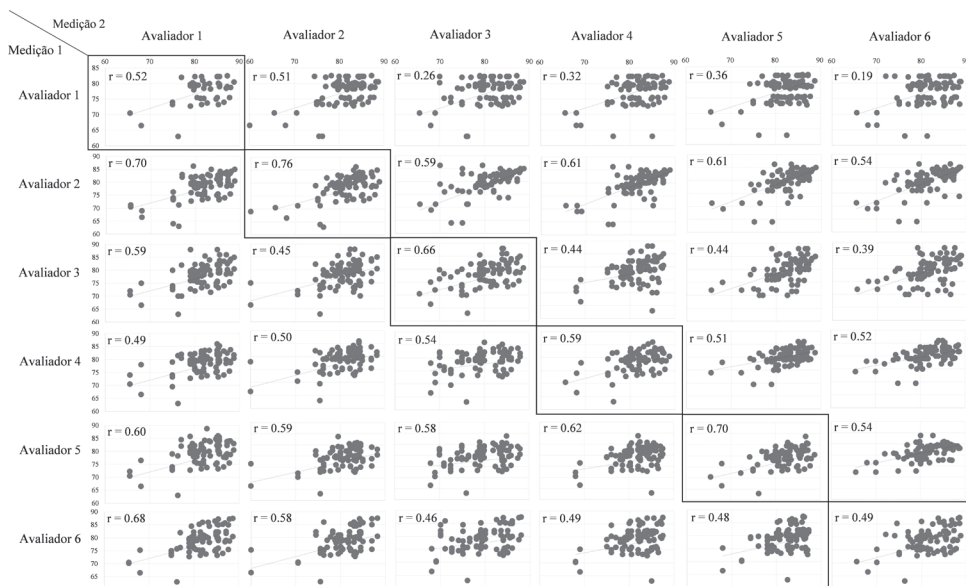


Figura 3. Ilustração da matriz de correlações entre a primeira medição realizada na parte da manhã e a segunda medição realizada na parte da tarde de 44 amostras de café avaliadas por seis provadores Q-Graders. As estimativas na diagonal quantificam a associação de um avaliador com ele mesmo nas duas medições realizadas no período da manhã e da tarde. As estimativas de correlação, fora da diagonal, quantificam a associação de um avaliador em relação ao outro, sendo que o período da manhã se refere à parte inferior da diagonal enquanto que o período da tarde à parte superior.

De maneira geral, estimativas de 0,70 a 0,90 indicam uma correlação forte e de 0,50 a 0,70 uma correlação moderada. Os avaliadores identificados pelos números 2 e 5 apresentaram maior consistência em suas avaliações realizadas nos dois períodos, com estimativas de correlação de 0,76 e 0,70 respectivamente (Figura 2). Por sua vez, os avaliadores identificados pelos números 1 e 6 apresentaram as menores associações entre as avaliações nos períodos da manhã e da tarde.

As avaliações de um avaliador em comparação com outro podem ser avaliadas a partir das estimativas de correlação, apresentadas fora da diagonal da matriz. Observa-se que os provadores de maior consistência em suas avaliações apresentaram maiores estimativas de correlação entre si ($r_{25}=0,61$, $r_{52}=0,59$) enquanto os avaliadores de menor consistência apresentaram estimativas de correlação que podem ser consideradas baixas ($r_{16}=0,19$, $r_{13}=0,26$), que indicam uma associação fraca entre as avaliações realizadas por estes provadores de menor consistência individual (Figura 3).

Uma análise de consistência dos avaliadores permite diminuir a subjetividade natural das análises sensoriais descartando avaliadores menos consistentes e mais discrepantes em comparação aos demais. Neste contexto o avaliador número 6 se enquadra nas duas categorias e o seu descarte diminui o erro geral das avaliações. Um dos critérios que podem ser utilizados para identificar avaliadores de comportamento discrepante é a significância da interação avaliadores x medições, que quantifica mudanças na classificação das amostras avaliadas por diferentes avaliadores. O descarte dos avaliadores números 1 e 6 resultam em estimativas não significativas deste efeito, indicando a maior consistência dos avaliadores 2, 3, 4 e 5.

Para a realização destas análises sensoriais as 44 amostras foram estruturadas da seguinte forma: 4 clones híbridos de qualidade previamente conhecidas (BRS2314, BRS1216, BRS3210, BRS2357), 8 clones da variedade botânica Robusta provenientes do Banco de Germoplasma da Embrapa Rondônia, 6 clones híbridos cultivados em domínio público no estado de Rondônia, 14 clones da variedade botânica Conilon cultivados em domínio público no estado do Espírito Santo e 12 clones híbridos cultivados em domínio público no estado de Rondônia de processamento fermentado. O desempenho dos 44 genótipos avaliados nas duas medições pode ser observado na Figura 4. Observa-se que a maior parte das amostras (89%) se agruparam nos quadrantes B e D, que são aqueles que apresentaram notas acima ou abaixo de 80, nas duas medições. Nos quadrantes A e C estão os genótipos restantes (11%) que apresentaram comportamento divergente entre as avaliações, tendo apresentado nota acima de 80 em uma das medições e nota abaixo de 80 nas outras medições. A maior frequência dos genótipos nos quadrantes A e C também quantificam a consistência dos avaliadores na qual também foi observada pelas avaliações concordantes nas duas medições (Figura 4).

Nesta mesma interpretação as amostras de processamento fermentado foram comparadas com as amostras de processamento tradicional (Figura 4). De maneira geral, observa-se uma melhor avaliação das amostras de café fermentado, uma vez que 75% das amostras fermentadas apresentaram notas acima de 80.

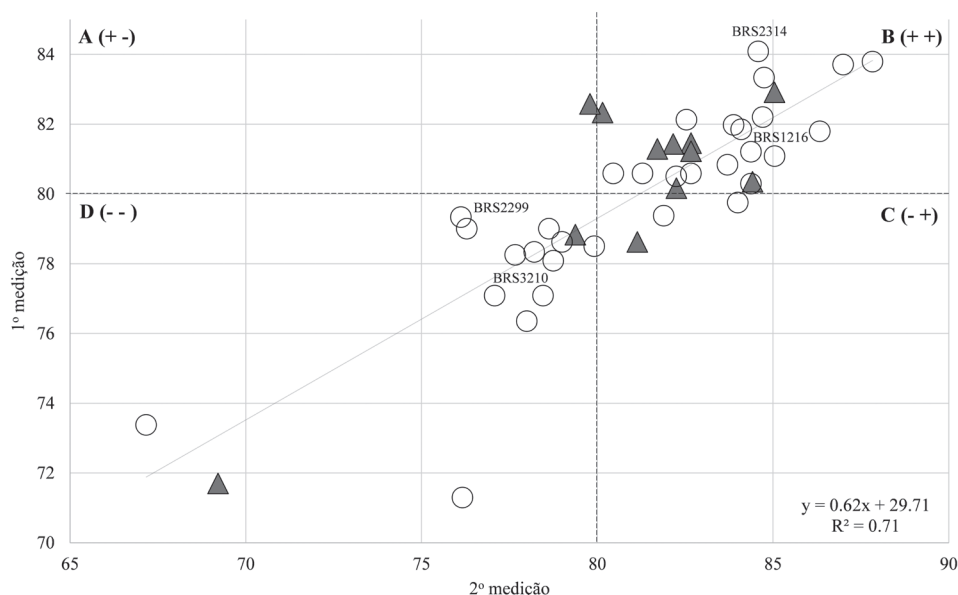


Figura 4. Dispersão dos valores das análises sensoriais de 44 amostras de café avaliadas por 6 provadores Q-graders em duas medições realizadas no período da manhã e da tarde. Os quadrantes foram delimitados considerando a nota de 80 pontos que separa as amostras com qualidade de bebida consideradas especial. Os quadrantes A e C representam as amostras divergentes que apresentaram nota acima de 80 apenas em uma das avaliações e os quadrantes B e D representam as amostras de comportamento convergente que apresentaram nota inferior ou superior a 80 nas duas avaliações. Os círculos representam as amostras de processamento natural e os triângulos representam as amostras fermentadas.



Figura 5. Nuvens de palavras representando o número de citações em que as diferentes nuances foram citadas por 6 provadores Q-graders em duas medições realizadas no período da manhã e da tarde, dos clones BRS2314 (A), BRS1216 (B), BRS2299 e BRS2357.

A melhor pontuação das amostras provenientes de processamento fermentado pode estar associada as nuances dessa bebida, que sofre mudanças durante o processo de fermentação. As nuances da bebida de café se referem às variações sutis nos sabores e aromas que podem ser percebidos em uma xícara de café, descritas como notas leves ou delicadas que acrescentam complexidade e profundidade à bebida. Por exemplo, um café pode ter notas florais de jasmim ou lavanda, notas frutadas ou notas de nozes como amêndoas ou castanhas, notas de chocolate ou caramelo, entre outras.

Nesta análise foram considerados genótipos de comportamento conhecidos. Os clones BRS 2314, BRS 1216, BRS 2299 e BRS 3210 são cultivares desenvolvidos pela Embrapa que tiveram a qualidade de sua bebida avaliada em diferentes ambientes e em diferentes safras (Morais et al., 2021; Viencz et al., 2023). Os clones BRS 2314 e BRS 1216 se caracterizam por apresentar uma bebida encorpada com nuances de chocolate, nozes e frutas. Por sua vez os clones BRS 2299 e BRS 3210 se caracterizam pela bebida neutra com nuances denominadas de madeira e herbal (Figura 5).

Estes genótipos apresentaram comportamento consistente nas duas avaliações e que seus atributos foram percebidos como o esperado tendo sido os genótipos BRS 2314, BRS 1216 avaliados com notas superiores a 80 e os genótipos BRS 2299 e BRS 3210 com nota inferior a 80 nas duas medições.

Para comparar as bebidas de processamento natural e fermentado as nuances da bebida foram interpretadas considerando o número de citações e seu posicionamento na roda de sabores. A roda de sabores é uma ferramenta visual utilizada para avaliar e descrever as nuances do café para identificar as diferentes características sensoriais organizadas na forma de um círculo que aproxima nuances semelhantes. De forma que a partir do número de citações e o ângulo de cada nuance na roda de sabores foi obtida uma dispersão que compara as nuances citadas nas duas medições (Figura 6).

Nesta dispersão é possível observar que as amostras de café fermentado apresentaram nuances descritas como Doce, Floral e Frutado que são classificados mais próximos na roda de sabores, por serem mais semelhantes. A fermentação dos frutos se caracteriza pela decomposição dos açúcares presentes na polpa dos frutos pela ação de bactérias e leveduras. Pode-se observar que os compostos resultantes desse processo adicionaram notas frutadas, florais e ácidas à bebida tornando as amostras mais parecidas entre si (Figura 6).

Por sua vez, as amostras de processamento natural apresentaram maior variabilidade de nuances tendo apresentado amostras em uma amplitude de 0° a 360° na dispersão mostrada na Figura 4. Enquanto os genótipos de comportamento conhecido BRS 2314 e BRS 1216 apresentaram nuances Doce, Floral e Frutada mais semelhantes às amostras fermentadas os genótipos BRS 2299 e BRS 3210 apresentaram predominância de nuances denominadas de Herbal e Especiarias (Figura 6).

Tabela 1. Principais características de qualidade da bebida de dez cultivares de *C. canephora* avaliadas em cinco ambientes dos estados de Rondônia e Acre.

Cultivar	Peneira média ¹	Ciclo de maturação ²	Qualidade da bebida ³	Atributos ⁴
BRS 1216	15	Intermediário	>79 pontos	Chocolate, cereal, amadeirado
BRS 2299	14	Intermediário	>70 pontos	Neutro, cereal, herbal
BRS 2314	14	Tardio	>80 pontos	Chocolate, caramelo, frutas
BRS 2336	16	Tardio	>75 pontos	Doce, retrogosto suave
BRS 2357	15	Tardio	>70 pontos	Neutro, sem atributos que o destaquem
BRS 3137	14	Precoce	>70 pontos	Neutro, sem atributos que o destaquem
BRS 3193	14	Precoce	>75 pontos	Chocolate, caramelo, amêndoas
BRS 3210	16	Intermediário	>70 pontos	Neutro, cereal
BRS 3213	15	Intermediário	>75 pontos	Amadeirado, ervas, especiarias
BRS 3220	15	Intermediário	>79 pontos	Amêndoas, pimenta, finalização seca

¹ Peneira média: tamanho médio de grãos do tipo chato mensurado de acordo com jogo de peneiras variando de 13 a 18. ²Ciclo de maturação: Período necessário para maturação de frutos classificados como precoce, intermediário e tardio de acordo com as cultivares que apresentam maturação nos meses de abril, maio e junho respectivamente. ³Qualidade da bebida: Nota final de acordo com o Protocolo de Degustação de Robustas Finos (PDRF), ⁴Atributos: Características predominantes observadas na bebida.

Fonte: Teixeira et al. (2020).

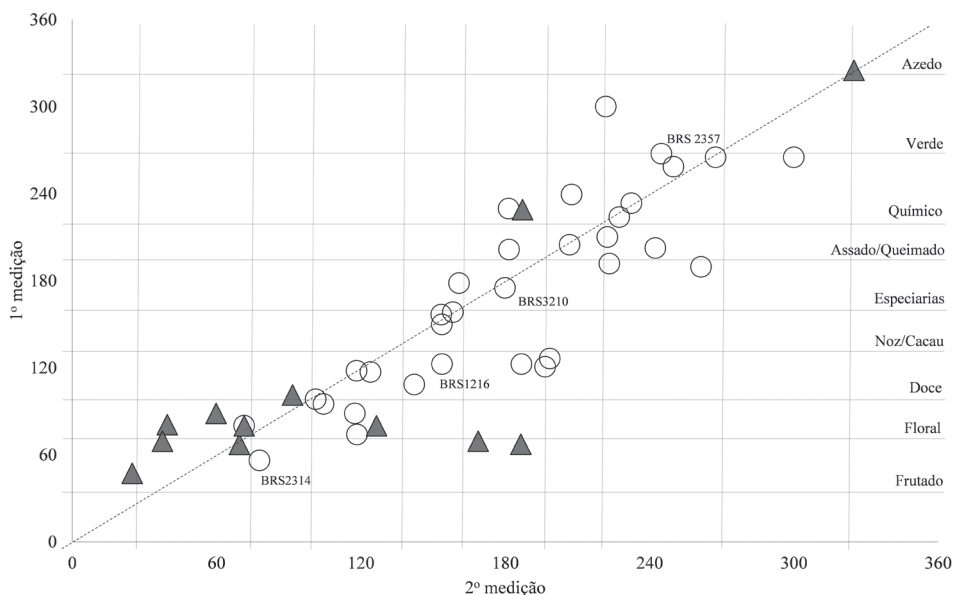


Figura 6. Dispersão dos valores das nuances predominantes percebidas na avaliação de 44 amostras de café de diferentes regiões do país em duas avaliações, denominadas de avaliação tradicional e avaliação guiada. As nuances predominantes transformadas em ângulos utilizando a roda de sabores da SCAA, se agrupam no plano em relação às principais características consideradas no protocolo de avaliação.

A maior variabilidade das nuances do café proveniente de processamento natural também pode ser observada no Conilon e no Robusta. Além de características agrônômicas diferenciadas as variedades botânicas apresentam diferenças na qualidade de sua bebida. Enquanto a variedade botânica Conilon apresenta um predomínio de bebidas neutras e menos encorpadas, a variedade botânica Robusta se diferencia pelos nuances exóticos identificados como frutado, chocolate e amêndoas (Souza et al., 2018). A diferença na qualidade da bebida se expressa em plantas híbridas que podem apresentar características de ambas as variedades botânicas (Alves et al., 2020).

Um dos primeiros trabalhos a estudar a qualidade da bebida entre plantas das variedades botânicas observou que 14% dos genótipos da variedade botânica Conilon e 50% da variedade botânica Robusta apresentavam café encorpado (Veneziano, 1993). Souza et al. (2018) observaram que até 80% da variabilidade des-

sa característica pode ser de natureza genotípica, e que a variedade Robusta apresenta maior classificação de bebida fina em comparação com a variedade conilon.

Na Tabela 2 estão sumarizados os resultados de Souza et al. (2018), os quais analisaram a qualidade da bebida de 130 genótipos das variedades botânicas Conilon e Robusta. Os autores observaram que enquanto o Conilon apresenta maior frequência de nuances caracterizadas como neutra, o Robusta apresenta maior frequência de nuances denominadas de exóticas e finas, mais associadas a bebidas de gosto mais acentuado. Por este motivo, foram classificadas como bebidas encorpadas.

Tabela 2. Porcentagem de nuances nas amostras e classificação segundo ROBUSTA CUPPING PROTOCOLS em cinco níveis: comercial; justo-UGQ; médio-UGQ; Premium e fino, na avaliação de 130 clones das variedades botânicas Conilon e Robusta, e híbridos intervarietais.

Variedade botânica	Neutro	Frutado	Exótico	Fino	Suave
Conilon	78%	15%	4%	1%	2%
Híbrido	67%	11%	0%	21%	1%
Robusta	50%	15%	12%	22%	1%
Variedade botânica	Comercial	Justo-UGQ	Médio-UGQ	Premium	Fino
Conilon	2%	12%	46%	38%	1%
Híbrido	0%	6%	11%	83%	0%
Robusta	4%	0%	30%	62%	4%

Fonte: Souza et al. (2018).

Considerações finais

Nesse capítulo foram apresentadas diferentes informações sobre a qualidade da bebida dos cafeeiros denominados de Robustas Amazônicos, os quais se caracterizam pela sua genética diferenciada com características das variedades botânicas Conilon e Robusta. Esses resultados mostram que tanto a genética, quanto o ambiente e o tipo de processamento são importantes para a qualidade final de bebida. As mesmas avaliações realizadas em duas medições diferentes mostram que as avaliações baseadas em análises sensoriais apresentaram consistência na classificação de bebidas neutras e encorpadas. Clones de características conheci-

das foram reconhecidos pelos avaliadores que os classificaram de maneira semelhante nas duas avaliações. As amostras de processamento natural apresentaram maior diversidade de nuances em comparação com as amostras de processamento fermentado. Plantas da variedade botânica robusta tem maior probabilidade de apresentar bebidas de gosto acentuado com nuances classificadas como exóticas e finas, enquanto plantas da variedade botânica Conilon apresentaram maior percentual de bebidas neutras. Os clones BRS2314 e BRS1216 mantiveram seu potencial para produção de bebida encorpada com nuances mais parecidos com as amostras de processamento fermentado enquanto os clones BRS2299 e BRS2357 apresentaram bebidas de gosto menos acentuado.

Referências

- ALVES, E. A.; SOUZA, C. A.; ROCHA, R. B.; PEREIRA, L. L.; LIMA, P. P.; LOURENÇO, J. L. R. Efeito da fermentação sobre qualidade da bebida do café robusta (*Coffea canephora*) cultivado na amazônia ocidental. **Revista Ifes Ciência**, v. 6, n. 3, p. 159-170, dez. 2020.
- CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Botanical Classification of Coffee. In: CLIFFORD, M. N.; WILLSON K. C. (ed.). **Coffee: Botany, Biochemistry, and Production of Beans and Beverage**. Westport, Connecticut: AVI Publishing Company, 1985. p. 13-47.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café. In Primeiro levantamento - Safra 2022**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- DAVIS, A. P.; GOVAERTS, R.; BRIDSON, D. M.; STOFFELEN, P. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 152, n. 4, p. 465-512, dec. 2006.
- DEPOLO, R. P.; ROCHA, R. B.; SOUZA, C. A.; SANTOS, M. R. A.; ESPINDULA, M. C.; TEIXEIRA, A. L. Expression of self-incompatibility in *Coffea canephora* genotypes grown in the western Amazon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, e03031, jan. 2022.
- MORAIS, J. A.; ROCHA, R. B.; ALVES, E. A.; ESPINDULA, M. C.; TEIXEIRA, A. L.; SOUZA, C. A. Beverage quality of *Coffea canephora* genotypes in the western Amazon, Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 43, e52095, 2021.
- RAMALHO, A. R.; ROCHA, R. B. Pesquisa a serviço da cafeicultura: Mais de 40 anos de desafios e geração de tecnologias para a Amazônia. **Revista Cafés de Rondônia: Aroma, sabor e origem**, 2018. Disponível em: www.embrapa.br/rondonia/cafes-de-rondonia. Acesso em: 15 dez. 2022.

RAMALHO, A. R.; VENEZIANO, W.; ROCHA, R. B.; OLIVEIRA, C. L. L. G.; CASSARO, J. D. **Cultivares de cafeeiros Conilon e Robusta indicados para Rondônia**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2016. 10p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 348).

ROCHA, R. B.; TEIXEIRA, A. L.; RAMALHO, A. R.; ESPINDULA, M. C.; LUNZ, A. M. P.; SOUZA, F. F. *Coffea canephora* breeding: estimated and achieved gains from selection in the Western Amazon, Brazil. **Ciência Rural**, v. 51, n. 5, e20200713, may. 2021.

SOUZA, F. F.; FERRÃO, L. F. V.; CAIXETA, E. T.; SAKIYAMA, N. S.; PEREIRA, A. A.; OLIVEIRA, A. C. B. Aspectos gerais da biologia e da diversidade genética de *Coffea canephora*. In: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. (ed.). **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p.85-98.

SOUZA, C. A.; ROCHA, R. B.; ALVES, E. A.; TEIXEIRA, A. L.; DALAZEN, J. R.; FONSECA, A. F. A. Characterization of beverage quality in *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner. **Coffee Science**, v. 13, n. 2, p. 210-218, jun. 2018.

TEIXEIRA, A. L.; ROCHA, R. B.; ESPINDULA, M. C.; RAMALHO, A. R.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; ALVES, E. A.; LUNZ, A. M. P.; SOUZA, F. F.; COSTA, J. N. M.; FERNANDES, C. F. Amazonian Robustas - new *Coffea canephora* coffee cultivars for the Western Brazilian Amazon. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 3, jul-sep. 2020.

UCDA - UGANDA COFFEE DEVELOPMENT AUTHORITY. **Protocolos para Degustação do Robusta. PSCB 123/10**. Londres, Inglaterra, jun. 2010. Disponível em: <http://dev.ico.org/documents/pscb-123-p-robusta.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2018.

VENEZIANO, W. **Avaliação de progênies de cafeeiros (*Coffea canephora* Pierre ex. Froehner) em Rondônia**. 1993. 73 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

VIENCZ, T.; ACRE, L. B.; ROCHA, R. B.; ALVES, E. A.; RAMALHO, A. R.; BENASSI, M. T. Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids, melanoidins, and diterpenes contents of *Coffea canephora* coffees produced in the Amazon. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.117, 105140, apr. 2023.



Capítulo 3

Protocolos de classificação e degustação de Cafés

Lucas Louzada Pereira

Bárbara Zani Agnoletti

Danieli Gracieri Debona

Mariane Santos Anholeti

Fabiana Mesquita de Carvalho

Introdução

A prova de xícara surgiu no Brasil no início do século XX, e foi adotada pela Bolsa de Café e Mercadorias de Santos a partir de 1917, pouco depois de sua instalação em 1914. Essa avaliação é feita pelos degustadores, principalmente dos sentidos do gosto, do olfato e do tato (Teixeira, 1999).

Dentre as diversas classificações do café (seja por tipo, cor, dimensão, aspecto e qualidade) como bebida, o café é classificado baseando-se no sabor detectado na chamada “prova de xícara”, feita por degustadores treinados (Teixeira, 1999; Malta et al., 2013). Este processo é um trabalho complexo que exige bastante treinamento e conhecimento para fazer a diferenciação dos sabores dos diferentes cafés. Deve-se também considerar que, na apreciação da bebida, é possível, de acordo com Monteiro (2002), a ocorrência de sabores estranhos (ou *off-flavors*), tais como: gosto de terra, mofo, azedo, “chuvado”, avinagrado, fenólico, enfumado dentre outros, provenientes de defeitos ocasionados nos processos de pós-colheita.

O protocolo mais antigo que se tem registro consiste no método de avaliação sensorial descritiva pelo Método de Classificação Oficial Brasileira, conhecida como método COB. Ela é realizada a partir de uma amostra de café composta por 300 gramas de grãos que são torrados com torra média a clara, e em seguida moídos em granulometria grossa (15 mesh). Em sequência, dez gramas desta amostra torrada e moída são levados para a mesa de prova em potes de cerâmica ou vidro, sobre os quais são acrescentados 100mL de água filtrada a uma temperatura de 90 °C, conforme Figura 1 (Paiva, 2005).



Figura 1. Limpeza da espuma sobrenadante anterior ao processo de degustação de cafés para avaliação da qualidade pelo degustador.

Por meio da prova de xícara, a amostra é classificada conforme a normativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) a qual estabelece os parâmetros para a avaliação sensorial do café. Segundo Caul (1957), o provador especialista foi empregado pela primeira vez na indústria de vinho e, em sequência, nas indústrias do chá e do café.

Este agente pode ser considerado como o passo inicial no desenvolvimento do campo analítico do perfil sensorial do café, uma vez que o provador especialista julga o produto em particular com uma escala de padrões calibrados tendo passado por treinamentos específicos dos grupos aromáticos e sabores dos cafés, permitindo uma caracterização e avaliação dos atributos de forma universal tendo como base, nível de doçura e acidez e descritivos aromáticos de acordo com a roda de aromas e sabores. Inclui-se, dessa maneira, a avaliação não apenas do aroma e sabor, mas da cor, aparência e textura, ou seja, de todos os atributos sensoriais de um produto.

Para a indústria alimentícia, a avaliação sensorial era uma extensão natural do desejo de cada empresa de atingir a mais alta qualidade intrínseca do produto e, assim, conquistar um papel dominante no mercado (Sidel; Stone, 1993).

Existem inúmeras fontes de variação nas respostas humanas que não podem ser completamente controladas em um teste sensorial. Exemplos disso incluem o humor e a motivação dos participantes, bem como sua sensibilidade fisiológica inata à estimulação sensorial e sua história passada e familiaridade com produtos similares (Lawless; Heymann, 2010).

A avaliação sensorial, nessa perspectiva, é uma ciência quantitativa na qual dados numéricos são coletados para estabelecer relações legítimas e específicas entre as características do produto e a percepção humana. Os métodos sensoriais baseiam-se fortemente nas técnicas de pesquisa comportamental, na observação e na quantificação de respostas humanas (Lawless e Heymann (2010). Do ponto de vista estatístico, a avaliação sensorial é um método científico em que os resultados experimentais são coletados por um conjunto de provadores treinados os quais também expressam preferências e reações com relação às características de alimentos e bebidas (Lannario et al., 2012).

Todo café precisa ser avaliado antes de ser comercializado. Normalmente, esse processo perfaz o caminho da análise sensorial descritiva, tendo algumas etapas definidas através de instruções normativas ou protocolos de classificação/degustação. Ou seja, todo café precisa ser avaliado sobre o aspecto físico, sobre o tipo e sobre seu perfil sensorial.

A análise sensorial é uma etapa importante para validação dos processos envolvidos nas etapas anteriores a produção da bebida. Durante o processo de degustação, o avaliador deve analisar vários aspectos da bebida, como a fragrância, aroma, dentre outros (Leme, 2016). Do ponto de vista composicional, os voláteis e não-voláteis têm grande influência na percepção do sabor e na aceitação do café e podem influenciar a percepção sensorial dos avaliadores (Sunarharum et al., 2014).

Na cadeia produtiva do café, existem diferentes metodologias para avaliação da qualidade, existindo diferentes protocolos para análise sensorial de um produto. No caso do café, consideramos neste capítulo apenas os protocolos mais consolidados, sendo o protocolo da Classificação Oficial Brasileira (COB), o *Cup of Excellence* (COE), o da *Specialty Coffee Association* (SCA) e o do *Coffee Quality Institute* (CQI/UCDA), que são utilizados de forma distintas, seja para avaliação de cafés arábicas ou canéforas, sendo uma ferramenta fortemente utilizada por profissionais que trabalham com controle de qualidade.

Assim, dentre os protocolos de competições de qualidade, o “*Cup of Excellence*” (COE) visa valorizar a avaliação dos atributos de qualidade de cafés ditos super especiais em concursos de qualidade da *Alliance For Coffee Excellence* (2023). Este protocolo foi descrito por Howell em 1998, e ele exige que cada provador atribua notas de acordo com a intensidade de certas características sensoriais do café.

Segundo Lingle (2011), um dos métodos mais utilizado para a avaliação sensorial do café é o protocolo da *Specialty Coffee Association* (SCA). Ele se baseia em uma análise sensorial descritiva e também uma avaliação afetiva ou hedônica (de ‘bom’ a ‘excepcional’) da bebida para avaliação do café arábica. Este protocolo se destaca nos principais países envolvidos na comercialização de cafés especiais, dada a consistência do método na discriminação da qualidade da bebida.

Por fim, não menos importante, o protocolo mais comum para avaliação de cafés canéforas consiste no método desenvolvido pelo Coffee Quality Institute (CQI) em colaboração com a Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda (UCDA). As análises sensoriais realizadas com o uso dessa metodologia são conduzidas por provadores devidamente treinados e certificados pelo Instituto de Qualidade do Café (CQI) com base nos protocolos da SCA (Associação de Cafés Especiais, 2003). Estes provadores são denominados Q-Graders.

Os protocolos aqui apresentados possuem parâmetros similares de avaliação e, ao mesmo tempo, limitações que já foram propostas e discutidas por Pereira et al. (2017). Os autores mediram a consistência de uso do protocolo da SCA com Q-Graders e, mais recentemente, foram ampliadas as revisões a respeito das limitações do protocolo da SCA para cafés intermediários, conforme estudos de Pereira et al. (2019).

Entretanto, a crescente busca por cafés de qualidade superior tem modificado significativamente a cadeia produtiva dos cafés canéforas, gerando a necessidade de compreensão dos conceitos e princípios que regem os processos de certificação e avaliação da qualidade dos cafés deste grupo.

Neste capítulo, abordaremos os processos de análise sensorial de cafés, os protocolos que são utilizados e algumas proposições para estruturação de uma abordagem técnica que permita a valorização dos cafés canéforas, tendo como base a diversidade sensorial observada nos últimos anos em função do emprego de processos fermentativos para melhoria da qualidade.

Qualidade do café

Para que o café seja comercializado, ele deve passar por uma série de testes que o classifique quanto a sua qualidade, incluindo-se classificações física e sensorial.

A classificação física no Brasil é normatizada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, sob Instrução Normativa nº 08, de 11 de junho de 2003, que regulamenta os parâmetros de qualidade para a classificação dos cafés das espécies *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* (Brasil, 2013).

Nessa classificação o café é separado de acordo com seu tamanho e formato (separação por peneira, conforme apresentado na Tabela 1. Classificação oficial do café por peneira., o que garante a homogeneidade da amostra e impacta o processo de torra (Sturm, 2012). Conforme observado na Figura 2, os grãos do café (comercialmente conhecidos como favas) possuem diferenças entre os seus formatos, fazendo com que exista a necessidade de classificação e separação para atender as demandas industriais.

Tabela 1. Classificação oficial do café por peneira.

Tamanho dos grãos	Formato dos grãos	Peneira
Graúdo	Moca	13
Graúdo	Chato	18
Graúdo	Moca	12
Graúdo	Chato	17
Médio	Moca	11
Médio	Chato	16
Médio	Moca	10
Médio	Chato	15
Médio	Moca	9
Médio	Chato	14
Miúdo	Moca	8
Miúdo	Chato	13
Miúdo	Chato	12
Miúdo	Chato	11
Miúdo	Chato	10
-	Fundo	F

Fonte: Adaptado de Brasil (2013).

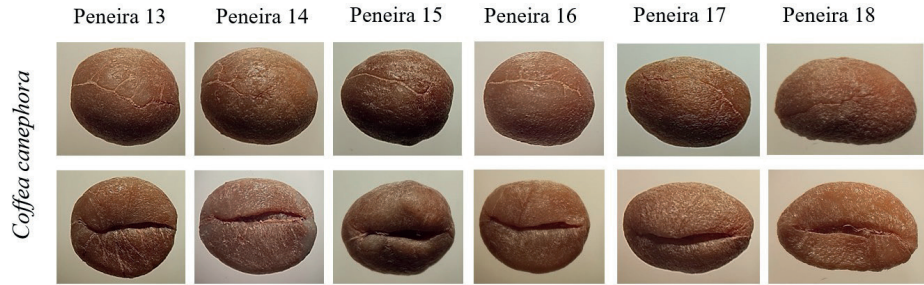


Figura 2. Grãos de café conilon em diferentes tamanhos de peneiras.

O café também é classificado quanto ao tipo. Para isso é feito uma relação de equivalência para defeitos que podem ser intrínsecos, como os grãos imperfeitos, ou extrínsecos, como paus, pedras e outras impurezas (Senar, 2017). Os defeitos e suas respectivas equivalências são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Defeitos de cafés e respectivas equivalências para classificação quanto ao tipo.

Defeitos		Característica	Quant.	Equivalência
	Grão preto (intrínseco)	Grão ou pedaço de grão de coloração preta opaca.	1	1
	Grão ardido (intrínseco)	Grão ou pedaço de grão que apresenta coloração marrom.	2	1
	Grão verde (intrínseco)	Grão imaturo e de coloração verde.	5	1
	Grão brocado (intrínseco)	Grão danificado pela praga conhecida como broca-do-café.	2–5	1
	Grão concha (intrínseco)	Grão em forma de concha, resultante da separação de grãos imbricados.	3	1

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Defeitos		Característica	Quant.	Equivalência
	Grão quebrado (intrínseco)	Pedaço de grão com tamanho superior à metade de um grão sadio.	5	1
	Grão chocho (intrínseco)	Grão com formação incompleta superfície enrugada.	5	1
	Coco (extrínsecos)	Grão que não teve a casca seca retirada no beneficiamento do café.	1	1
	Marinheiro (extrínsecos)	Fragmento da casca interna (endocarpo), causado pelo mal beneficiamento.	2	1
	Pau, pedra, torrão grande (extrínsecos)	São resíduos vegetais como grãos ou de outras espécies e corpos estranhos, tais como pedras ou torrões de terra de diferentes tamanhos.	1	5
	Médio (extrínsecos)		1	2
	Pequeno (extrínsecos)		1	1
	Casca grande (extrínsecos)	Fragmento de casca seca do fruto de café. Resultante mal beneficiamento.	1	1
	Pequena (extrínsecos)		2–3	1

Fonte: Adaptado de Brasil (2003); Senar (2017); Augusto (2022).

Tendo em mãos as equivalências, é possível classificar o café quanto ao seu “tipo”, o que influencia o valor final pago a cada 60 kg de café (Tabela 3). Desta forma, quanto menor o número do tipo, maior valor agregado terá o café.

Tabela 3. Equivalência do número total de defeitos com o tipo.

Soma das equivalências dos defeitos	Tipo
Até 4 defeitos	2
Até 12 defeitos	3
Até 26 defeitos	4
Até 46 defeitos	5
Até 86 defeitos	6
Até 160 defeitos	7
Até 360 defeitos	8

Fonte: Adaptado de Brasil (2003) e Augusto (2022).

As características sensoriais da bebida, principalmente os atributos de aroma e sabor, são as que definem a preferência do consumidor. Portanto, a avaliação sensorial constitui o principal método utilizado para definir a qualidade do café (Farah et al., 2006; Samoggia; Riedel, 2018).

Na indústria de café, os procedimentos de degustação são conhecidos como “prova de xícara” ou “*cupping*”, utilizados para classificar a qualidade a fim de estabelecer critérios para a determinação do preço de varejo. A Instrução Normativa nº 08, de 11 de junho de 2003, determina a classificação do café arábica em função da qualidade da bebida, da melhor para a pior, em estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riada, rio e rio zona; enquanto quatro classificações são designadas para o café conilon, a saber: excelente, boa, regular e anormal (Brasil, 2003).

Entretanto, para concursos de qualidade em nível mundial e estudos científicos com aplicações de análise sensorial, são utilizados protocolos de *cupping* da Associação de Cafés Especiais (SCA) para café arábica. Já para cafés conilon e robusta, são comumente usados os procedimentos de degustação estabelecidos pelo Instituto de Qualidade do Café (CQI) em colaboração com a Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda (UCDA) (Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda, 2010; Pereira et al., 2017; Louzada et al., 2018; Instituto de Qualidade do Café, 2019; Associação de Cafés Especiais, 2023).

Um painel sensorial que avalia um produto alimentício é composto por um grupo de degustadores treinados que graduam, por meio de uma escala numérica, um conjunto de atributos para diferentes amostras (Nonenmacher Júnior et al., 2020). Na avaliação sensorial do café, os profissionais qualificados para esta função são os *Q-graders* para os cafés arábicas e *R-graders* para cafés canéforas, (do inglês, *Quality grader*). Essa certificação é conferida pelo CQI utilizando os protocolos da

SCA e o protocolo CQI/UCDA, como forma de garantir a confiabilidade na avaliação da qualidade de diferentes cafés, para que os mesmos padrões e critérios sejam considerados, independentemente do avaliador. Pereira et al. (2018) recomendaram um painel sensorial composto por seis *Q-graders* para garantir com precisão os resultados da análise sensorial do café, utilizando os protocolos da SCA e CQI/UCDA.

Nos protocolos de cupping da SCA e CQI/UCDA, são estabelecidos os procedimentos necessários para o preparo das amostras de café, como condições de torra e moagem do grão, e medidas utilizadas para a infusão e temperatura da água. A amostra é avaliada utilizando formulários (Figura 3), sendo pontuados, para o café arábica, os atributos de fragrância/aroma, sabor, retrogosto, acidez, sensação na boca (corpo), equilíbrio, uniformidade, xícara limpa, doçura, defeitos e avaliação global (Figura 3. Formulários de cupping utilizados para café arábica (A, B) e cafés conilon e robusta (C).A-B). Para as variedades botânicas conilon e robusta (Figura 3C), o formulário utilizado difere do anterior ao considerar a relação salinidade/acidez ao invés do atributo acidez; e a relação amargor/doçura ao invés do atributo doçura (Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda, 2010; Instituto de Qualidade do Café, 2019; *Alliance for Coffee Excellence*, 2023; Associação de Cafés Especiais, 2023).

CUPPING FORM

TABLE #

Name: _____

Date: _____

Session: _____

Quality Scale:			
6.00 Good	7.00 Very Good	8.00 Fine	9.00 Outstanding
6.25	7.25	8.25	9.25
6.50	7.50	8.50	9.50
6.75	7.75	8.75	9.75

Sample #	Roast Level of Sample	Score: Fragrance/Aroma	Score: Flavor	Score: Acidity	Score: Body	Score: Uniformity	Score: Clean Cup	Score: Overall	Score: Total
A		Dry _____ Character _____ Break _____ Score: _____	Aftertaste _____ Score: _____	Low Salt _____ High Acid _____ Score: _____	Low Bitter _____ High Sweet _____ Score: _____	Rough _____ Smooth _____ Score: _____	Balance _____ Sweetness _____ Score: _____	Taint = 2 _____ Fault = 4 _____	Defects (subtract) # cups intensity _____ x _____ = _____
		NOTES							
		FINAL SCORE							
B		Dry _____ Character _____ Break _____ Score: _____	Aftertaste _____ Score: _____	Low Salt _____ High Acid _____ Score: _____	Low Bitter _____ High Sweet _____ Score: _____	Mouthfeel _____ Score: _____	Balance _____ Clean Cups _____ Score: _____	Taint = 2 _____ Fault = 4 _____	Defects (subtract) # cups intensity _____ x _____ = _____
		NOTES							
		FINAL SCORE							

Figura 3. Formulários de *cupping* utilizados para café arábica (A) e cafés conilon e robusta (B).

Fonte: Adaptado de Associação de Cafés Especiais (2003), Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda (2010), Instituto de Qualidade do Café (2019) e *Alliance for Coffee Excellence* (2023).

A classificação dos atributos é feita em uma escala de 16 pontos representando níveis de qualidade em incrementos de um quarto de ponto (0,25). Essa escala varia de 0 a 10 pontos; no entanto, a extremidade inferior a 6 na escala (0,25 a 5,75)

está abaixo do grau de especialidade (Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda, 2010; Associação de Cafés Especiais, 2023).

O atributo fragrância está relacionado ao cheiro do café moído seco, enquanto o aroma é o odor percebido na infusão do café seco com água quente (SCA, 2003). Em razão do equilíbrio cinético entre as fases sólido-gás e líquido-gás, a composição do odor do café seco será diferente do odor da infusão. A mudança de temperatura altera a proporção de moléculas de odor, ou voláteis, nas duas fases. Com o aumento da temperatura, um maior número de moléculas voláteis passará da fase sólida ou líquida para a fase gasosa. Assim, várias reações de transformação ocorrem tanto no café seco quanto na infusão influenciando a composição do odor nas duas situações (Lingle; Menon, 2017).

O sabor percebido na bebida é uma combinação de impressões de paladar e olfato (Revi, 2019). Enquanto as sensações gustativas na língua são causadas por moléculas dissolvidas na bebida, as sensações retronasais no nariz são percebidas por moléculas voláteis inicialmente presentes na bebida, mas que são liberadas, em razão do aumento da área superficial, quando o café é fortemente sorvido (Lingle; Menon, 2017).

Após engolida ou expectorada, o sabor residual da bebida que fica na língua e na cavidade nasal é denominado retrogosto (Revi, 2019). Em geral, o retrogosto é resultado de compostos menos solúveis em água, bem como componentes voláteis que ainda podem estar presos na bebida (Lingle; Menon, 2017).

A acidez é uma medida da quantidade e tipo de ácidos orgânicos na bebida que está ligada à acidez titulável do fluido, sentida pela língua. O corpo fornece a textura ou sensação tátil do líquido na boca (Brasil, 2003; Lingle; Menon, 2017). As fibras solúveis e insolúveis, melanoidinas, lipídios e cafeína nos grãos torrados e moídos, bem como partículas microfinas do grão podem desempenhar um papel importante no desenvolvimento do atributo corpo (Cheng et al., 2016; Revi, 2019).

A interação dos aspectos de sabor, retrogosto, acidez e corpo constitui o equilíbrio (Revi, 2019). Se a amostra carecer de certos atributos de aroma ou sabor, ou no caso de alguns atributos tiverem predominância excessiva, a pontuação do equilíbrio será reduzida (Associação de Cafés Especiais, 2003).

De acordo com Lingle e Menon (2017), os atributos doçura, uniformidade e xícara limpa representam a qualidade do preparo do café durante a colheita e beneficiamento dos grãos. A doçura é a percepção do gosto doce na bebida, como em soluções muito diluídas de açúcar, mas que também pode ser causada por baixos níveis de ácidos e sais (Lingle; Menon, 2017). A sensação da doçura é favorecida

quando a fruto é colhido maduro, pois há maior concentração de sólidos solúveis, inclusive açúcares redutores e não-redutores que contribuem com a doçura. Entretanto, Batali et al. (2020) mostraram que a concentração total dos monossacarídeos na bebida do café (i.e., açúcares redutores e não-redutores) está abaixo do limiar de reconhecimento para o gosto doce da frutose, que é o mais doce dos monossacarídeos. Ao mesmo tempo, observou-se que a percepção de doçura está correlacionada com a percepção de aromas ‘doces’, como aromas açucarados (como o caramelo), frutados e florais. Desta forma, os autores propuseram que a percepção de doçura poderia ser causada pelos aromas doces percebidos via olfato retronasal.

A avaliação sensorial é realizada em um conjunto de cinco xícaras por lote avaliado e a consistência do sabor de diferentes xícaras da amostra de café provada diz respeito à uniformidade da bebida. Se as xícaras apresentarem sabores diferentes, a pontuação deste atributo é reduzida (Associação de Cafés Especiais, 2003).

A ausência de impressões negativas de interferentes no café, decorrente de defeitos na bebida, refere-se ao atributo xícara limpa, que deve ser avaliado desde o momento em que o líquido é servido até a sensação de finalização, após engolido ou expelido (Associação de Cafés Especiais, 2003; Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda, 2010). Dentre os defeitos que afetam negativamente a qualidade da bebida estão incluídos grãos pretos, ardidos e verdes (que não houve maturação), entre outros, bem como a falta de higiene adequada de recipientes e equipamentos durante o processamento, armazenamento ou transporte do grão em áreas contaminadas por materiais odoríferos estranhos, ou ainda o armazenamento prolongado em sacos de juta em locais úmidos ou mal ventilados (Revi, 2019).

Os defeitos são classificados em duas categorias no formulário de *cupping*. Um defeito leve pode ser notado no sabor, mas sem se sobressair, mantendo ainda a percepção linear de doçura, sendo geralmente encontrado no aroma. Esse tipo de defeito recebe o valor 2 de intensidade. Um defeito grave, em geral, é percebido nos aspectos gustativos e olfativos e é característico por fornecer à bebida um gosto ou sabor muito desagradável, o que devido a sua intensidade, recebe a nota 4. O número de xícaras em que o defeito foi encontrado é anotado e a intensidade do defeito é registrada como 2 ou 4 (Tabela 3) (Associação de Cafés Especiais, 2003; Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda, 2010).

Finalmente, a avaliação global é atribuída à classificação integral e de forma holística da amostra conforme percebida pelo provador individual (Associação de Cafés Especiais, 2003). Este atributo reflete a impressão do provador levando em consideração todos os atributos avaliados tendo como critério para definir a pontuação global a nota mais baixa e mais alta aplicada. O julgamento pessoal não deve interferir na classificação dos atributos sensoriais da amostra (Revi, 2019).

Ademais, os atributos salinidade/acidez e amargor/doçura avaliados em cafés conilon e robusta estão associados ao equilíbrio entre os dois atributos que se relacionam. A proporção salinidade/acidez é a percepção da acidez da amostra que não é diminuída por um gosto salgado acentuado. A proporção do aspecto amargor/doçura é o equilíbrio relativo entre as sensações de gosto amargo e doce, com o resultado ideal resultante de uma combinação de baixo amargor e alto teor de doçura (Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda, 2010; Lingle; Menon, 2017; Instituto de Qualidade do Café, 2019).

O resultado final da avaliação sensorial do café é calculado somando primeiro as pontuações individuais dadas para cada um dos atributos primários a fim de obter a pontuação total (Tabela 4). Os defeitos são então subtraídos da pontuação total para chegar ao resultado final. Cafés arábica com pontuações de 80 e acima recebem a classificação especial, enquanto cafés conilon e robusta são qualificados como finos (Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda, 2010; Instituto de Qualidade do Café, 2019). Em ambos os casos, são designados como cafés superiores ou de alta qualidade.

Tabela 4. Resultado total de classificação de qualidade do café.

Metodologia	Pontuação Final	Caracterização	Classificação quanto a qualidade
SCA (<i>C. arabica</i>)	90–100	Excepcional	Super especial
	85–89,99	Excelente	Especial
	80–84,99	Muito Bom	Especial
	Menor que 80	Baixa qualidade	Não especial
UCDA (<i>C. canephora</i>)	90–100	Excepcional	Muito fino
	80–90	Fino	Fino
	70–80	Muito Bom	Prêmio
	60–70	Médio	Boa qualidade usual
	50–60	Razoável	Boa qualidade usual
	40–50	Razoável	Comercial
	< 40		Classificação comercializável
	< 30		Abaixo da classificação mínima
	< 20		Não-classificável
	< 10		Escolha

Fonte: Adaptado de Associação de Cafés Especiais (2003) e Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda (2010).

Como um recurso de direcionamento e padronização a *Specialty Coffee Association*, desenvolveu em 1995 a roda de sabores do café arábica em parceria com a *World Coffee Research, Sensory Analysis Center da Kansas State University* e *University of California, Davis* (Figura 4). Mais recente, a roda de sabores para o café canephora (variedades conilon e robusta) está sendo desenvolvida como uma colaboração entre a Universidade Estadual de Campinas (pelo projeto *The Coffee Sensorium*) e o Instituto Federal do Espírito Santo, na pessoa da Dra. Fabiana Carvalho e do Professor Dr. Lucas Louzada Pereira, que conduziu o processo de *cupping* (Figura 5).

A roda de sabores contém um conjunto de vocabulários de referência para os descritores comumente identificados no café, sendo agrupados em cores, conforme mostra.



Figura 4. Roda de sabores do café da espécie *C. arabica*.

Fonte: *Specialty Coffee Association* (2023).

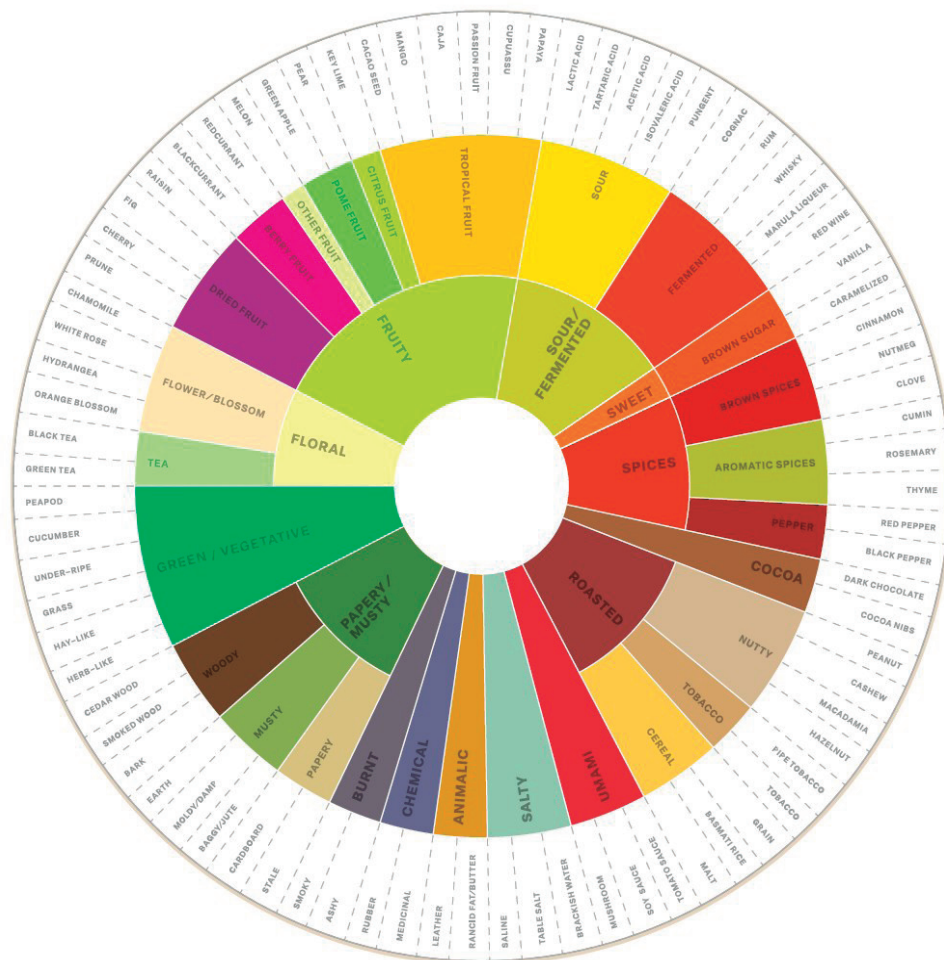


Figura 5. Roda de sabores do café da espécie *C. canephora*.

A Roda de Sabores, como ferramenta descritiva, deve ser lida de dentro para fora, ou seja, dos descritores mais genéricos para os mais específicos. No primeiro anel ou camada, a roda é dividida em nove grupos ou famílias de sabores: doce, floral, frutado, azedo/fermentado, verde/vegetal, assado, especiarias, noz/cacau e outros. No anel do meio, o consumidor/degustador encontra os termos secundários ou subfamílias, como frutado cítrico ou açúcar marrom. Já o terceiro e último anel apresenta o descritor ou atributo específico, tanto positivo (e.g., laranja) quanto negativo (e.g., borracha). Assim, quando se prova um café, primeiro se identifica

uma família aromática, por exemplo, frutado. Subindo para o segundo nível, deve-se apontar qual a subfamília da fruta, nesse exemplo será frutas vermelhas. No terceiro nível, diz qual fruta vermelha, por exemplo, morango. É importante considerar que nem sempre é possível a identificação do descritor específico. Ser um provador treinado também inclui o conhecimento para julgar se é possível avançar a descrição de ‘frutas vermelhas’ para ‘morango’, ou se não é possível avançar com precisão (Croijmans; Majid, 2016). Essa roda também divide os descritores positivos dos negativos pelas cores. Quanto mais quente a cor, mais complexo e raro é o descritor, sendo algo positivo para a bebida café, e quanto mais fria a cor pior o descritor.

Tomando como base o protocolo da CQI/UCDA, 60 amostras de cafés da espécie *C. canephora* (var. conilon e robusta) brasileiros foram avaliadas por 15 provadores com mais de 2 anos de experiência de *cupping*. Na Tabela 5 é apresentada a classificação da qualidade desses cafés.

Tabela 5. Resultado da classificação de cafés *C. canephora* quanto à qualidade.

Variedade	Média sensorial	Classe	Variedade	Média sensorial	Classe
Robusta	88,88	Fino	Conilon	81,13	Fino
Robusta	88,73	Fino	Conilon	80,98	Fino
Robusta	88,65	Fino	Conilon	80,82	Fino
Robusta	87,72	Fino	Conilon	80,70	Fino
Robusta	87,58	Fino	Conilon	80,48	Fino
Conilon	87,47	Fino	Conilon	80,44	Fino
Robusta	86,93	Fino	Conilon	80,40	Fino
Robusta	86,65	Fino	Conilon	80,30	Fino
Conilon	86,12	Fino	Robusta	80,25	Fino
Conilon	86,07	Fino	Conilon	80,20	Fino
Conilon	85,82	Fino	Robusta	80,15	Fino
Robusta	85,75	Fino	Conilon	79,88	Prêmio
Robusta	85,65	Fino	Conilon	79,77	Prêmio

Continua...

Tabela 5. Continuação.

Variedade	Média sensorial	Classe	Variedade	Média sensorial	Classe
Robusta	85,18	Fino	Robusta	79,70	Prêmio
Robusta	85,02	Fino	Robusta	79,25	Prêmio
Robusta	84,92	Fino	Conilon	79,17	Prêmio
Robusta	84,80	Fino	Robusta	79,13	Prêmio
Conilon	84,72	Fino	Conilon	79,08	Prêmio
Robusta	84,65	Fino	Conilon	78,98	Prêmio
Robusta	84,27	Fino	Conilon	78,83	Prêmio
Robusta	83,53	Fino	Conilon	78,75	Prêmio
Robusta	83,23	Fino	Conilon	78,55	Prêmio
Robusta	83,20	Fino	Conilon	78,32	Prêmio
Robusta	82,83	Fino	Conilon	77,97	Prêmio
Robusta	82,50	Fino	Robusta	77,20	Prêmio
Robusta	82,50	Fino	Conilon	76,53	Prêmio
Conilon	82,38	Fino	Robusta	75,63	Prêmio
Robusta	81,68	Fino	Conilon	74,87	Prêmio
Robusta	81,45	Fino	Conilon	50,52	Boa qualidade usual
Conilon	81,17	Fino	Conilon	35,17	Classificação comercializável

Para melhor visualizar os descritores sensoriais destes cafés, a análise de componentes principais foi utilizada (PCA, do inglês *Principal Component Analysis*). Para isso, tomou-se a frequência com que os descritores foram mencionados pelos provadores em cada amostra, configurando assim a matriz de dados utilizada para a análise. Os dados foram escalonados e os resultados expressos com base nos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) e apresentados pelos gráficos de *scores* e de *loadings* (Figura 6).

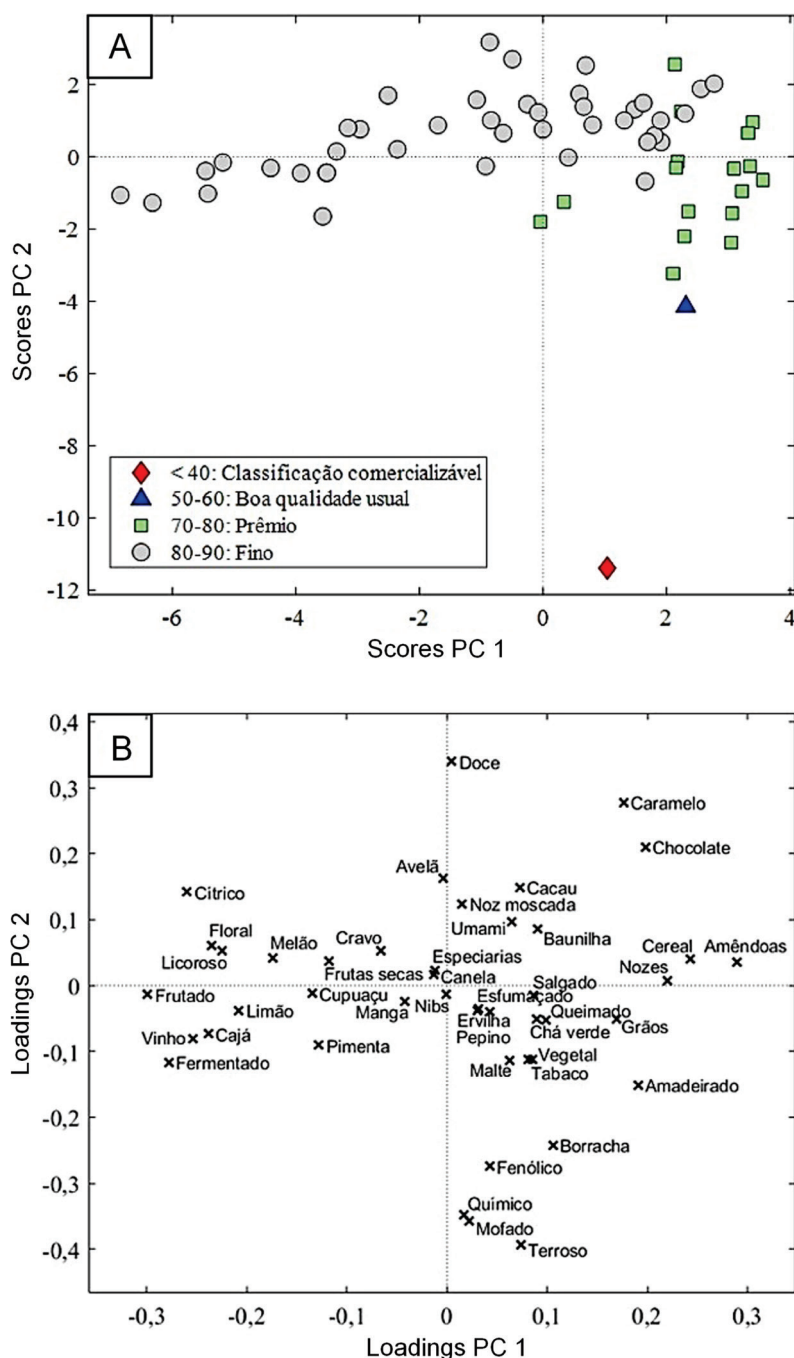


Figura 6. Resultados da PCA: gráfico de scores (A) e de loadings (B).

O gráfico dos scores (Figura 6A) demonstra as similaridades entre as amostras analisadas, enquanto o gráfico dos loadings (Figura 6B) indica os descritores sensoriais responsáveis pela separação destas amostras, observada no gráfico dos scores.

Neste sentido, observamos como descritores negativos à qualidade aqueles associados à amostra de 'classificação comercializável', a saber: borracha, fenólico, químico, mofado e terroso (situados no 4º quadrante do gráfico de *loadings*).

Por outro lado, cafés classificados como finos, tendem a apresentar descritores positivos à qualidade, como pode ser verificado na relação explicada nos quadrantes 1, 2 e 3 do gráfico de *loadings*, como notas florais e frutadas.

Considerações finais

Considerando as diferentes metodologias que existem nos processos de análise sensorial descritiva de cafés, e tendo como base os métodos apresentados neste capítulo, consideramos relevante a fusão de metodologias que atendam a demanda da avaliação de cafés, sem distinções de gêneros, uma vez que os processos de pós-colheita, quando bem conduzidos, geram atributos sensoriais com qualidade, seja para cafés arábicas ou canéforas.

Na perspectiva da mudança de qualidade e valorização do esforço dos cafeicultores que estão trabalhando neste contexto, sugere-se a discussão em torno desta problemática, tendo como base que os atributos de fragrância, sabor, retro-gosto, corpo, acidez, equilíbrio, doçura, limpeza de xícara, uniformidade e impressão pessoal, podem ser usados para avaliação de cafés arábicas e canéforas, sem demérito em função do tipo de café.

Além disso, deve-se repensar a formação profissional dos degustadores de cafés, tendo como base a própria instrução normativa do Ministério da Agricultura que determina o processo de controle da qualidade para cafés no Brasil.

Neste sentido, a organização da classe dos degustadores em torno da Associação Brasileira dos Degustadores de Cafés (ABCD), consiste em uma oportunidade de diálogo com a classe, as empresas, as indústrias e as universidades e institutos de pesquisa, para que em conjunto, estes profissionais consigam ajustar os processos de análise sensorial de cafés.

As particularidades inerentes de cada protocolo ou país sempre estarão em discussão, dificilmente encontraremos uma metodologia que seja eficaz para atender a demanda de todos. Porém, a principal reflexão que se faz neste momento, é que se tenha um protocolo que permita avaliar cafés arábicas e canéforas de igual modo, construindo uma forma de diálogo entre as metodologias existentes para melhoria do processo na cadeia produtiva do café.

Assim, será possível pensarmos em um processo que permita uma formação técnica mais inclusiva, que atenda a demanda de todos os atores da cadeia produtiva do café e que estabeleça formas de corrigir defeitos e valorizar atributos inerentes a qualidade sensorial dos cafés.

Referências

ALLIANCE FOR COFFEE EXCELLENCE. **COE Rules & Protocols**. Disponível em: <https://allianceforcoffeexcellence.org/rules-protocols/>. Acesso em: 30 dez. 2023.

AUGUSTO, M. I. **Perfil sensorial do café conilon em função de interação de peneiras e estratégias de torra**. 2022. 53 f. Monografia (Bacharelado em Administração) - Instituto Federal do Espírito Santo, Venda Nova do Imigrante.

BATALI, M. E.; FROST, S. C.; LEBRILLA, C. B.; RISTENPART, W. D.; GUINARD, J. X. Sensory and monosaccharide analysis of drip brew coffee fractions versus brewing time. **Science of Food and Agriculture**, v. 100, p. 2953-2962, feb. 2020.

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**. p. 22-29, 2003.

CAUL, J. F. The Profile Method of Flavor Analysis. **Adv. Food Res.**, v. 7, p. 1–40, jan. 1957.

CHENG, B.; FURTADO, A.; SMYTH, H. E.; HENRY, R. J. Influence of genotype and environment on coffee quality. **Trends Food Sci. Technol**, v. 57, p. 20-30, nov. 2016.

COFFEE QUALITY INSTITUTE. **Q Fine Robusta Standards and Protocols**. Disponível em: <https://cdn.coffeestrategies.com/wp-content/uploads/2015/04/compiled-standards-distribute1.1.pdf>. Acesso em: 30 set. 2023.

CROIJMANS, I.; MAJID, A. Not all flavor expertise is equal: The language of wine and coffee experts. **PLoS One**, v. 11, p. 1-21, jun. 2016.

FARAH, A.; MONTEIRO, M. C.; CALADO, V.; FRANCA, A. S.; TRUGO, L. C. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, v. 98, n. 2, p. 373-380, feb. 2006.

LANNARIO, M.; MANISERA, M.; PICCOLO, D.; ZUCCOLOTTO, P. Sensory analysis in the food industry as a tool for marketing decisions. **Adv. Data Anal. Classif**, v. 6, p. 303-321, oct. 2012.

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. **Sensory evaluation of food principles and practices**. 2. ed. New York, NY: Springer, 2010. 596 p.

LEME, D. S. **Sistema computacional para integração de dados na análise de cafés especiais**. 2016. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Automação) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LINGLE, T. R. **The Coffee Cupper's Handbook: a systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor**. Long Beach, California: Specialty Coffee Association of America, 2011. 78 p.

LINGLE, T. R.; MENON, S. N. Cupping and Grading—Discovering Character and Quality. In: FOLMER, B. (ed.). **The Craft and Science of Coffee**, London, United Kingdom: Academic Press, 2017, p.181-203.

MALTA, M. R.; ROSA, S. D. V. F.; LIMA, P. M.; FASSIO, L. O.; SANTOS, J. B. Alterações na qualidade do café submetido a diferentes formas de processamento e secagem. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 5, p. 431-440, oct. 2013.

MONTEIRO, M. A. M. **Caracterização sensorial da bebida de café (*Coffea arabica* L.): análise descritiva quantitativa, análise tempo-intensidade e testes afetivos**. 2002. 108 f. Tese (Doutorado em Ciência e tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NONENMACHER JÚNIOR, L. A.; PEREIRA, L. L.; ANZANELLO, M. J. Proposição de alternativas de treinamento de degustadores em um painel sensorial utilizando índices de desempenho. **Revista Ifes Ciência**, v. 6, n. 3, p. 134-146, dec. 2020.

PAIVA, E. F. F. **Análise sensorial dos cafés especiais do Estado de Minas Gerais**. 2005. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PEREIRA L. L.; CARDOSO, W. S.; GUARÇONI, R. C.; FONSECA, A. F. A. da; MOREIRA, T. R.; CATEN, C. S. T. The consistency in the sensory analysis of coffees using Q-graders. **European Food Research and Technology**, v. 243, n. 9, p. 1545-1554, mar. 2017.

PEREIRA, L. L.; GUAÇONI, R. C.; SOUZA, G. S.; BRIOSCHI JUNIOR, D.; MOREIRA, T. R.; CATEN, C. S. T. Propositions on the Optimal Number of Q-Graders and R-Graders. **Journal of Food Quality**, v. 2018, n. 1, p. 3285452, feb. 2018.

PEREIRA, L. L.; GUARÇONI, R. C.; MOREIRA, T. R.; SOUZA, L. H. B. P.; CARDOSO, W. S.; MORELI, A. P.; SILVA, S. F.; CATEN, C. S. T. Very beyond subjectivity: The limit of accuracy of Q-Graders. **Journal of Texture Studies**, v. 50, p. 172-184, jan. 2019.

REVI, I. Coffee Cupping: Evaluation of Green Coffee Quality. In: FARAH, A. (ed.). **Coffee Production, Quality and Chemistry**. The Royal Society of Chemistry, 2019. p. 335-360.

SAMOGGIA, A.; RIEDEL, B. Coffee consumption and purchasing behavior review: Insights for further research. **Appetite**, v. 129, p. 70-81, oct. 2018.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Café: classificação e degustação**. Brasília, DF: SENAR, 2017. 112p.

SIDEL, J. L.; STONE, H. The role of sensory evaluation in the food industry. **Food Quality and Preference**, v. 4, n. 1-2, p. 65-73, sep. 1993.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. **Protocols and Best Practices**. 2003. Disponível em: <https://sca.coffee/research/coffee-standards>. Acesso em: 15 jul. 2023.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. **Coffee Taster's Flavor Wheel**. 2023. Disponível em: <https://sca.coffee/research/coffee-tasters-flavor-wheel>. Acesso em: 15 jul. 2023.

STURM, G. M. **Qualidade física e sensorial de *coffea canephora* L. relacionadas á altitude, estágio de maturação e preparo pós-colheita**. 2012. 83 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre.

SUNARHARUM, W. B.; WILLIAMS, D. J.; SMYTH, H. E. Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. **Food Research international**, v. 62, p. 315-325, aug. 2014.

TEIXEIRA, A. A. Classificação do café. In: ZAMBOLIM, L. (ed.). ENCONTRO SOBRE PRODUCAO DE CAFE COM QUALIDADE, 1999, Vicoso, MG. Livro de palestras [...]. Vicoso: UFV, Departamento de Fitopatologia, 1999. p.81-95.

UGANDA COFFEE DEVELOPMENT AUTHORITY. **Robusta Cupping Protocol, 2010**. Disponível em: <http://www.ico.org/documents/pscb-123-e-robusta.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2023.



Capítulo 4

Recentes desenvolvimentos e potencial da espectroscopia no infravermelho próximo para tipificação de cafés Robustas Amazônicos especiais

*Michel Rocha Baqueta,
Francisco Lucas Chaves Almeida,
Patrícia Valderrama,
Juliana Azevedo Lima Pallone*

Introdução

O consumo de café tem relações positivas com prevenção de diversas doenças e bem-estar emocional, além das propriedades estimulantes (Esquivel; Jiménez, 2012; Rodríguez-Artalejo; López-García, 2018). Alguns destes efeitos benéficos são mencionados na Figura 1. Contudo, o café deixou de ser uma bebida apenas de consumo diário para ser uma bebida apreciada em momentos especiais. Na maioria dos locais onde há pessoas, há também café. Este café, geralmente servido com cor forte e sabor amargo, tem dado espaço para novos sabores e aromas ainda pouco conhecidos pela população em geral, oportunizando os consumidores a experimentar um café especial. Um dos novos cafés especiais que está se popularizando é o Robusta Amazônico.

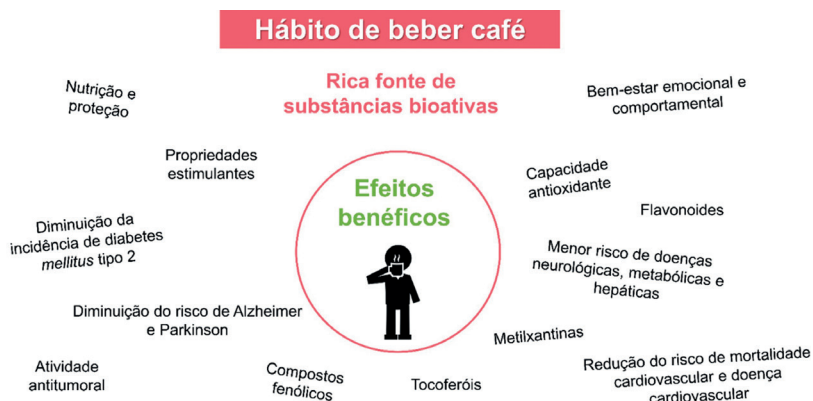


Figura 1. Efeitos benéficos associados ao consumo moderado de café.

O Robusta Amazônico é um café cultivado na região Amazônica do Brasil, mais especificamente no estado de Rondônia na Região Norte do país (Francisco et al., 2021) which are natural intervarietal hybrids of Conilon and Robusta. The impact of genetic diversity and environment on these compounds was also evaluated. Five genotypes (clones 03, 05, 08, 25, and 66. A Figura 2 mostra cafeeiros de Robusta Amazônico de uma fazenda sustentável de Rondônia, pertencendo a família Bento na cidade de Cacoal. É possível visualizar o ciclo do café, desde as flores até os frutos maduros num alto grau de maturação, com cor vermelha intensa, assim como as características físicas das plantas.

O Robusta Amazônico é uma denominação dos cafés cultivados na região Amazônica. São plantas da espécie *Coffea canephora*, oriundas do cruzamento natural entre as variedades botânicas robusta e conilon. O Robusta Amazônico é conhecido por seu perfil de sabor único, que se caracteriza por sua acidez média, corpo aveludado com notas de chocolate, nozes e especiarias. A produção de grãos de café Robusta Amazônico é frequentemente realizada utilizando métodos sustentáveis. Muitos cafeicultores da região Amazônica utilizam técnicas agroflorestais, que envolvem o plantio de cafezais ao lado de outras culturas e árvores. Isto ajuda a promover a biodiversidade e a saúde do solo, além de reduzir o uso de fertilizantes e agrotóxicos (Caferon, 2019; Zacharias et al., 2021).

Os grãos de café Robusta Amazônico estão se tornando cada vez mais populares entre os consumidores de cafés especiais que estão à procura de sabores novos e únicos. No entanto, ainda é um café relativamente novo que tem sido difundido principalmente nos últimos cinco anos.

O presente capítulo apresenta os aspectos gerais do canéfora e a relevância do café Robusta Amazônico neste contexto. Um panorama científico é mostrado e uma análise bibliométrica das pesquisas das últimas décadas é apresentada para embasar as discussões. Técnicas de espectroscopia portátil e de bancada operando na região do infravermelho próximo (NIR – do inglês, *Near Infrared*) são introduzidas e aplicadas para tipificação de cafés Robustas Amazônicos de cafeicultores indígenas e cafeicultores tradicionais de Rondônia. Os resultados obtidos através dos espectros são discutidos e as tendências no uso deste tipo de técnica analítica na avaliação do café Robusta Amazônico são consideradas. A importância da quimiometria para trabalhar com técnicas espectrais é mencionada. Também são expostos estudos já publicados para analisar os Robustas Amazônicos com espectroscopia no NIR realizados por nosso grupo de pesquisa.



Foto: Michel Rocha Baqueta

Figura 2. Cafeeiros de Robusta Amazônico em uma fazenda sustentável de Cacaoal em Rondônia.

Cenário do café canéfora

Apesar da ascensão do Robusta Amazônico, a espécie canéfora sempre foi inferiorizada no cenário mundial do café (Costa, 2020). As características químicas mais marcantes do canéfora que influenciam seu aroma e sabor (amargor, baixa acidez e aroma neutro) foram depreciadas ao longo da história cafeeira, recebendo menos interesse e tendo menor valor comercial. Por ser caracterizada por um teor de sólidos solúveis mais expressivo, trazendo mais rendimento a um menor custo,

o café canéfora vem sendo destinado a produção de café solúvel, além de servir para baratear *blends* com café arábica (Fiorott; Sturm, 2015; Souza et al., 2021).

Porém, grande parte da má reputação do café canéfora é resultado da falta de cuidado durante as etapas de colheita e pós-colheita dos grãos, que resulta na presença de inúmeros defeitos que depreciam a qualidade da bebida e seu preço, e não da qualidade inerente à espécie canéfora. A Figura 3, ilustra a evolução de um café canéfora tradicional para um Robusta Amazônico. Diferentes fatores foram decisivos para mudar o conceito de má qualidade que era até então atribuído a espécie canéfora, inclusive a criação do primeiro protocolo internacional de degustação de canéfora especial em 2010 (Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda, 2010). Atualmente, os Robustas Amazônicos progrediram tanto que estão atingindo padrões de qualidade à um nível igual ou até mesmo superior aos cafés especiais da espécie arábica (Alves et al., 2020; Souza et al., 2021; Manfrin Artêncio et al., 2023) por via úmida ou seca, ocorrem processos fermentativos. Estes, podem ser naturais ou induzidos e influenciam a qualidade de bebida. O objetivo desse trabalho foi testar o efeito de métodos de fermentação anaeróbica sobre a qualidade de bebida do Robusta Amazônico (*Coffea canephora*). Estes cafés podem ser uma escolha para os consumidores que preferem um café com sabores e aromas diferenciados, encorpado e que desejam um maior teor de cafeína, pois os cafés da espécie canéfora podem oferecer até duas vezes mais cafeína do que o arábica (Lemos et al., 2020).

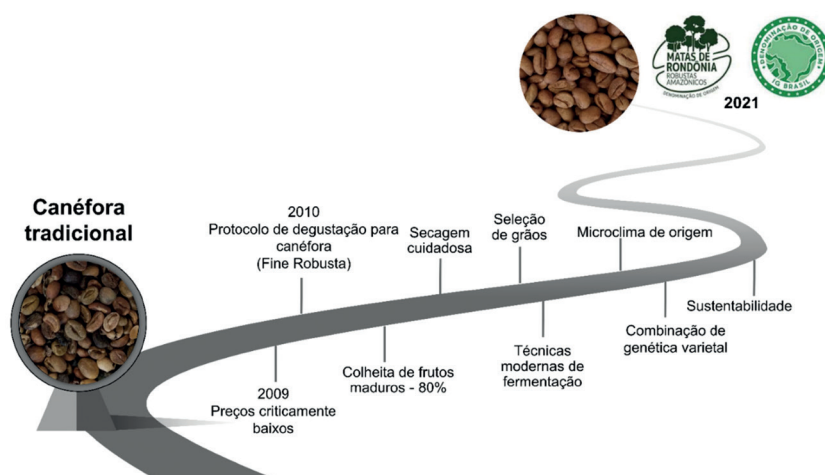


Figura 3. Evolução na qualidade do café canéfora mostrando uma amostra de café canéfora tradicional com defeitos, os fatores envolvidos na mudança da percepção acerca da espécie canéfora e por fim um café Robusta Amazônico especial e sem defeitos seguido dos selos da IG Matas de Rondônia.

Evolução do robusta amazônico e indicação geográfica

Pesquisadores brasileiros têm se empenhado ao longo dos últimos anos para estudar o Robusta Amazônico em diferentes aspectos (Souza et al., 2018; Alves et al., 2020; Dalazen et al., 2020). Contudo, os robustas de Rondônia evoluíram tanto que receberam em 2021 o registro de indicação geográfica (IG) do tipo denominação de origem (DO), resultado de suas inerentes características e da sustentabilidade envolvida na produção. Os Robustas Amazônicos são produzidos na região da IG Matas de Rondônia, que é composta por 15 municípios produzindo cerca de 2 milhões de sacas de café anualmente (Brazil, 2021a; Zacharias et al., 2021). A partir deste marco, há um olhar mais instigante para o potencial dos Robustas Amazônicos, pois são pouco estudados e possuem muitas peculiaridades a serem exploradas, como a diferenciada cafeicultura tradicional e indígena (Baqueta et al., 2023a), a disponibilidade de híbridos intervarietais naturais (Francisco et al., 2021) e de novos cultivares (Teixeira et al., 2020).

O Caderno de Especificações Técnicas do café Robusta Amazônico diz que:

Os cafés da Denominação de Origem Matas de Rondônia são produzidos exclusivamente a partir de cultivares de cafés da espécie *Coffea canephora*. A base genética das plantas dessa espécie é de natureza híbrida a partir de clones resultantes do cruzamento entre as variedades Conilon e Robusta selecionadas de forma empírica pelos próprios produtores locais. A consequência desse cruzamento foi um café diferenciado, que passou a ser chamado de Robustas Amazônicos. O perfil sensorial do café produzido na região é caracterizado pela presença dos descritores: doce, chocolate, amadeirado, frutado, especiaria, raiz e herbal.

A cadeia produtiva do café nas Matas de Rondônia inclui produtores indígenas, familiares, orgânicos e empresariais com foco na produção sustentável (Caferon, 2019).

Produção de robusta amazônico por indígenas

Além dos cafeicultores tradicionais que iniciaram o cultivo de café em Rondônia, cafeicultores indígenas produzem Robustas Amazônicos especiais e sustentáveis que atualmente são comercializados no mercado como microlotes, com apelo de origem diferenciada e indígena, sabores exóticos e sustentabilidade florestal.

A delimitação geográfica da Região das Matas de Rondônia, os municípios que a compõem e a localização das duas terras indígenas podem ser observadas na Figura 4. Diferente dos cafeicultores tradicionais, as famílias indígenas produtoras de café no estado, cerca de 132 no total, habitam na delimitação da IG, localizadas na Terra Indígena Sete de Setembro, no município de Cacoal, e Terra Indígena Rio Branco, em Alta Floresta D'Oeste (Zacharias et al., 2021). Eles produzem o café em meio à floresta amazônica com uma diversidade natural que desempenha um fator importante no reconhecimento destes cafés.



Figura 4. Ilustração com o mapa do Brasil, estado de Rondônia, delimitação da região da IG Matas de Rondônia e das terras indígenas onde o café Robusta Amazônico é cultivado.

Panorama científico dos robustas da amazônia

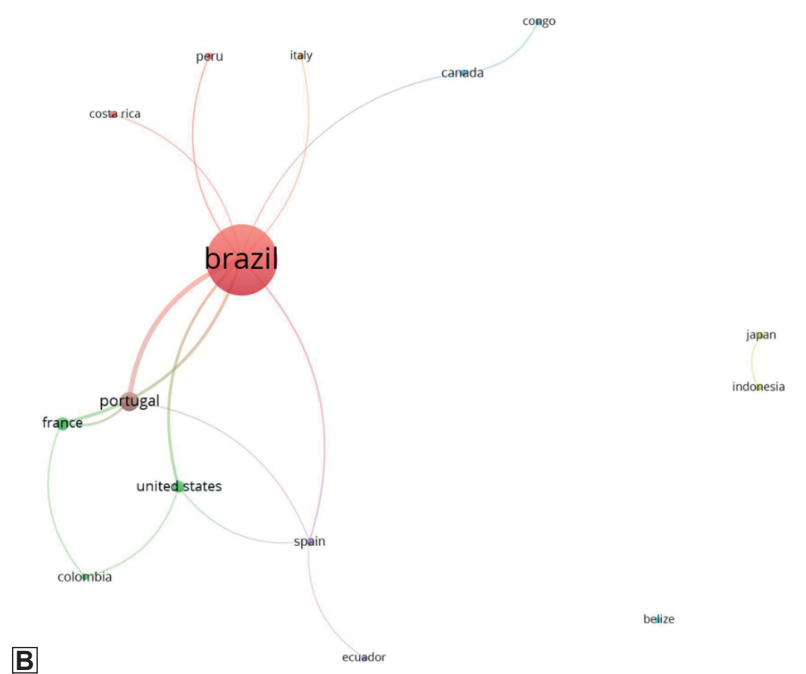
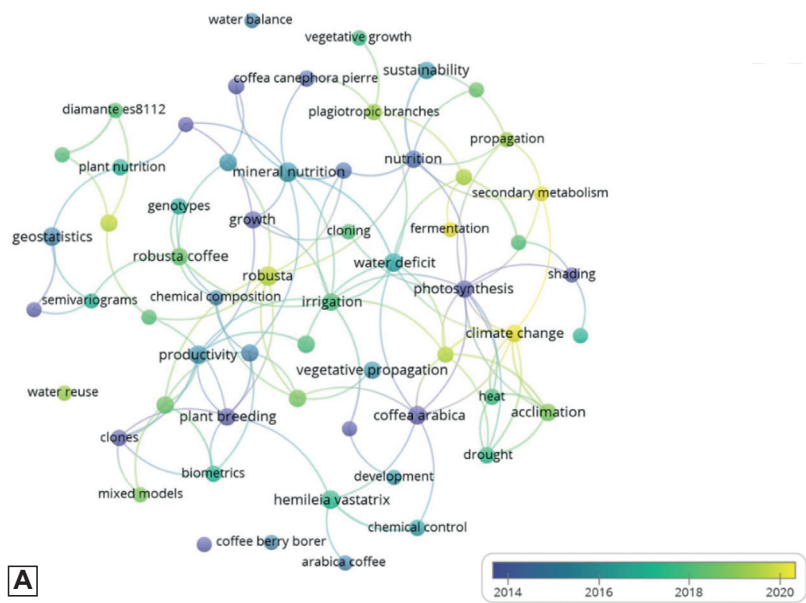
Muitos esforços têm sido feitos para entender mais sobre os Robustas Amazônicos. Contudo, pesquisas visando uma caracterização química ainda são limitadas devido a sua recente introdução no cenário dos cafés especiais. A literatura científica atual (Souza et al., 2018, 2021; Alves et al., 2020; Dalazen et al., 2020; Teixeira et al., 2020; Moraes et al., 2021; Francisco et al., 2021; Lourenço et al., 2022; Francisco et al., 2023) fornece mais informações sobre efeitos de variedade genética, clones, ge-

nótipos ou híbridos de robusta e/ou conilon na qualidade sensorial da bebida do que dados sobre a composição química dos grãos ou da bebida. Baseado nesta busca, verifica-se que faltam pesquisas mais amplas e genéricas para dar uma visão geral do Robusta Amazônico, bem como para contrastar as similaridades e diferenças entre cafés com outras qualidades. O café Robusta Amazônico, assim como todos os canéforas especiais, são um quebra-cabeça a ser estudado.

Análise bibliométrica

A fim de avaliar a perspectiva científica do café Robusta Amazônico, análises bibliométricas foram realizadas pelos autores deste estudo. Termos de busca como “Robusta Amazônico”, “Amazonian Robusta”, “Specialty Robusta”, “Fine Robusta Coffee”, “Brazilian *Coffea canephora*”, “Brazilian Canephora coffee”, “Conilon”, “Specialty Canephora”, “canéfora especial”, “canéfora” e “Uganda Coffee Development Authority” foram usados para realizar a pesquisa.

Uma primeira análise bibliométrica (Figura 5) não mostrou o termo “Robusta Amazônico” na pesquisa com mais de 300 documentos (artigos e revisões), mas sim o termo “Robusta” e uma associação com diferentes termos. Nos últimos anos, o termo “Robusta” tem sido associado com “fermentação”, “mudança climática” e “metabolismo secundário”, conforme é possível ver os pontos amarelos na Figura 5A. Muitos termos como “produtividade, nutrição, cultivo, deficiência hídrica, clone e irrigação” foram associados ao termo “Robusta”, e enfatizam a discussão acima. O termo “composição química” está intimamente relacionado ao termo “Robusta”. Estes resultados revelam como o tema “Robusta Amazônico” é ainda novidade no cenário científico. A Figura 5B mostra que o Brasil lidera na pesquisa de café canéfora, indicando a singularidade e importância no contexto da pesquisa brasileira e mundial. Por fim, a Figura 5C, na qual pontos compartilhando a mesma cor indicam uma relação, mostra os pesquisadores que se destacam, evidenciando assim relações entre pesquisadores brasileiros que estudam o café conilon no Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) como Romário Gava Ferrão (Ferrão, R.G.), Aymbiré Francisco Almeida da Fonseca (Da Fonseca, A.F.A.) e Maria Amélia Gava Ferrão (Ferrão, M.A.G.), e outros como Fábio Luiz Partelli (Partelli, F. L.) que é professor pesquisador na Universidade Federal do Espírito Santo. Há pesquisadores do café de Rondônia relacionados, como Marcelo Curitiba Espindula (Espindula, M.C.), Rodrigo Barros Rocha (Rocha, R.B.) e Alexsandro Lara Teixeira (Teixeira, A.L.). A Figura 5D revela um aumento no número de publicações acerca deste tema ao longo das últimas décadas.



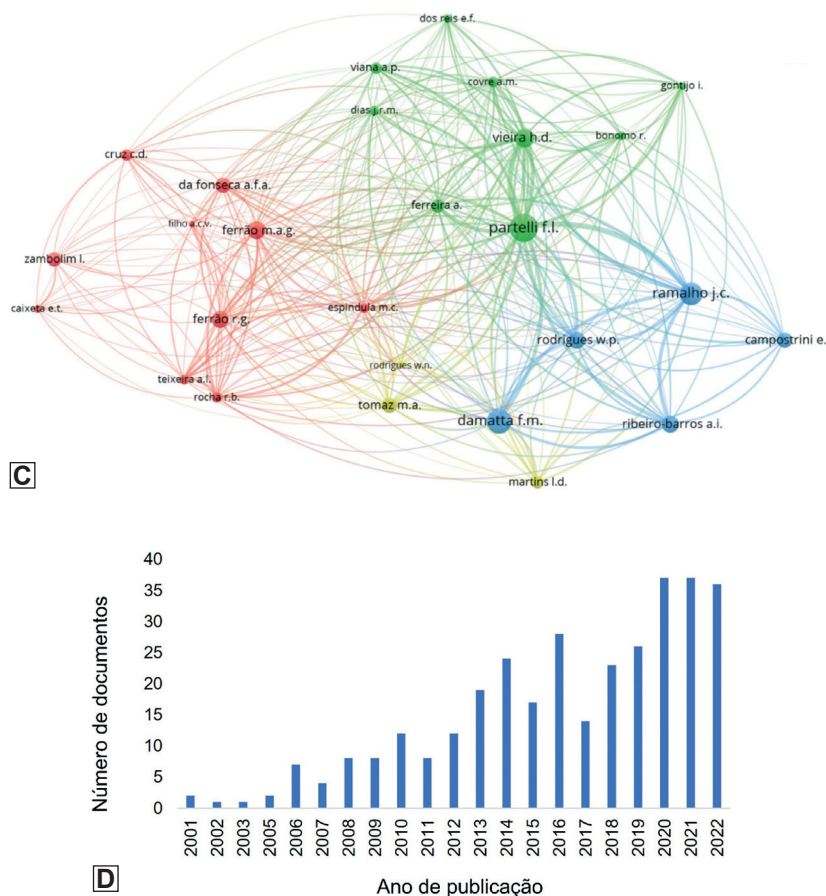
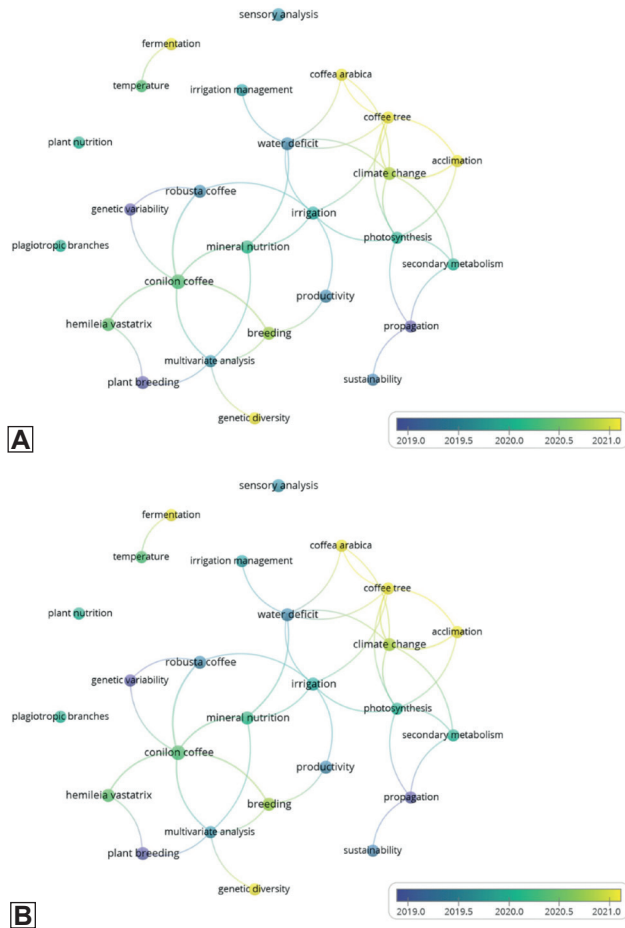


Figura 5. Análise bibliométrica com todos os trabalhos mostrando as redes com a ocorrência de palavras-chave em artigos da plataforma Scopus (A), os países que destacam nestas publicações (B), os autores (C) e número de publicações sobre o tema nos últimos anos (D).

A primeira análise bibliométrica forneceu o estado-da-arte sobre o tema canéfora abordando diversos aspectos. Contudo, essa estratégia pode encobrir os últimos achados importantes que podem ser relevância para entender o caminho atual da pesquisa do café canéfora. Portanto, uma segunda análise bibliométrica foi realizada com as mesmas palavras-chave, mas empregando-se uma estratégia de recorte temporal para os últimos cinco anos (2018–2022) do estado atual da pesquisa científica (Figura 6). Essa nova estratégia selecionou 159 estudos.

Verificou-se que algumas palavras têm relação com o tema principal deste capítulo, como “análise sensorial” e “análise multivariada” apareceram na nuvem

de palavras (Figura 6A). Também foi visto “Conilon” e Robusta”, um importante aspecto do canéfora, pois estas são duas variedades botânicas distintas da espécie (Francisco et al., 2023). Contudo, as palavras-chave “Conilon” e Robusta” foram intimamente relacionadas a termos agrônômicos, assim como na análise anterior. Já o café arábica foi relacionado nos últimos anos a termos como “diversidade genética” e “fermentação”. As pesquisas deste período também colocam o Brasil na liderança de estudo (Figura 6B). Muitos dos autores destacados nas publicações das últimas décadas na primeira análise bibliométrica também foram destacados nas publicações atuais dos últimos cinco anos. Contudo, outros nomes, como do professor pesquisador Lucas Louzada Pereira (Pereira, L.L.) do Instituto Federal do Espírito Santo foram destacados neste período (Figura 6C). De 2018 para 2022, houve um aumento na pesquisa deste tema (Figura 6D).



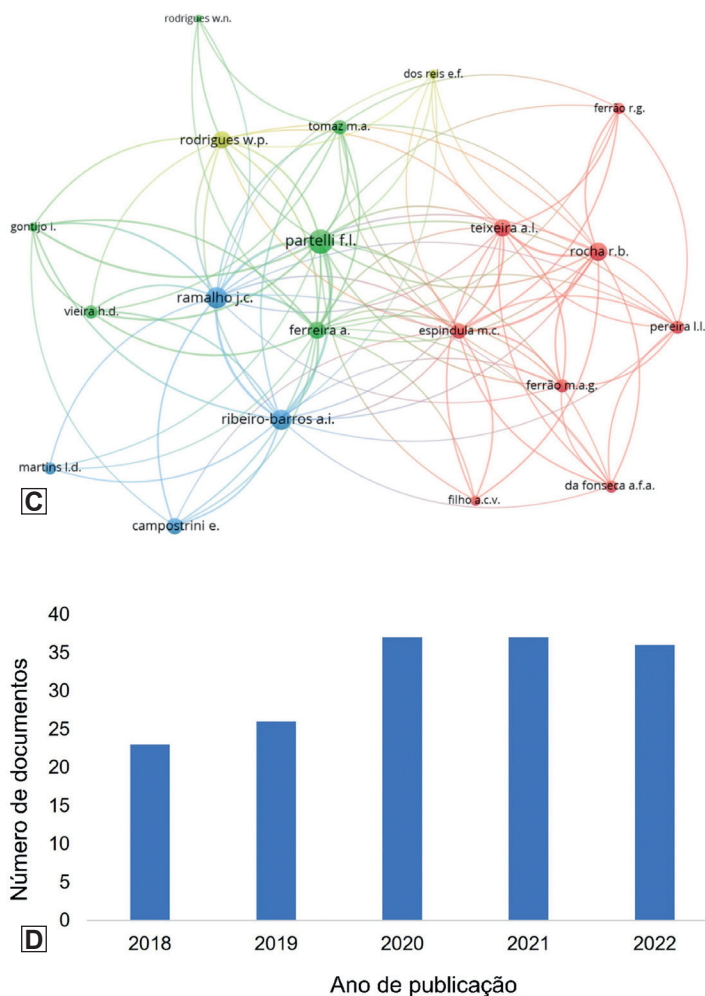


Figura 6. Análise bibliométrica com recorte temporal para os últimos cinco anos (2018-2022) mostrando as redes com a coocorrência de palavras-chave em artigos da plataforma Scopus (A), os países que destacam nestas publicações (B), os autores (C) e número de publicações sobre o tema nos últimos anos (D).

De maneira geral, esta pesquisa bibliométrica indica que embora existam trabalhos relacionados ao tema, a expressão “Robusta Amazônico ou Amazonian Robusta” ainda não é utilizada de forma difundida pelos autores em partes importantes dos trabalhos (título, resumo, palavras-chave), uma vez que, mesmo havendo publicações sobre tal (Souza et al., 2018, 2021; Alves et al., 2020; Dalazen

et al., 2020; Teixeira et al., 2020; Francisco et al., 2021, 2023; Morais et al., 2021; Lourenço et al., 2022), uma busca na base de dados Scopus utilizando “Robusta Amazônico ou Amazonian Robusta” como expressão de busca, fornece menos de cinco documentos. Assim, uma sugestão é que novos trabalhos busquem citar essa expressão em português ou em inglês “Amazonian Robusta” em uma das partes principais utilizadas como locais de busca por outros pesquisadores (por exemplo, título, resumo, palavras-chave), facilitando assim o acesso a trabalhos sobre esse tema e consequentemente a difusão do conhecimento.

Certificação de café tradicional e alternativas espectrais

A instrumentação analítica moderna é muito útil para avaliar a identidade do café, como para os Robustas Amazônicos. Muitas técnicas analíticas evoluíram e têm sido propostas para complementar os métodos tradicionais de análise para caracterização e certificação do café (Baqueta et al., 2020). A análise direta do café em suas diferentes formas, incluindo o grão verde ou torrado intacto, ou propriamente do pó de café verde ou torrado e moído é um dos principais avanços, sem necessitar de métodos de extração e separação de compostos individuais (Baqueta et al., 2020, 2021a).

Com a evolução dos Robustas Amazônicos, é imperativo que um sistema de certificação da indicação geográfica seja elaborado para rigorosamente triar e certificar as características esperadas do café. Contudo, a responsabilidade da certificação de cafés no Brasil está a cargo dos próprios cafeicultores e cooperativas. Isto implica em uma situação crítica, já que muitas vezes eles não possuem conhecimento técnico e experiência para desenvolvimento de métodos de análise e testes desse tipo, realizando apenas a análise física e sensorial dos grãos, para emitir os laudos de origem (Brazil, 2021b). O Caderno de Especificações Técnicas do café Robusta Amazônico indica que há uma separação entre Robustas Amazônicos que atingem 80 pontos ou mais e sem defeitos, daqueles com menor pontuação e com defeitos. Estes outros Robustas Amazônicos devem atender uma classificação física até tipo 6, que significa no máximo 86 defeitos na amostra de 300 g, máximo de 5% de vazamento da peneira 13, sem fundo, até 1% de impureza, limpo de odores de mofo e fumaça, com teor de umidade máximo de 12,5% e pontuação sensorial mínima de 70 da metodologia *Specialty Coffee Association* (Caferon, 2019).

Considerando que as informações que a cooperativa dispõe para certificar o café Robusta Amazônico não são obtidas de maneira simples e imediata, outros testes em laboratórios podem ser realizados. Nesse sentido, técnicas mais objetivas baseadas em espectroscopia molecular, podem ser um caminho promissor para avaliação destes cafés em larga escala. Quando essas técnicas são empregadas, os dados espectrais obtidos fornecem uma impressão digital química das amostras e são combinados aos métodos estatísticos de análise multivariada ou quimiometria para sua avaliação, após o processo analítico. As informações obtidas são então interpretadas por especialistas em química ou ciência e tecnologia de alimentos, com conhecimento em espectroscopia e análise de dados. Essa sequência permite elaborar estratégias para análise de dados (coleta, preparação e combinação de informações para alimentar algoritmos estatísticos e matemáticos) (Pallone et al., 2018; Baqueta et al., 2020; Amigo, 2021). Além de fornecer informações úteis para caracterizar cafés, esse tipo de estratégia pode servir até mesmo como uma via de controle para assegurar a autenticidade de cada produtor mesmo dentro da região da IG.

A disponibilidade de uma alternativa espectral para certificação do café em vez do método tradicional se alinha à demanda da indústria 4.0, que vem inserindo o uso da inteligência artificial e Internet das Coisas (IoT) no acompanhamento de processos e produtos (Sebrae, 2023). Indústrias inteligentes priorizam a tomada de decisão imediata, analisando o produto de maneira rápida, economizando tempo entre o envio de amostra ao laboratório e realização de testes demorados, eliminando assim atrasos, aumentando a frequência de análise e otimizando todo o controle analítico. A inserção desse tipo de análise espectral na indústria atinge não só o setor de certificação e controle de qualidade, mas modifica a forma como se conduzem os negócios, abre novos mercados e aproxima a evolução tecnológica ao dia a dia de indústrias de grande importância, como a do café (Fulgêncio, 2023). A análise de dados inteligente, mais precisamente com quimiometria, cresce em ritmo acelerado devido a avalanche de dados produzidos por estas técnicas. Contudo, a análise bibliométrica mostrada anteriormente (Figura 5A) não trouxe informações sobre palavras-chave com espectroscopia e quimiometria associadas ao café canéfora, indicando que ainda há pouca informação associada a este tema.

Introduzindo a espectroscopia no infravermelho

O espectro eletromagnético é uma escala com diferentes radiações, onde a região do infravermelho é de grande importância para desenvolvimento de diversos tipos de estudos (Sankaran; Ehsani, 2014). A radiação eletromagnética no infravermelho apresenta energia em que ocorrem as vibrações moleculares. Já a espectroscopia na região do infravermelho é um tipo de espectroscopia vibracional que usa dessa energia e se popularizou na análise de alimentos, entre outras matrizes. Ela mede a vibração de moléculas com diferentes grupos funcionais em três regiões: infravermelho próximo (NIR) na região espectral de 780 a 2500 nm (ou 12821 a 4000 cm^{-1}); infravermelho médio (MIR), compreendendo a região de 2500 a 25.000 nm (ou 4000 a 400 cm^{-1}), e o infravermelho distante (FIR), menos usado, de 25000 a 1000000 nm (400 a 10 cm^{-1}) (Workman Jr & Weyer, 2012). O NIR e o MIR são os mais empregados para fins analíticos, tendo o NIR se destacado na área de alimentos.

Os espectros gerados na espectroscopia no infravermelho fornecem muitas informações sobre a composição de amostras. No processo analítico, é gerado um grande número de variáveis (comprimentos de onda) simultaneamente e o equipamento registra um espectro contínuo, considerando tanto a contribuição individual quanto as interações dos diferentes componentes químicos em uma amostra. O espectro resultante é um sinal representado por meio de um gráfico de dados contendo informações químicas, sendo único para cada amostra, assim como a impressão digital é única para cada pessoa. Desta forma, a análise estatística da característica espectral de uma amostra pode ser interpretada como uma impressão digital química propriamente dita (Ríos-Reina et al., 2021).

Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR)

Existem diferentes instrumentos disponíveis para trabalhar com espectroscopia e obter os espectros na região do NIR e eles podem ser muito úteis na tipificação, caracterização, discriminação, autenticação e controle de qualidade de café especial com apelos de origem e qualidade. A Figura 7 ilustra dois equipamentos de espectroscopia no NIR, sendo apresentado na Figura 7A um equipamento de bancada e na Figura 7B um portátil.

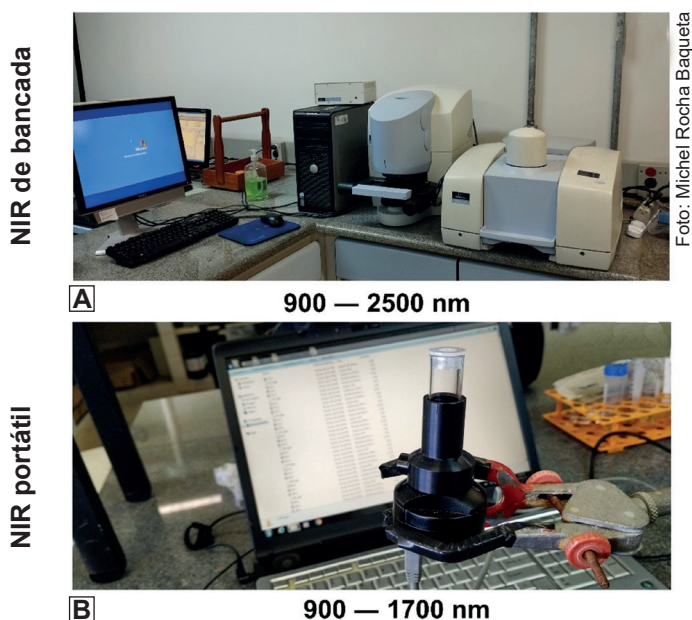


Figura 7. Versões de bancada (A) e portátil (B) de equipamentos comerciais que trabalham na região do NIR.

Há diferentes instrumentos disponíveis para obter o espectro no NIR, mas o mais comumente empregado é o equipamento tradicional (Figura 7A), de bancada. Por ser um instrumento robusto com diversos acessórios, a mobilidade não é uma tarefa simples e, portanto, seu uso para análise em campo é restritivo. Nos últimos anos houve uma tendência crescente no desenvolvimento da versão portátil desta espectroscopia, surgindo novas possibilidades de análise no campo e até mesmo no laboratório, com um equipamento mais barato que a versão tradicional (Beć et al., 2022). Um equipamento NIR portátil como este apresentado (Figura 7B), possui 45 mm de diâmetro e 42 mm de altura, pesando cerca de 60 g, sendo uma opção muito compacta.

A miniaturização da espectroscopia no NIR emergiu como uma tendência e tem feito um progresso substancial nos últimos anos, tornando-se mais acessível para a realidade de muitas indústrias, cooperativas e agências de controle que não possuem altos recursos econômicos. Na literatura, o NIR portátil tem simplificado uma série de problemas de análise em café (Correia et al., 2018, 2020; Baqueta et al., 2019, 2020, 2021b, 2023b; Boadu et al., 2023; Mutz et al., 2023).

A espectroscopia no NIR envolve a interação da radiação eletromagnética em comprimentos de onda na faixa de 780-2500 nm (ou 4000 - 10000 cm^{-1}) com a amostra. O espectro nesta região compreende regiões de absorções amplas, altamente sobrepostas e difíceis de interpretar ou atribuir bandas. Os espectros trazem informações decorrentes da absorção de radiação na região do NIR por moléculas orgânicas ao sofrerem uma mudança no momento dipolo como consequência de seu movimento vibracional ou rotacional. Os modos vibracionais fundamentais ativos no NIR envolvem a resposta e detecção das vibrações das ligações moleculares C-H, N-H, O-H e C=O, onde um átomo relativamente pesado (C, N ou O) está ligado a um átomo de hidrogênio (Workman Junior; Weyer, 2012; Pasquini, 2018). A composição química da amostra causa diferenças que se refletem nas vibrações, construindo assim um espectro característico para cada amostra (Ríos-Reina et al., 2021). A espectroscopia no NIR oferece resultado (espectro) de forma rápida, simples, sem preparação de amostra e de baixo custo quando comparada a técnicas sofisticadas. Ela também é mais fácil de implementar em escala industrial para mensurações em tempo real de produtos e processos (Catelani et al., 2018; Pires et al., 2021). Contudo, interpretar esses espectros para obter respostas específicas sobre a composição da amostra não é uma tarefa fácil.

Tipificação dos robustas amazônicos por NIR de bancada e NIR portátil

A Figura 8 mostra espectros de Robustas Amazônicas de cafeicultores indígenas e tradicionais obtidos no NIR de bancada e no NIR portátil pelos autores deste capítulo. Estes espectros foram obtidos diretamente nos cafés torrados e moídos, analisando, portanto, a amostra sólida. O NIR de bancada (1000-2500 nm) cobre uma faixa espectral mais larga de análise do que o NIR portátil (900-1700 nm) e, portanto, nem todas as informações adquiridas por um equipamento são adquiridas pelo outro. Há também uma diferença na resolução dos espectrômetros que fazem os espectros serem ligeiramente diferentes.

De maneira geral, os espectros no NIR dos Robustas Amazônicos (Figura 8) são muito semelhantes em quase toda a faixa para ambos equipamentos. Estes espectros são sinais que formam uma espécie de impressão digital ao longo dos diferentes comprimentos de onda. A forma do espectro segue sempre similar, mas há diferenças de bandas de absorção em quase toda a região espectral, para ambos os casos. Estes resultados inferem que mesmo com uma análise direta do pó de café, como no NIR, seja no equipamento de bancada ou portátil, os Robustas

Amazônicos de cafeicultores indígenas e cafeicultores tradicionais são diferentes do ponto de vista químico. Esta simples exploração visual dos dados NIR aponta que o tipo/origem do Robusta Amazônico (cafeicultor indígena ou não) tiveram um efeito nos espectros em ambos os equipamentos, mostrando diferenças nas absorções da energia no NIR.

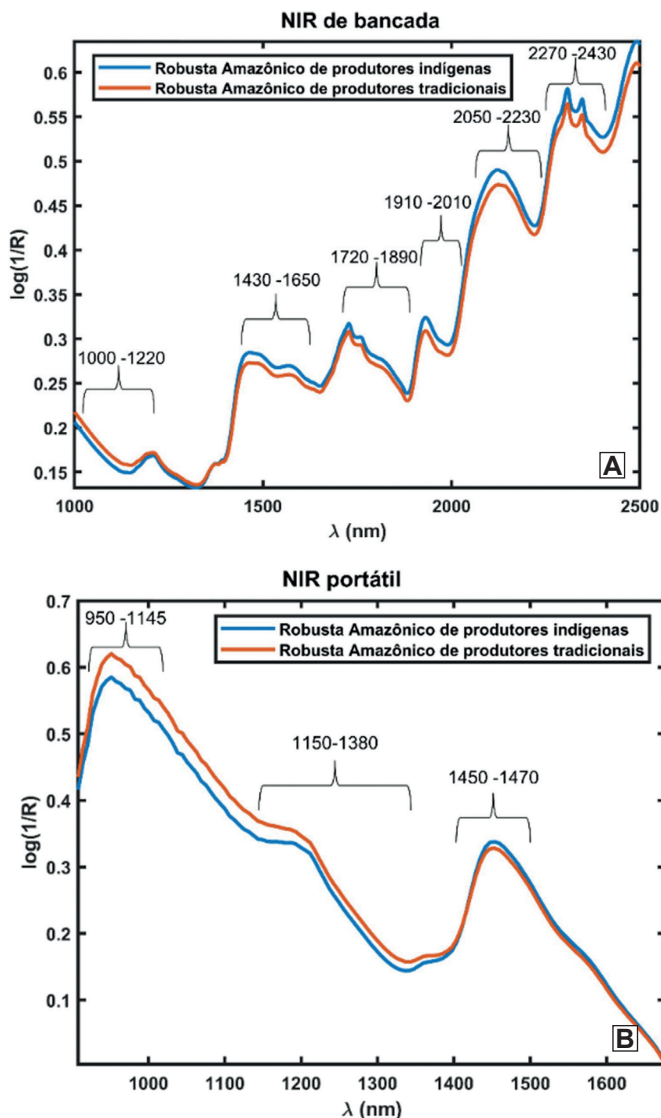


Figura 8. Espectros de amostras de Robustas Amazônicos cultivados por cafeicultores indígenas e tradicionais usando o NIR de bancada (A) e NIR portátil (B).

As faixas de absorção mais envolvidas para tipificação dos Robustas Amazônicos foram destacadas nos espectros da Figura 8. O NIR de bancada apresentou diferentes intensidades de absorções para cada café em muito mais regiões do que o observado para o NIR portátil, que foi menos específico. Quase todo o espectro no NIR portátil se comportou diferente entre os cafés com respeito a absorção. A Figura 9 traz a absorção no NIR dos principais compostos do café, cafeína, ácidos clorogênicos, proteínas, lipídeos, água e açúcares quando analisados nas mesmas condições de amostras, mas na forma pura obtida por meio de padrões analíticos de alta pureza de um estudo anterior (Ribeiro et al., 2011; Barbin et al., 2014). Isto ajuda o analista a interpretar os espectros no NIR e obter algumas observações superficiais. Contudo, em virtude da sobreposição de sinais característica do NIR, é difícil inferir conclusões específicas sobre a relevância individual de cada composto na caracterização, até porque o espectro é resultante dos compostos individuais e das interações entre eles. Em geral, açúcares e ácidos clorogênicos parecem ser os mais influentes para discriminação entre os cafés, pois apresentam intensas absorções em regiões que foram destacadas como de diferente intensidade nos espectros.

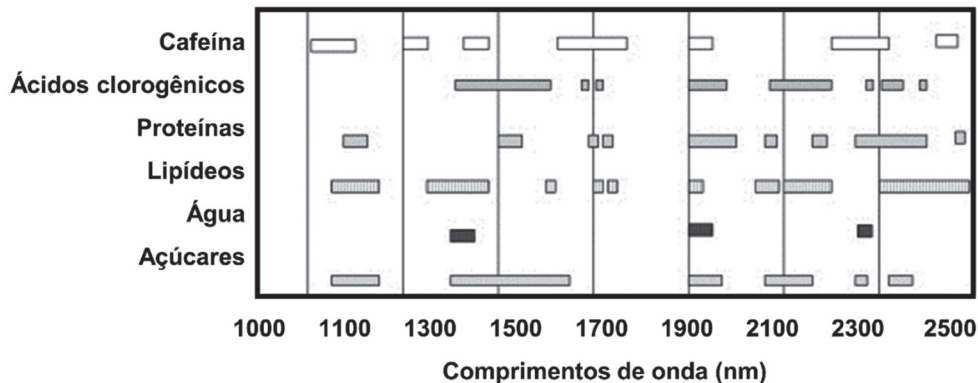


Figura 9. Absorções dos principais compostos do café na região do infravermelho próximo de 1000 a 2500 nanômetros.

Fonte: Adaptado de Barbin et al. (2014).

Recentemente, uma pesquisa realizada pelos autores deste capítulo (Baqueta et al., 2023b) demonstrou a utilidade da espectroscopia no NIR com a versão de bancada do equipamento para discriminar os cafés canéforas brasileiros, suas

origens, cultivares da Amazônia e as espécies canéfora e arábica. Um conjunto com 527 amostras foi analisado pela técnica em combinação com quimiometria. No primeiro momento, foi possível diferenciar os cafés canéforas dos arábicas, onde o fator espécie foi dominante. Outras diferenciações entre cultivares de Robusta, Conilon, híbrido e Robusta Apatã de Rondônia foram enxergadas pelos autores. Houve também uma discriminação entre os principais produtores de canéfora do Brasil: Espírito Santo, Bahia e Rondônia. Isto indicou que analisando diretamente as amostras na forma de café torrado e moído, a técnica possui potencial para diferenciar diretamente cultivares de canéfora usando uma análise mais simples do que aquelas usadas em programas de melhoramento genético para a identificação de genótipos de café, assim como para verificar a origem geográfica de cada canéfora.

Outro estudo desenvolvido recentemente pelos autores deste capítulo foi a comparação entre o NIR de bancada e o NIR portátil para discriminar os Robustas Amazônicos de cafeicultores indígenas e cafeicultores tradicionais (Baqueta et al., 2023a). Um outro estudo mais antigo introduziu a aplicação do NIR para discriminar cinco cultivares de canéfora, compreendendo três cultivares e dois híbridos de Conilon e Robusta de Rondônia quando ainda não havia o apelo atual para estes cafés (Luna et al., 2017).

A melhoria do controle de qualidade analítico por meio da análise espectroscópica no NIR vem para evitar a tomada de decisão inequívoca sobre a origem, qualidade ou características particulares esperada de um alimento especial, como um café Robusta Amazônico, utilizando métodos convencionais não muito informativos e reprodutivos, por exemplo, com a análise sensorial (Baqueta et al., 2021b). De fato, a análise sensorial tem desempenhado um papel importante no estudo de cafés especiais (Lingle; Menon, 2017), mas a tendência é aplicar técnicas analíticas, como a espectroscopia no NIR, que permitem a análise direta de um grande volume de amostras de forma confiável e rápida e, ao mesmo tempo, obter amplas informações sobre as características da amostra e se possível, de forma não destrutiva e até mesmo portátil. Além disso, outra vantagem destas técnicas é que elas não exigem um treinamento altamente especializado do analista para a obtenção de espectros de amostras, ao contrário da análise sensorial onde a experiência do provador tem um grande impacto sobre os resultados (Ríos-Reina et al., 2021).

Sinergia entre espectroscopia e quimiometria

A quimiometria é um campo interdisciplinar envolvendo análise multivariada, matemática e estatística, informática e química analítica que serve para extrair informações de forma eficiente usando análise de dados multivariados (Ríos-Reina et al., 2021). Existe uma forte ligação entre a espectroscopia no NIR e a quimiometria (Aleixandre-Tudo et al., 2022). Os resultados gerados pelos equipamentos trabalhando na região do NIR dependem da análise quimiométrica de dados para que sejam interpretados por meio de algoritmos especializados. É quase impossível interpretar este tipo de dado sem ajuda da quimiometria e, atualmente, a espectroscopia não pode ser aplicada como análise direta e objetiva sem esse recurso. Existem muitas ferramentas de quimiometria disponíveis para diferentes propósitos de análise. Mas em geral, a quimiometria é dividida em (i) calibração multivariada para prever uma concentração de interesse, (ii) análise de reconhecimento de padrões não-supervisada onde ocorre uma análise exploratória e (iii) análise de reconhecimento de padrões supervisionado onde acontece classificação e autenticação (Ferreira, 2015).

Dados espectrais são compostos por um grande número de variáveis que definem uma amostra, o que significa que o analista frequentemente tem que lidar com uma grande quantidade de números e a complexidade de trabalhar com eles. Com a ajuda da quimiometria, eles podem ser entendidos. A quimiometria fornece uma avaliação mais objetiva, extraindo as informações mais importantes dos dados químicos. A vantagem de associar a quimiometria a técnicas como o NIR é construir modelos quantitativos para prever características importantes de um alimento, como atributos sensoriais (Baqueta et al., 2019), grau de torra (Pires et al., 2021) ou outros parâmetros de importância pra indústria de café, como umidade e granulometria (Baqueta et al., 2020), ou classificar amostras de acordo com a origem, tipo, e espécie ou variedade (Baqueta et al., 2023b). Em particular, para o caso de tipificação do Robusta Amazônico, é importante verificar se uma amostra pertence ou não a uma classe específica (cafeicultor indígena ou não ou 80 pontos mais ou não).

O desafio atual para os Robustas Amazônicos é introduzir o potencial da quimiometria associada a espectroscopia NIR para os cafeicultores e para as associações envolvidas em proteger estes cafés, incentivando o desenvolvimento de mais métodos com essa tecnologia e gerando competitividade ao café no cenário dos cafés especiais com específicas indicações geográficas do Brasil.

Considerações finais

Os cafés Robustas Amazônicos são uma aposta promissora do Brasil no cenário mundial do café depois de muito tempo de desvalorização da espécie canéfora. Tais cafés têm quebrado paradigmas em respeito a qualidade sensorial, mas são poucos conhecidos na perspectiva química. A pesquisa bibliométrica apontou como há muitas lacunas para além dos parâmetros agronômicos a serem estudados nestes cafés e que a inclusão do termo de busca “Robusta Amazônico” em novos trabalhos pode ajudar a tornar o tema mais conhecido. Um novo olhar para o estudo destes cafés através da espectroscopia no NIR demonstrou sua utilidade em estudos anteriores e também no presente capítulo, demonstrando a aplicação da técnica para tipificação dos Robustas Amazônicos de cafeicultores indígenas e cafeicultores tradicionais mesmo a partir de uma análise visual do espectro. Algumas observações sobre o comportamento dos espectros e regiões de absorção dos principais compostos do café foram discutidas com base na literatura e revelaram como a análise desse tipo de técnica é informativa numa perspectiva de controle de qualidade. Não é uma tarefa fácil lidar com todas as questões específicas e típicas na interpretação dos dados analíticos obtidos na região do NIR, que é exatamente o campo temático da quimiometria. A análise profunda destes dados espectrais depende de um especialista e um propósito definido. Como perspectivas futuras, novos desenvolvimentos para análise dos cafés Robustas Amazônicos nos equipamentos NIR de bancada e portátil são uma via de estudo promissora, envolvendo predições de produtores específicos dentro da IG Matas de Rondônia, diferenciação entre cafés com mais de 80 pontos daqueles com menor pontuação, predição de atributos sensoriais dos cafés e controle de autenticidade, evitando possíveis fraudes.

Processos nº 2019/21062-0, 2022/04068-8 e 2022/03268-3, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processos nº 306606/2020-8, 402441/2022-2, e 310982/2020-0).

Referências

- ALEIXANDRE-TUDO, J. L.; CASTELLO-COGOLLOS, L.; ALEIXANDRE, J. L.; ALEIXANDRE-BENAVENT, R. Chemometrics in food science and technology: A bibliometric study. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 222, 104514, mar. 2022.
- ALVES, E. A.; SOUZA, C. A.; ROCHA, R. B.; PEREIRA, L. L.; LIMA, P. P.; LOURENÇO, J. L. R. Efeito da fermentação sobre qualidade da bebida do café robusta (*Coffea canephora*) cultivado na amazônia ocidental. **Revista Ifes Ciência**, v. 6, n. 3, p. 159-170, dez. 2020.
- AMIGO, J. M. Data mining, machine learning, deep learning, chemometrics: Definitions, common points and trends (Spoiler Alert: VALIDATE your models!). **Brazilian Journal of Analytical Chemistry**, v. 8, n. 32, p. 45–61, jul-sep. 2021.
- ARTÊNCIO, M. M.; CASSAGO, A. L. L.; SILVA, R. K. da; CARVALHO, F. M.; COSTA, F. B.; ROCHA, M. T. L.; GIRALDI, J. M. E. The impact of coffee origin information on sensory and hedonic judgment of fine Amazonian robusta coffee. **Journal of Sensory Studies**, v. 38, n. 3, e12827, mar. 2023.
- BAQUETA, M. R.; COQUEIRO, A.; VALDERRAMA, P. Brazilian Coffee Blends: A Simple and Fast Method by Near-Infrared Spectroscopy for the Determination of the Sensory Attributes Elicited in Professional Coffee Cupping. **Journal of Food Science**, v. 84, n. 6, p. 1247-1255, may. 2019.
- BAQUETA, M. R.; VALDERRAMA, P.; ALVES, A. Discrimination of Robusta Amazônico coffee farmed by indigenous and non-indigenous people in Amazon: comparing benchtop and portable NIR using ComDim and duplex. **Analyst**, v. 148, p. 1524-1533, feb. 2023b.
- BAQUETA, M. R.; ALVES, E. A.; VALDERRAMA, P.; PALLONE, J. A. L. Brazilian Canephora coffee evaluation using NIR spectroscopy and discriminant chemometric techniques. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 116, mar. 2023a.
- BAQUETA, M. R.; CAPORASO, N.; COQUEIRO, A.; VALDERRAMA, P. A Review of Coffee Quality Assessment Based on Sensory Evaluation and Advanced Analytical Techniques. In: KALSCHNE, D.; CORSO, M.; DIAS, D. (ed.). **Innovations in Coffee Quality**. 1. ed. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, 2020. p. 15–53.
- BAQUETA, M. R.; COQUEIRO, A.; MARÇO, P. H.; MANDRONE, M.; POLI, F.; VALDERRAMA, P. Integrated ¹H NMR fingerprint with NIR spectroscopy, sensory properties, and quality parameters in a multi-block data analysis using ComDim to evaluate coffee blends. **Food Chemistry**, v. 355, 129618, sep. 2021a.
- BAQUETA, M. R.; COQUEIRO, A.; MARÇO, P. H.; VALDERRAMA, P. Multivariate classification for the direct determination of cup profile in coffee blends via handheld near-infrared spectroscopy. **Talanta**, v. 222, 121526, jan. 2021b.

BAQUETA, M. R.; COQUEIRO, A.; MARÇO, P. H.; VALDERRAMA, P. Quality Control Parameters in the Roasted Coffee Industry: a Proposal by Using MicroNIR Spectroscopy and Multivariate Calibration. **Food Analytical Methods**, v. 13, n. 1, p. 50-60, may. 2020.

BARBIN, D. F.; FELICIO, A. L. S. M.; SUN, D. W.; NIXDORF, S. L.; HIROOKA, E. Y. Application of infrared spectral techniques on quality and compositional attributes of coffee: An overview. **Food Research International**, v. 61, p. 23–32, jul. 2014.

BEĆ, K. B.; GRABSKA, J.; HUCK, C. W. Miniaturized NIR Spectroscopy in Food Analysis and Quality Control: Promises, Challenges, and Perspectives. **Foods**, v. 11, n. 10, 1465, may. 2022.

BOADU, V. G.; TEYE, E.; AMUAH, C. L. Y.; LAMPTEY, F. P.; SAM-AMOA, L.K. Portable NIR Spectroscopic Application for Coffee Integrity and Detection of Adulteration with Coffee Husk. **Processes**, v. 11, n. 4, 1140, apr. 2023.

BRAZIL. **Brazilian coffees with geographical indication**. 2021a. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/indicacao-geografica/arquivos-publicacoes-ig/brazilian-coffees-with-geographical-indication>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BRAZIL. **Ficha técnica de registro de indicação geográfica - Café em grão Robusta Amazônico**. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/indicacoes-geograficas/arquivos/fichas-tecnicas-de-indicacoes-geograficas/MatasdeRondonia.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2023.

CAFEICULTORES ASSOCIADOS DA REGIÃO MATAS DE RONDÔNIA. **Caderno de especificações técnicas: café em grão “Robustas Amazônicos”**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/indicacoes-geograficas/arquivos/cadernos-de-especificacoes-tecnicas/MatasdeRondonia.pdf>. Acesso em 15 de julho de 2023.

CATELANI, T. A.; SANTOS, J. R.; PÁSCOA, R. N. M. J.; PEZZA, L., PEZZA, H. R.; LOPES, J. A. Real-time monitoring of a coffee roasting process with near infrared spectroscopy using multivariate statistical analysis: A feasibility study. **Talanta**, v. 179, p. 292–299, mar. 2018.

CORREIA, R. M.; TOSATO, F.; DOMINGOS, E.; RODRIGUES, R.R.T.; AQUINO, L.F.M.; FILGUEIRAS, P.R.; LACERDA, V.; ROMÃO, W. Portable near infrared spectroscopy applied to quality control of Brazilian coffee. **Talanta**, v. 176, p. 59-68, jan. 2018.

CORREIA, R.M.; ANDRADE, R.; TOSATO, F.; NASCIMENTO, M.T.; PEREIRA, L.L.; ARAÚJO, J.B.S.; PINTO, F.E.; ENDRINGER, D.C.; PADOVAN, M.P.; CASTRO, E.V.R.; PARTELLI, F.L.; FILGUEIRAS, P.R.; LACERDA, V.; ROMÃO, W. Analysis of Robusta coffee cultivated in agroforestry systems (AFS) by ESI-FT-ICR MS and portable NIR associated with sensory analysis. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 94, 103637, dec. 2020.

COSTA, B. D. R. Brazilian specialty coffee scenario. In: ALMEIDA, L.F.; SPERS, E. E. (ed.). **Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil: A Volume in the Consumer Science and Strategic Marketing Series**. Cambridge, United Kingdom: Woodhead Publishing, 2020. p. 51–64.

DALAZEN, J. R.; ROCHA, R. B.; PEREIRA, L. L.; ALVES, E. A.; ESPINDULA, M. C.; SOUZA, C. A. Beverage quality of most cultivated *coffea canephora* clones in the western amazon. **Coffee Science**, v. 15, n. 1, e151711. aug. 2020.

ESQUIVEL, P.; JIMÉNEZ, V. M. Functional properties of coffee and coffee by-products. **Food Research International**, v. 46, n. 2, p. 488–495, may 2012.

FERREIRA, M. M. C. **Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações**. 1. ed. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2015. 493p.

FIOROTT, A. S.; STURM, G. M. Café canéfora: em busca de qualidade e reconhecimento. In: MARCOLAN, A.L.; ESPINDULA, M.C. (ed.). **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p.427-431.

FRANCISCO, J. S.; DIAS, R. C. E.; ALVES, E. A.; ROCHA, R. B.; DALAZEN, J. R.; MORI, A. L. B.; BENASSI, M. T. Natural intervarietal hybrids of *Coffea canephora* have a high content of diterpenes. **Beverages**, v. 7, n. 4, p. 1-9, dec. 2021.

FRANCISCO, J. S.; PORTELA, C. S.; DALAZEN, J. R.; ROCHA, R. B.; ALVES, E. A.; MORI, A. L. B.; BENASSI, M. T. Diterpenos em cafés *Coffea canephora* híbridos naturais cultivados em Rondônia. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 1, p. 420–429, jan. 2023.

FULGÊNCIO, A. C. C. **Combinando modelos quimiométricos e portabilidade para o controle de qualidade de cerveja e outras bebidas fermentadas**. 2023. 173 f. Tese (Doutorado em Ciências – Química) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

LEMOES, M. F.; PEREZ, C.; CUNHA, P. H. P.; FILGUEIRAS, P. R.; PEREIRA, L. L.; FONSECA, A. F. A.; IFA, D.R.; SCHERER, R. Chemical and sensory profile of new genotypes of Brazilian *Coffea canephora*. **Food Chemistry**, v. 310, 125850, apr. 2020.

LINGLE, T. R.; MENON, S. N. Cupping and Grading—Discovering Character and Quality. In: FOLMER, B. (ed.). **The Craft and Science of Coffee**, London, United Kingdom: Academic Press, p.181-203, 2017.

LOURENÇO, J. L. R.; ROCHA, R. B.; ESPINDULA, M. C.; ALVES, E. A.; TEIXEIRA, A. L.; FERREIRA, F. M. Genotype × Environment Interaction in the Coffee Outturn Index of Amazonian Robusta Cultivars. **Agronomy**, v. 12, n. 11, 2874, nov. 2022.

LUNA, A. S.; SILVA, A. P.; ALVES, E. A.; ROCHA, R. B.; LIMA, I. C. A.; GOIS, J. S. Evaluation of chemometric methodologies for the classification of *Coffea canephora* cultivars via FT-NIR spectroscopy and direct sample analysis. **Analytical Methods**, v. 9, n. 29, 4255–4260, jun. 2017.

MORAIS, J. A.; ROCHA, R. B.; ALVES, E. A.; ESPINDULA, M. C.; TEIXEIRA, A. L.; SOUZA, C. A. Beverage quality of *Coffea canephora* genotypes in the western Amazon, Brazil. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 43, e52095, jul. 2019.

MUTZ, Y. S.; ROSARIO, D.; GALVAN, D.; SCHWAN, R. F.; BERNARDES, P. C.; CONTE-JUNIOR, C. A. Feasibility of NIR spectroscopy coupled with chemometrics for classification of Brazilian specialty coffee. **Food Control**, v. 149, 109696, jul. 2023.

PALLONE, J. A. L.; CARAMÊS, E. T. S.; ALAMAR, P. D. Green analytical chemistry applied in food analysis: alternative techniques. **Current Opinion in Food Science**, v. 22, p. 115–121, aug. 2018.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives – A review. **Analytica Chimica Acta**, v. 1026, p. 8–36, oct. 2018.

PIRES, F. C.; PEREIRA, R. G. F. A.; BAQUETA, M. R.; VALDERRAMA, P.; ROCHA, R. A. da. Near-infrared spectroscopy and multivariate calibration as an alternative to the Agtron to predict roasting degrees in coffee beans and ground coffees. **Food Chemistry**, v. 365, 130471, dec. 2021.

RIBEIRO, J. S.; FERREIRA, M. M. C.; SALVA, T. J. G. Chemometric models for the quantitative descriptive sensory analysis of Arabica coffee beverages using near infrared spectroscopy. **Talanta**, v. 83, v. 5, p. 1352–1358, fev. 2011.

RÍOS-REINA, R.; CAMIÑA, J. M.; CALLEJÓN, R. M.; AZCARATE, S. M. Spectralprint techniques for wine and vinegar characterization, authentication and quality control: Advances and projections. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 134, 116121, jan. 2021.

RODRÍGUEZ-ARTALEJO, F.; LÓPEZ-GARCÍA, E. Coffee Consumption and Cardiovascular Disease: A Condensed Review of Epidemiological Evidence and Mechanisms. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 21, p. 5257–5263, jan. 2018.

SANKARAN, S.; EHSANI, R. Introduction to the Electromagnetic Spectrum. In: MANICKAVASAGAN, A.; JAYASURIYA, H. (ed.). **Imaging with Electromagnetic Spectrum - Applications in Food and Agriculture**. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag Berlin, 2014. p.1-15.

SEBRAE. **A inteligência artificial chega à indústria de alimentos**. 2023. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/a-inteligencia-artificial-chega-a-industria-de-alimentos,34bcff793e497810VgnVCM1000001b00320aRCRD>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SOUZA, C. A.; ALVES, E. A.; ROCHA, R. B.; ESPINDULA, M. C.; TEIXEIRA, A. L. Perfis sensoriais dos cafeeiros cultivados na Amazônia Ocidental. In: PARTELLI, F. L.; PEREIRA, L. L. (ed.). **Café conilon: Conilon e Robusta no Brasil e no Mundo**. Alegre, ES: CAUFES, 2021. p.187–198.

SOUZA, C. A.; ROCHA, R. B.; ALVES, E. A.; TEIXEIRA, A. L.; DALAZEN, J. R.; FONSECA, A. F. A. Characterization of beverage quality in *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner. **Coffee Science**, v. 13, n. 2, p. 210–218, jun. 2018.

TEIXEIRA, A. L.; ROCHA, R. B.; ESPINDULA, M. C.; RAMALHO, A. R.; JÚNIOR, J. R. V.; ALVES, E. A.; LUNZ, A. M. P.; SOUZA, F. F.; COSTA, J. N. M.; FERNANDES, C. F. Amazonian robustas-new *Coffea canephora* coffee cultivars for the western brazilian amazon. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 3, p.1–5, jul-sep. 2020.

UCDA - UGANDA COFFEE DEVELOPMENT AUTHORITY. **Robusta Cupping Protocol, 2010**. Disponível em: <http://www.ico.org/documents/pscb-123-e-robusta.pdf> >. Acesso em 15 ago. 2023.

WORKMAN J.R., J.; WEYER, L. **Introduction to Near-Infrared Spectra. In Practical guide and spectral atlas for interpretive near-infrared spectroscopy**. 2. ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2012. 326p.

ZACHARIAS, A. O.; ROSA NETO, C.; ALVES, E. A.; SILVA, R. K. **Modelo de negócio: cafés especiais robustas amazônicos**. Brasília, DF: Embrapa/Sebrae, 2021. 15p.





Capítulo 5

Cafés canéfora híbridos intervarietais mais cultivados na Amazônia Ocidental: composição em bioativos hidrossolúveis e atividade antioxidante

*Julyene Silva Francisco,
Enrique Anastácio Alves,
Rodrigo Barros Rocha,
André Luiz Buzzo Mori,
Marta de Toledo Benassi*

Introdução

Entre as variedades botânicas do cafeeiro *Coffea canephora*, a variedade botânica Conilon se caracteriza por apresentar menor porte, ciclo de maturação precoce e maior resistência à seca. Já a variedade botânica Robusta se caracteriza pelo maior vigor e resistência a pragas e doenças, maturação tardia, e maior potencial para produção de bebida fina (Dalazen et al., 2019; Espindula et al., 2019; Ferrão et al., 2019b). No Brasil, ambas variedades botânicas são cultivadas comercialmente (Fiorott; Sturm, 2015), sendo que o cultivo do Conilon predomina nos estados do Espírito Santo e Bahia (Cafés de Rondônia, 2017; Teixeira et al., 2020), enquanto o cultivo do Robusta apresenta maior predominância na região Amazônica (Souza et al., 2015).

O cultivo deste cafeeiro na região Amazônica se caracteriza como uma atividade realizada em pequenas propriedades, que se beneficia pela proximidade com a floresta pela maior ocorrência dos polinizadores naturais. Atualmente, a renovação desses cafezais tem sido realizada com o cultivo de clones que apresentam um conjunto de características favoráveis (Souza et al., 2015), sendo que os clones cultivados no estado de Rondônia têm sido a base genética para a renovação de parques cafeeiros também em outras regiões da Amazônia Ocidental (Rocha et al., 2015; Espindula et al., 2017; Dalazen et al., 2019; Teixeira et al., 2020). Os cafezais de Rondônia se destacam pela presença de plantas das variedades botânicas

Conilon e Robusta e por plantas com características híbridas, provenientes do cruzamento dessas duas variedades (Silva et al., 2015; Ferrão et al., 2019a).

O cultivo de clones selecionados permite ao cafeicultor trabalhar com plantas que apresentam um conjunto de características agrônômicas favoráveis associado a períodos de maturação distintos, o que permite ampliar o período de colheita. A indústria apresenta diferentes destinações para este café produzido, podendo estes serem utilizados para produção de café solúvel, ou para produção de café torrado e moído puro ou em blends com o café arábica. Para o consumidor, o cultivo deste cafeeiro de maior adaptação às regiões tropicais permite acesso a novos produtos de boa qualidade a um custo acessível. Dessa forma, há valorização de toda a cadeia produtiva do café canéfora, com benefícios para o agricultor, indústria e consumidor (Alves, 2020; Teixeira et al., 2020; Moraes et al., 2021).

A bebida de café é uma rica fonte de compostos bioativos hidrossolúveis, como cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos (originários do café verde) e melanoidinas (formadas durante o processo de torra), que também impactam nas características sensoriais. O consumo regular e moderado de café apresenta efeitos benéficos para a saúde, tais como o melhor funcionamento cognitivo, favorecimento da microbiota intestinal, efeito hepatoprotetor, proteção cardiovascular e contra síndrome metabólica, e redução da incidência de doenças crônico-degenerativas (Butt; Sultan, 2011; Ludwig et al., 2014; Gaascht et al., 2015; Sarraguça et al., 2016; O'Keefe et al., 2018; Gökçen; Şanlıer, 2019; Hu et al., 2019; Lu et al., 2020; Moeenfar; Alves, 2020; Munyendo et al., 2021; Corbi-Cobo-Losey et al., 2023).

A composição do grão, e consequentemente a qualidade sensorial da bebida, são afetadas pela genética e pelas condições de cultivo do café. Em geral, o café canéfora é caracterizado por apresentar teores mais elevados de compostos bioativos, e, consequentemente, maior atividade antioxidante que o café arábica (Vignoli et al., 2014; Dias; Benassi, 2015; Portela et al., 2021; Velásquez; Banchón, 2023). No entanto, diferentemente da matriz de café arábica torrado, para a qual a literatura oferece grande volume de dados de composição, as informações sobre as variedades Conilon e Robusta são limitadas e muitas vezes mais voltadas para características agrônômicas. Uma quantidade ainda menor de trabalhos estudou as características dos híbridos intervarietais.

Nos últimos anos, os clones 08, 25, 03, 66 e 05 foram os mais cultivados no estado de Rondônia, estando presentes em 89%, 88%, 80%, 64% e 41% dos

cafezais respectivamente (Dalazen et al., 2019). Considerando que a cafeicultura clonal é muito dinâmica, observamos a adoção de novos clones. Como exemplo podemos citar os clones R22 e AS2 em uma demanda crescente para implantação de novas lavouras. Análises sensoriais realizadas em oito ambientes do estado de Rondônia mostraram que tanto os efeitos de genótipos e ambientes foram importantes para a expressão da qualidade desses clones mais cultivados (Dalazen et al., 2020); os ambientes (mesmos empregados nesse estudo) estão descritos na Tabela 1. Para os clones 08, 25, 03, 66 e 05 foi observado ainda um teor mais alto de diterpenos (compostos da fração insaponificável do café que tem impacto na qualidade de bebida) do que o usualmente descrito na literatura para cafés canéfora; a expressão desta característica foi influenciada tanto pela genética diferenciada quanto pelo efeito dos ambientes (Francisco et al., 2021; Francisco et al., 2023). Viencz et al. (2023) também observaram que cultivares com características híbridas entre as variedades botânicas Conilon e Robusta desenvolvidos pela Embrapa apresentavam perfil de composição diferenciado de genótipos característicos da variedade Robusta procedentes de banco de germoplasma, e se caracterizam pelos menores teores de cafeína e ácidos clorogênicos.

Neste cenário a quantificação dos compostos de reconhecida atividade biológica e que tem impacto nas características sensoriais das bebidas, fornece subsídios para o entendimento do desempenho diferencial dos genótipos mais cultivados na região Amazônica. A amplitude dos teores de cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos totais, melanoidinas, sequestro de radicais livres e capacidade redutora disponíveis na literatura para cafés canéfora, apresentadas na Tabela 2, permite avaliar os diferenciais desse material.

Material genético

Entre os cafés canéfora híbridos intervarietais naturais de Conilon e Robusta, foram selecionados para o estudo os clones 03, 08 e 25, sendo estes os três mais significativamente cultivados em Rondônia. Os cafés foram cultivados em oito diferentes ambientes de cultivo do oeste da Amazônia, que diferiam quanto à localização em Rondônia, altitude (de 86 a 381 m), temperatura média (de 23,1 °C a 26,0 °C) e precipitação anual (de 1735 mm a 2302 mm) (Tabela 1). Mais detalhes das características individuais dos clones e dos ambientes em Dalazen et al. (2020).

Tabela 1. Condições experimentais dos ambientes de cultivo em Rondônia.

Município	Região	Coordenadas	Altitude (m)	Temperatura média (°C)	Precipitação anual (mm)
Alto Alegre dos Parecis	Zona da Mata	12° 07' 41" S 61° 51' 02" O	381	23,1	1735
São Miguel do Guaporé	Vale do Guaporé	11° 41' 37" S 62° 42' 41" O	194	24,6	1758
Nova Brasilândia d'Oeste	Zona da Mata	11° 43' 25" S 62° 18' 57" O	263	24,0	1799
Porto Velho	Madeira Mamoré	08° 45' 43" S 63° 54' 07" O	86	26,0	2095
Rolim de Moura	Zona da Mata	11° 43' 48" S 61° 46' 47" O	210	23,9	1864
Alto Paraíso	Vale do Jamarí	09° 42' 47" S 63° 19' 15" O	127	25,6	2302
Ouro Preto do Oeste	Central	10° 44' 53" S 62° 12' 57" O	237	24,3	1922
Cacoal	Rio Machado	11° 26' 19" S 61° 26' 50" O	179	24,0	1899

Fonte: Dalazen et al. (2020).

Os frutos foram colhidos no estágio cereja, em maio de 2018, e foram secados ao sol. Os cafés foram torrados em torrador piloto a gás até perda de peso média de 16%, e a moagem foi feita em moedor de café Krups GVX 2 (Xangai, China) até granulometria fina. Após moagem, os cafés foram caracterizados e apresentaram torra média-clara (luminosidade de $31,6 \pm 1,5$, e tonalidade cromática de $39,2 \pm 3,8$) e umidade de $2,0 \pm 0,2$ g 100 g⁻¹. Informações mais detalhadas das condições de torra e moagem e da caracterização estão descritas em Francisco et al. (2021).

Metodologia: avaliação dos compostos hidrossolúveis e atividade antioxidante

Os cafés torrados e moídos (0,5 g) foram dissolvidos em 30 mL de água, e os extratos foram filtrados após 10 min em banho-maria (80°C). As extrações foram feitas em duplicata, e os extratos obtidos foram utilizados para as análises de composição e atividade antioxidante, realizadas em duplicata; todos os resultados forma expressos em g 100 g⁻¹ de café torrado, em base seca.

A determinação simultânea de cafeína, trigonelina, e ácidos clorogênicos totais (ACG) foi feita por cromatografia líquida de ultra eficiência empregando fase reversa, gradiente de solução de ácido acético e acetonitrila e detecção no UV. As melanoidinas foram estimadas por método espectrofotométrico. Maior detalhamento dessa metodologia foi descrita por Viencz et al. (2023).

A atividade antioxidante foi estimada por métodos espectrofotométricos, considerando-se a capacidade redutora (por Folin Ciocalteu) e a atividade de sequestro de radicais livres (por ABTS). Detalhes das condições de preparo e análises estão disponíveis em Portela et al. (2021).

O efeito da diversidade genética e do ambiente de cultivo sobre a composição e atividade antioxidante foi avaliado por análise de variância e teste de Tukey ($p < 0,05$) utilizando o programa livre Rstudio versão 1.2.5033 (RStudio Inc., Boston, EUA). Utilizou-se um esquema de parcelas subdivididas, em que se considerou o ambiente de cultivo (principal/parcela) e o genótipo (secundária/sub-parcela) como tratamentos. Os dados também foram avaliados por Análise de Componentes Principais (ACP) (Statistica 7.1, Statsoft Inc., Tulsa, EUA), empregando, como variáveis ativas os dados de composição (cafeína, trigonelina, ACG e melanoidinas), e como variáveis suplementares algumas características dos ambientes de cultivo (altitude, temperatura, precipitação) e a atividade antioxidante.

Impacto da genética e do ambiente de cultivo na composição dos híbridos naturais e comparação com informações da literatura sobre cafés canéfora torrados

Para todos os compostos hidrossolúveis estudados (cafeína, trigonelina, ACG e melanoidinas) e para a atividade antioxidante (avaliada pela capacidade redutora e de sequestro de radicais livres ABTS) observou-se diferença significa-

tiva entre genótipos ($p < 0,001$), e entre ambientes de cultivo ($p < 0,05$). Além disso, a interação entre genótipo e ambiente foi significativa ($p < 0,001$). A interação entre genótipo e ambiente de cultivo indicou que os teores dos compostos estudados e a atividade antioxidante em cada genótipo sofreram influência diferenciada do ambiente de cultivo (Tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7).

Para permitir uma avaliação do comportamento desses genótipos comparativamente as informações disponíveis sobre cafés canéfora torrados, dados de composição e atividade antioxidante reportados na literatura podem ser visualizados na Tabela 2.

Os compostos nitrogenados cafeína (1,3,7- trimetilxantina) e trigonelina (ácido 1-n-metilnicotínico) são alcaloides formados no metabolismo secundário. Ambos contribuem para o amargor característico da bebida de café. Já a cafeína influencia na relação entre corpo e adstringência, e para trigonelina, impacto no aroma, com a formação de produtos de degradação voláteis no processo de torra (Gloess et al., 2013; Ashihara, 2015; Samanidou, 2015; Portela et al., 2022; Velásquez; Banchón, 2023).

A cafeína é bastante estável à torra, assim considerando a perda de massa e de outros compostos orgânicos no processo, seus teores usualmente se mantêm ou eventualmente aumentam no grão torrado (Vignoli et al., 2014, Dias; Benassi, 2015). A cafeína é um composto estimulante que atua diretamente no sistema nervoso central com conhecidos efeitos fisiológicos na saúde mental (humor, depressão, cognição e comportamento); mais recentemente tem sido destacada sua ação antioxidante e neuroprotetora, com atuação nos sistemas cardiovascular, respiratório, renal e gastrointestinal, com potencial para reduzir os riscos de câncer de mama, útero e cólon (Peck et al., 2010; Grosso et al., 2017; Lyngsø et al., 2017; Poole et al., 2017; Salomone et al., 2017).

Os três clones mais cultivados 08, 25 e 03 apresentaram amplitude nos teores de cafeína de 1,88 g a 2,42 g 100 g⁻¹, com destaque para o clone 25, que apresentou teores altos do composto em todos os ambientes estudados (Tabela 3). Em estudos anteriores, o clone 25 também mostrou-se diferenciado dos outros genótipos pelo alto teor de caveol e pela presença desse diterpeno em todos os ambientes avaliados (Francisco et al., 2021; Francisco et al., 2023). Esse clone também apresentou maior qualidade da bebida em diferentes ambientes da Amazônia Ocidental, avaliados por Dalazen et al. (2020). Nos ambientes de Nova

Brasilândia d'Oeste e Rolim de Moura não houve diferença no teor de cafeína entre os três genótipos (Tabela 3).

Tabela 2. Teores de compostos bioativos hidrossolúveis e atividade antioxidante (AA) reportados na literatura para cafés *Coffea canephora* torrados de diferentes variedades.

Composto/ Parâmetro	Variedade	Teores*	Autores	Faixa geral por variedade
Cafeína (g 100 g ⁻¹)	Conilon	1,73 a 2,64	Acre et al. (2024)	1,46 a 3,57
		1,46 a 2,73	Agnoletti et al. (2019)	
	Robusta	1,88 a 3,30	Acre et al. (2024)	
		1,93	Portela et al. (2021)	
		1,81 a 2,55	Hečimović et al. (2011)	
		2,10 a 2,63	Klikarová et al. (2022)	
		1,63 a 3,33	Viencz et al. (2023)	
	Híbridos [§]	2,29 a 3,57	Viencz et al. (2023)	
Trigonelina (g 100 g ⁻¹)	Sem identificação	1,69 a 2,25	Souza e Benassi, (2012); Dias e Benassi, (2015); Kalschne et al. (2019); Reis et al. (2019).	0,07 a 1,15
	Conilon	0,57 a 1,14	Agnoletti et al. (2019)	
	Robusta	0,74 a 1,15	Viencz et al. (2023)	
	Híbridos [§]	0,65 a 0,85	Viencz et al. (2023)	
	Sem identificação	0,07 a 0,68	Souza e Benassi, (2012); Dias e Benassi (2015); Kalschne et al. (2019)	
Ácidos Clorogênicos Totais (g 100 g ⁻¹)	Conilon	1,37 a 2,61	Acre et al. (2024)	1,37 a 6,37
	Robusta	5,75	Portela et al. (2021)	
		4,18 a 6,28	Viencz et al. (2023)	
	Híbridos [§]	4,26 a 6,37	Viencz et al. (2023)	
	Sem identificação	2,00 a 2,32 [#]	Kalschne et al. (2019); Reis et al. (2019).	

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Composto/ Parâmetro	Variedade	Teores*	Autores	Faixa geral por variedade
Melanoidinas (g 100 g ⁻¹)	Conilon	6,8 a 7,8**	Mori et al. (2020)	6,8 a 25,0
	Robusta	12,2	Portela et al. (2021)	
		10,0 a 17,3	Viencz et al. (2023)	
	Híbridos [§]	10,2 a 16,3	Viencz et al. (2023)	
	Sem identificação	7,7 a 25,0	Rufian-Henares e Pastoriza (2015); Alves et al. (2020)	
AA: sequestro de radicais livres ABTS (g TEAC 100 g ⁻¹)	Conilon	6,78 a 8,80**	Mori et al. (2020)	6,78 a 13,9
	Robusta	10,6	Portela et al. (2021)	
		7,4**	Jeszka et al. (2017)	
	Híbridos [§]	Não há dados		
	Sem identificação	11,2 [#]	Kalschne et al. (2019)	
AA: Capacidade Redutora (g ácido gálico 100 g ⁻¹)	Conilon	10,5 a 13,9**	Vignoli et al. (2014)	3,9 a 7,8
	Robusta	4,03 a 6,80	Agnoletti et al. (2019)	
		4,7	Portela et al. (2021)	
	Híbridos [§]	3,9	Jeszka et al. (2017)	
	Sem identificação	Não há dados		
		5,14 a 7,8**	Vignoli et al. (2014)	

* Teor médio ou faixa reportada; ** Teor calculado com base na concentração encontrada na bebida de café. § Híbridos intervarietais de Robusta e Conilon desenvolvidos pela Embrapa (cultivar Robustas Amazônicas).

Grãos defeituosos.

Comparativamente ao reportado na literatura, os valores de cafeína (Tabela 3) estão dentro das faixas descritas anteriormente para as variedades Conilon e Robusta, e consequentemente da faixa geral descrita na literatura para o café canéfora (1,46 g a 3,57 g 100 g⁻¹) (Tabela 2). No entanto, observa-se que estes valores são mais baixos que os reportados por Viencz et al. (2023) para cafés híbridos de Conilon e Robusta do cultivar Robustas Amazônicas.

Tabela 3. Teores* de cafeína (g 100 g⁻¹) de cafés canéfora híbridos intervarietais oriundos de diferentes ambientes de cultivo em Rondônia.

Ambientes de cultivo	Genótipos		
	Clone 03	Clone 08	Clone 25
Alto Alegre dos Parecis	2,12 ^{bcB} ± 0,07	2,28 ^{abA} ± 0,04	2,14 ^{cAB} ± 0,00
São Miguel do Guaporé	2,19 ^{bA} ± 0,01	1,98 ^{cB} ± 0,04	2,21 ^{bcA} ± 0,03
Nova Brasilândia d'Oeste	2,18 ^{bA} ± 0,01	2,26 ^{abA} ± 0,06	2,29 ^{abcA} ± 0,08
Porto Velho	1,88 ^{dB} ± 0,00	2,33 ^{aA} ± 0,11	2,32 ^{abA} ± 0,03
Rolim de Moura	2,20 ^{bA} ± 0,04	2,12 ^{bcA} ± 0,02	2,19 ^{bcA} ± 0,01
Alto Paraíso	1,99 ^{cdB} ± 0,03	2,29 ^{aA} ± 0,13	2,18 ^{bcA} ± 0,01
Ouro Preto do Oeste	2,38 ^{aA} ± 0,02	1,99 ^{cB} ± 0,02	2,42 ^{aA} ± 0,04
Cacoal	2,12 ^{bcB} ± 0,00	2,28 ^{abA} ± 0,03	2,19 ^{bcAB} ± 0,01

*Teor médio (n=4) ± desvio padrão para as duplicatas de extração de cada amostra.

Médias seguidas de letras minúsculas, diferentes, na mesma coluna, indicam diferença significativa entre ambientes (Tukey, p≤0,05). Médias seguidas de letras maiúsculas, diferentes na mesma linha, indicam diferença significativa entre genótipos (Tukey, p≤0,05).

Fonte: próprios autores.

São descritas perdas expressivas do composto trigonelina durante o processo de torra (Souza; Benassi, 2012; Dias; Benassi, 2015), com consequente formação de produtos de degradação, com atividade vitamínica (ácido nicotínico) ou compostos voláteis associados ao aroma de café torrado (pirróis, piridinas e pirazinas) (Kirkland; Meyer-Ficca, 2018; Farah et al., 2019;). Em relação aos efeitos biológicos, a trigonelina destaca-se por ser um agente hipoglicemiante, e por apresentar atividade neuroprotetora, antinvasiva, estrogênica, e antibacteriana, além de melhorar e regular os níveis de lipídios séricos e genes relacionados ao metabolismo dos carboidratos e lipídios (George et al., 2008; Ludwig et al., 2014; Yoshinari; Igarashi, 2015).

Teores de trigonelina variando de 0,317 a 0,560 g 100 g⁻¹ foram observados para os híbridos intervarietais considerando os diferentes genótipos e ambientes de cultivo. Os cafés cultivados em Cacoal destacaram-se pelos baixos teores de trigonelina (média de 0,378 g 100 g⁻¹), e por não ocorrer variação desse composto entre os genótipos (Tabela 4).

Comparando-se com os dados da literatura, observa-se que os valores encontrados para os híbridos intervarietais naturais (Tabela 4) estão na faixa de teores de trigonelina descrita para cafés canéfora (0,07 a 1,15 g 100 g⁻¹) (Tabela 2). Deve-se observar, no entanto, que essa faixa é muito ampla, e que para um composto termolábil como trigonelina, a variação com a genética certamente é menos expressiva do que a devida a condições de processo de torra, assim a similaridade com outros dados da literatura depende muito do grau de torra empregado.

Tabela 4. Teores de trigonelina (g 100 g⁻¹) de cafés canéfora híbridos intervarietais oriundos de diferentes ambientes de cultivo em Rondônia.

Ambientes de cultivo	Genótipos		
	Clone 03	Clone 08	Clone 25
Alto Alegre dos Parecis	0,463 ^{ba} ± 0,006	0,441 ^{dB} ± 0,006	0,423 ^{cC} ± 0,000
São Miguel do Guaporé	0,466 ^{ba} ± 0,006	0,481 ^{cA} ± 0,003	0,317 ^{IB} ± 0,008
Nova Brasilândia d'Oeste	0,488 ^{aB} ± 0,006	0,524 ^{ba} ± 0,0012	0,537 ^{aA} ± 0,014
Porto Velho	0,360 ^{dC} ± 0,001	0,437 ^{dB} ± 0,009	0,459 ^{ba} ± 0,007
Rolim de Moura	0,384 ^{cC} ± 0,007	0,551 ^{aA} ± 0,004	0,473 ^{bB} ± 0,004
Alto Paraíso	0,509 ^{aA} ± 0,003	0,484 ^{cB} ± 0,013	0,390 ^{dC} ± 0,002
Ouro Preto do Oeste	0,501 ^{aB} ± 0,000	0,560 ^{aA} ± 0,001	0,438 ^{cC} ± 0,002
Cacoal	0,374 ^{cdA} ± 0,002	0,366 ^{eA} ± 0,003	0,363 ^{eA} ± 0,000

*Teor médio (n=4) ± desvio padrão para as duplicatas de extração de cada amostra.

Médias seguidas de letras minúsculas, diferentes na mesma coluna, indicam diferença significativa entre ambientes (Tukey, p≤0,05). Médias seguidas de letras maiúsculas, diferentes na mesma linha, indicam diferença significativa entre genótipos (Tukey, p≤0,05).

Fonte: próprios autores.

Os ácidos clorogênicos (ACG) são os compostos fenólicos mais abundantes no café sendo formados pela esterificação de ácidos trans-cinâmicos (cafeico, ferúlico e cumárico) com o ácido quínico; o maior grupo é dos cafeoilquínicos (mais de 80% do total de ACG), destacando-se o ácido 5-O-cafeoilquínico (5-ACQ), principal isômero (Jaiswal et al., 2010; Sarraguça et al., 2016). Na planta, os compostos formados do metabolismo secundário, como ACG e os alcaloides discutidos anteriormente, são acumulados no endosperma, e podem ser remobilizados para nutrição e germinação, além de desempenhar papel essencial na

defesa de sementes e mudas contra herbívoros e patógenos, contribuindo assim para a aptidão reprodutiva das espécies do gênero *Coffea* (Antoine et al., 2023). Os ACG são termolábeis, mas a perda varia com o grau de torra e a espécie de café (Vignoli et al., 2014; Dias; Benassi, 2015), originando via reação de Maillard produtos de degradação associados ao sabor e ao aroma ou que são incorporados à estrutura das melanoidinas (Farah, 2012; Perrone et al., 2012; Ayelign; Sabally, 2013). Além da importância para as características sensoriais (amargor, adstringência, acidez e aroma) do café torrado, os ácidos clorogênicos possuem atividades neuroprotetora, cardiovascular, hipoglicêmica, hepatoprotetora, anti-inflamatória e anticarcinogênica, que estão relacionadas principalmente à sua capacidade antioxidante (Gloess et al., 2013; Ludwig et al., 2014; Naveed et al., 2018; Barbosa et al., 2019; Farah; Lima, 2019; Lu et al., 2020; Portela et al., 2022; Velásquez; Banchón, 2023).

Comparativamente aos outros bioativos hidrossolúveis aqui estudados, constatou-se maior variabilidade entre genótipos e ambientes de cultivo para os teores de ácidos clorogênicos totais, com valores na faixa de 1,48 a 3,33 g 100 g⁻¹. De forma similar ao observado para trigonelina, Cacoal foi o único ambiente onde não ocorreu variação de ACG entre os genótipos. que apresentaram baixo teor médio do composto (1,89g 100 g⁻¹) (Tabela 5).

Os valores de ACG para os híbridos intervarietais naturais (Tabela 5) estão dentro da faixa de teores descrita na literatura para cafés canéfora (1,37 a 6,37 g 100 g⁻¹) (Tabela 2), mas cabe aqui o mesmo comentário feito para trigonelina, tendo em vista a pouca estabilidade térmica dos compostos. No entanto, mesmo considerando os possíveis diferentes graus de torra, pode-se observar que os teores de ACG estão mais baixos do que os descritos para a variedade Robusta e mais próximos ao descritos para Conilon (Tabelas 2 e 5).

Tabela 5. Ácidos clorogênicos totais* (g 100 g⁻¹) de cafés canéfora híbridos intervarietais oriundos de diferentes ambientes de cultivo em Rondônia.

Ambientes de cultivo	Genótipos		
	Clone 03	Clone 08	Clone 25
Alto Alegre dos Parecis	2,49bA ± 0,07	2,29cB ± 0,05	2,22deB ± 0,01
São Miguel do Guaporé	2,60abA ± 0,01	2,35cB ± 0,06	1,48gC ± 0,04
Nova Brasilândia d'Oeste	2,75aB ± 0,01	2,94bA ± 0,10	3,06aA ± 0,13

Continua...

Tabela 5. Continuação.

Ambientes de cultivo	Genótipos		
	Clone 03	Clone 08	Clone 25
Porto Velho	2,08cC $\pm$ 0,03	2,39cB $\pm$ 0,11	2,73bA $\pm$ 0,03
Rolim de Moura	1,94cB $\pm$ 0,07	2,78bA $\pm$ 0,04	2,65bcA $\pm$ 0,01
Alto Paraíso	2,81aA $\pm$ 0,05	2,85bA $\pm$ 0,30	2,04efB $\pm$ 0,00
Ouro Preto do Oeste	2,80aB $\pm$ 0,03	3,33aA $\pm$ 0,02	2,42cdC $\pm$ 0,02
Cacoal	1,94cA $\pm$ 0,02	1,86dA $\pm$ 0,00	1,87fA $\pm$ 0,05

*Teor médio (n=4) $\pm$ desvio padrão para as duplicatas de extração de cada amostra.

Médias seguidas de letras minúsculas, diferentes na mesma coluna, indicam diferença significativa entre ambientes (Tukey, $p \leq 0,05$). Médias seguidas de letras maiúsculas, diferentes na mesma linha, indicam diferença significativa entre genótipos (Tukey, $p \leq 0,05$).

Fonte: próprios autores.

Os carboidratos constituem mais de 50% do peso seco do grão verde, mas com o processo de torra tanto o perfil e quanto o teor de carboidratos são alterados, contribuindo para características sensoriais (aroma, sabor e cor) do café torrado (Farah, 2012). A alta temperatura leva a uma expressiva degradação dos carboidratos, pela participação em reações de escurecimento, notadamente na reação de Maillard com formação de melanoidinas e compostos voláteis aromáticos (Petkowi-cz, 2015). As melanoidinas são compostos nitrogenados de alta massa molecular e cor marrom, responsáveis pela cor dos grãos e da bebida (Moreira et al., 2019). As melanoidinas têm sido destacadas pelo potencial como bioativo, contribuindo para propriedades antioxidantes, antibacterianas e quelantes de metais de bebidas de café, e também pela atividade fisiológica como fibra alimentar, atuando na prevenção de câncer de cólon (Rufian-Henares; De La Cueva, 2008; Vitaglione et al., 2012; Hu et al., 2019; Moreira et al., 2019; Alves et al., 2020).

Nos cafés híbridos intervarietais, foram observados teores de melanoidinas entre 11,9 e 16,6 g 100 g⁻¹ considerando-se os diferentes genótipos e ambientes de cultivo. Observa-se que foi o composto com menor variação, confirmando a boa padronização do processo de torra. Nos ambientes Cacoal e Alto Alegre dos Parecis não ocorreu variação do teor de melanoidinas entre genótipos (Tabela 6).

Comparando-se com os dados da literatura, observa-se que os teores de melanoidinas (Tabela 6) estão dentro da faixa descrita para cafés canéfora (6,8 a

25,0 g 100 g⁻¹) (Tabela 2). Como as melanoidinas são formadas no processo, teores são diretamente dependentes do grau de torra, mas observou-se no geral que os valores de melanoidinas para os híbridos naturais mais próximos dos descritos para as variedades Robusta e os híbridos do cultivar Robustas Amazônicos (Tabela 2 e 6).

Tabela 6. Teores* de melanoidinas (g 100 g⁻¹) de cafés canéfora híbridos intervarietais oriundos de diferentes ambientes de cultivo em Rondônia.

Ambientes de cultivo	Genótipos		
	Clone 03	Clone 08	Clone 25
Alto Alegre dos Parecis	14,6 ^{abA} ± 1,2	15,1 ^{abA} ± 0,2	15,0 ^{abcA} ± 0,5
São Miguel do Guaporé	15,1 ^{abB} ± 0,1	16,4 ^{aAB} ± 0,9	16,6 ^{aA} ± 0,3
Nova Brasilândia d'Oeste	14,9 ^{abA} ± 0,5	15,3 ^{abA} ± 0,5	12,5 ^{dB} ± 0,3
Porto Velho	16,1 ^{aA} ± 0,2	14,2 ^{bcB} ± 0,1	13,4 ^{cdB} ± 0,0
Rolim de Moura	14,9 ^{abA} ± 0,1	12,9 ^{cB} ± 0,5	11,9 ^{dB} ± 0,2
Alto Paraíso	15,8 ^{abA} ± 0,2	12,9 ^{cB} ± 0,5	14,8 ^{bcA} ± 0,4
Ouro Preto do Oeste	16,1 ^{aA} ± 1,3	12,5 ^{cB} ± 0,2	15,8 ^{abA} ± 0,4
Cacoal	14,2 ^{bA} ± 0,1	15,5 ^{abA} ± 0,4	15,2 ^{abA} ± 0,9

*Teor médio (n=4) ± desvio padrão para as duplicatas de extração de cada amostra.

Médias seguidas de letras minúsculas, diferentes na mesma coluna, indicam diferença significativa entre ambientes (Tukey, p≤0,05). Médias seguidas de letras maiúsculas, diferentes na mesma linha, indicam diferença significativa entre genótipos (Tukey, p≤0,05).

Os bioativos hidrossolúveis estudados contribuem para a obtenção de benefícios à saúde pelo consumo de café, que tem sido muito associado a presença de compostos com potencial antioxidante. A atividade antioxidante (AA) é definida como a capacidade de um composto em baixa concentração em relação ao substrato oxidável diminuir ou inibir a degradação oxidativa (Santos-Sánchez et al., 2019).

Na bebida de café, a AA pode ser atribuída tanto aos compostos naturalmente presentes nos grãos verdes, como cafeína, trigonelina e ACGs, como aos

compostos formados durante a torra, como melanoidinas. Para alguns deles, os mecanismos de ação antioxidante já foram elucidados ou sugeridos. Para metilxantinas, a ação se deve à presença de um anel imidazólico intacto e à presença de doadores de elétrons nesse grupo; cafeína é também considerada um eficiente sequestrante de radicais hidroxila. Para compostos fenólicos, AA está relacionada a presença do grupo hidroxila, um aumento no número de hidroxilas leva a um aumento na atividade de sequestro de radicais livres, e a ligação dupla nos ácidos hidroxicinâmicos, que estabiliza o radical por ressonância. No entanto, para melanoidinas, as propriedades químicas e funcionais não são completamente compreendidas em virtude da sua estrutura complexa e variável, mas é conhecido que a AA está parcialmente relacionada à incorporação de ácidos clorogênicos na estrutura da melanoidina com o processo de torra (Vignoli et al., 2020).

Devido ao fato de não haver um método universal de medida, para estimativa da AA é interessante utilizar pelo menos dois métodos, que empreguem diferentes mecanismos de reação (Prior et al., 2005); isso é particularmente importante em uma matriz complexa como o café, em que cada composto pode apresentar mecanismo antioxidante específico. A medida AA por ABTS baseia-se na capacidade de sequestro do cátion radical ABTS^{•+} (ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico); um composto pode reduzir o radical se tiver um potencial redox menor (0,68V), como observado para os compostos fenólicos. A capacidade redutora pode ser estimada pelo método Folin-Ciocalteu, tradicionalmente utilizado para determinar o teor de compostos fenólicos totais; o mecanismo é baseado em uma reação de oxi-redução, permitindo medir a concentração de substâncias redutoras presentes na amostra. Informação sobre os mecanismos dos métodos e sua padronização para medida em produtos de café, bem como o impacto dos constituintes específicos do café na atividade antioxidante estão detalhadamente descritos em Vignoli et al. (2012, 2016, 2020).

Comparativamente ao perfil de compostos hidrossolúveis, houve menor variabilidade na atividade antioxidante (capacidade redutora e de sequestro de radicais livres ABTS) considerando-se os três genótipos nos diferentes ambientes de cultivo (Tabelas 7 e 8). Esse comportamento já foi descrito na literatura em estudos com café torrado e solúvel e bebidas (Vignoli et al., 2014; Mori et al., 2020; Wołosiak et al., 2023), mostrando que a AA do produto resulta de um balanço da contribuição dos diferentes compostos, sendo assim teores mais baixos de um composto específico podem ser compensados por maior teor de outro componente, resultando em menores variações na AA comparativamente ao perfil de composição.

Tabela 7. Capacidade redutora* (g ácido gálico 100 g⁻¹) de cafés canéfora híbridos intervarietais oriundos de diferentes ambientes de cultivo em Rondônia.

Ambientes de cultivo	Genótipos		
	Clone 03	Clone 08	Clone 25
Alto Alegre dos Parecis	4,0 ^{cB} ± 0,0	4,4 ^{abA} ± 0,1	4,2 ^{bAB} ± 0,1
São Miguel do Guaporé	4,9 ^{aA} ± 0,0	4,5 ^{abB} ± 0,1	4,1 ^{bcC} ± 0,1
Nova Brasilândia d'Oeste	4,9 ^{aA} ± 0,1	4,2 ^{bcB} ± 0,0	4,2 ^{bcB} ± 0,1
Porto Velho	4,4 ^{bA} ± 0,1	4,2 ^{bcA} ± 0,2	4,2 ^{bA} ± 0,0
Rolim de Moura	4,3 ^{bAB} ± 0,0	4,5 ^{abA} ± 0,1	4,1 ^{bcB} ± 0,1
Alto Paraíso	4,8 ^{aA} ± 0,2	4,6 ^{aA} ± 0,2	4,0 ^{bcB} ± 0,1
Ouro Preto do Oeste	4,4 ^{bA} ± 0,0	4,7 ^{aA} ± 0,1	4,6 ^{aA} ± 0,0
Cacoal	4,0 ^{cA} ± 0,1	4,1 ^{cA} ± 0,1	3,8 ^{cA} ± 0,2

*Média (n=4) ± desvio padrão para as duplicatas de extração de cada amostra.

Médias seguidas de letras minúsculas, diferentes na mesma coluna, indicam diferença significativa entre ambientes (Tukey, p≤0,05). Médias seguidas de letras maiúsculas, diferentes na mesma linha, indicam diferença significativa entre genótipos (Tukey, p≤0,05).

Tabela 8. Atividade de sequestro de radicais livres ABTS* (g TEAC 100 g⁻¹) de cafés canéfora híbridos intervarietais oriundos de diferentes ambientes de cultivo em Rondônia.

Ambientes de cultivo	Genótipos		
	Clone 03	Clone 08	Clone 25
Alto Alegre dos Parecis	10,2 ^{cB} ± 0,1	11,0 ^{aA} ± 0,0	9,8 ^{abB} ± 0,2
São Miguel do Guaporé	12,8 ^{aA} ± 0,4	10,9 ^{aB} ± 0,2	10,2 ^{abB} ± 0,2
Nova Brasilândia d'Oeste	12,3 ^{abA} ± 0,4	11,0 ^{aB} ± 0,4	9,6 ^{bcC} ± 0,4
Porto Velho	11,1 ^{bcA} ± 0,4	10,5 ^{aAB} ± 0,6	10,0 ^{abB} ± 0,0
Rolim de Moura	12,2 ^{abA} ± 0,6	10,5 ^{aB} ± 0,1	10,3 ^{abB} ± 0,7

Continua...

Tabela 8. Continuação.

Ambientes de cultivo	Genótipos		
	Clone 03	Clone 08	Clone 25
Alto Paraíso	11,4 ^{bcA} ± 0,5	10,8 ^{aA} ± 0,2	9,9 ^{abB} ± 0,4
Ouro Preto do Oeste	11,4 ^{bcA} ± 0,4	11,2 ^{aA} ± 0,6	11,1 ^{aA} ± 0,5
Cacoal	10,5 ^{cA} ± 0,0	10,7 ^{aA} ± 0,4	9,5 ^{bB} ± 0,3

*Média (n=4) ± desvio padrão para as duplicatas de extração de cada amostra.

Médias seguidas de letras minúsculas, diferentes na mesma coluna, indicam diferença significativa entre ambientes (Tukey, $p \leq 0,05$). Médias seguidas de letras maiúsculas, diferentes na mesma linha, indicam diferença significativa entre genótipos (Tukey, $p \leq 0,05$).

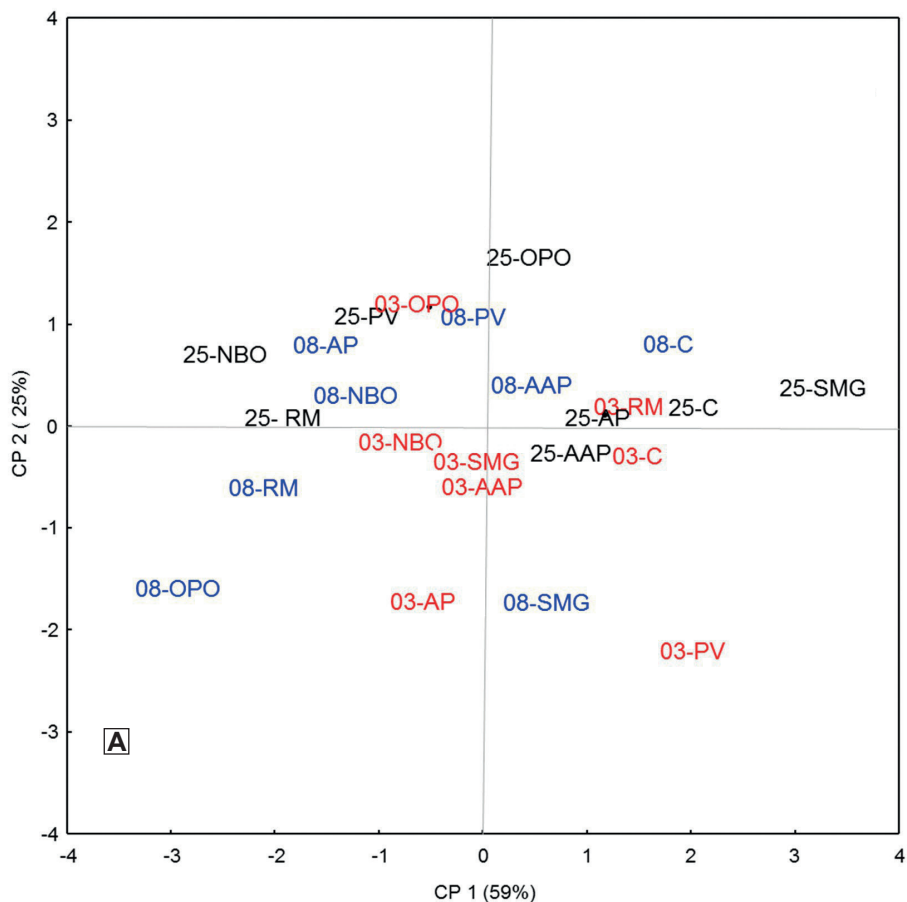
A capacidade redutora variou na faixa de 3,8 g a 4,9 g ácido gálico 100 g⁻¹ (Tabela 7) e para a capacidade de sequestro de radicais livres ABTS, observou-se valores entre 9,5 e 12 g TEAC 100 g⁻¹ (Tabela 8). Quando cultivados nos ambientes de Ouro Preto do Oeste, os três genótipos apresentaram atividade antioxidante similar (medida pelos dois métodos) (Tabelas 7 e 8). Comparativamente ao reportado na literatura, verifica-se que para os híbridos naturais ambos os parâmetros possuem valores similares aos valores reportados para cafés canéfora: capacidade redutora de 3,9 g a 7,8 g ácido gálico 100 g⁻¹ e capacidade de sequestro de radicais de 6,78 g a 13,9 g TEAC 100 g⁻¹ (Tabelas 2, 8 e 9).

Ao buscar inferir sobre a diversidade de natureza genética entre os acessos foi realizada uma análise de componentes principais considerando o perfil de composição química dos três genótipos nos oito ambientes de cultivo. A dispersão dos dois primeiros componentes principais que explicaram 84% da variância dos dados, mostra que os genótipos se agruparam em diferentes quadrantes. Os dois primeiros componentes (CP 1 e CP 2) explicaram 84% da variância dos dados. A CP 1 foi correlacionado negativamente aos parâmetros trigonelina e ACG e positivamente a melanoidina; o CP 2 foi positivamente correlacionado à cafeína (Figura 1).

Não houve agrupamento dos genótipos de acordo com a genética ou ambientes de cultivo para todas características consideradas em conjunto. No entanto observa-se que as amostras do clone 25 foram alocadas principalmente na parte superior do gráfico (Figura 1A), em função dos altos teores de cafeína (Figura 1B, Tabela 3). As amostras dos três clones procedentes de Cacoal foram alocadas a

direita do gráfico (Figura 1A) pelos baixos teores de trigonelina e ACG (Figura 1B, Tabelas 4 e 5).

Observou-se ainda proximidade no gráfico das amostras dos três clones quando cultivadas em Cacoal e Alto Alegre dos Parecis (Figura 1A), indicando que nesses ambientes, houve uma menor variabilidade no perfil de composição com a genética.



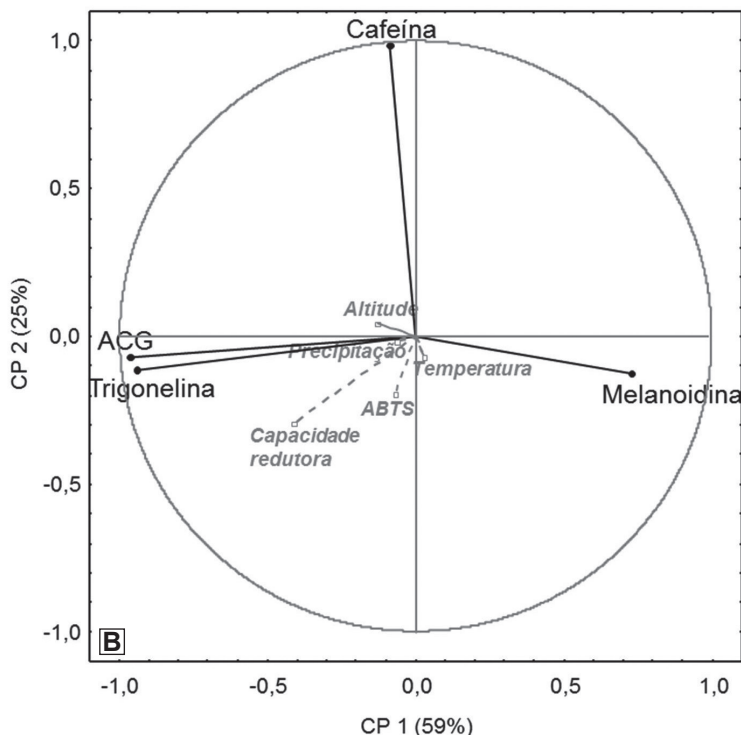


Figura 1. Análise de componentes principais considerando a composição química de cafés canéfora híbridos intervarietais oriundos de diferentes ambientes de cultivo em Rondônia: gráfico de amostras (A) e projeção das variáveis (B). Gráfico de amostras - Locais identificados pelas iniciais: Alto Alegre dos Parecis (AAP), São Miguel do Guaporé (SMG), Nova Brasilândia d'Oeste (NBO), Porto Velho (PV), Rolim de Moura (RM), Alto Paraíso (AP), Ouro Preto do Oeste (OPO), Cacoal (C). Genótipos identificados pela cor: Clone 03, Clone 08, Clone 25. Variáveis: ● ativas e □ suplementares.

Considerações finais

Os cafés canéfora híbridos intervarietais naturais de Conilon e Robusta estudados (clones 03, 08 e 25) apresentaram altos teores de compostos bioativos hidrossolúveis avaliados (cafeína, trigonelina, ACG e melanoidinas) e alta atividade antioxidante, avaliada pela capacidade redutora e de sequestro de radicais livres ABTS. Esses valores estão na faixa dos descritos na literatura para cafés canéfora de diferentes variedades, todavia, os resultados indicam que esses clones híbridos têm um perfil de composição próprio, em alguns pontos se aproximando mais da característica da variedade Conilon (pelos teores mais próximos de CGA)

ou da variedade Robusta (pelos teores mais próximos de melanoidinas) e mesmo diferenciando também dos híbridos intervarietais desenvolvidos pela Embrapa que compõe o cultivar Robustas Amazônicos (naturais apresentam teores mais baixos de cafeína).

O perfil de compostos bioativos hidrossolúveis (cafeína, trigonelina, ACG e melanoidinas) e a atividade antioxidante (avaliada pela capacidade redutora e de sequestro de radicais livres ABTS) dos clones 03, 08 e 25 foram dependentes da genética e do ambiente de cultivo, e da interação entre esses dois fatores. Assim, verificou-se que os teores dos compostos estudados e a atividade antioxidante em cada genótipo sofreram influência diferenciada em cada ambiente de cultivo. Comparativamente ao perfil de compostos hidrossolúveis, houve menor variabilidade na atividade antioxidante.

De forma geral, o clone 25 se destacou por apresentar altos teores de cafeína em todos os ambientes estudados, e o ambiente de Cacoal, por apresentar cafés com baixos teores de trigonelina e ACG e pouca variação entre os três genótipos considerando o perfil de bioativos.

Referências

- ACRE, L. B.; VIENCZ, T.; FRANCISCO, J. S.; ROCHA, R. B.; ALVES, E. A.; BENASSI, M. T. Composition of *Coffea canephora* Varieties from the Western Amazon. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 35, n. 8, e20240031, mar. 2024.
- AGNOLETTI, B.; OLIVEIRA, E.; PINHEIRO, P.; SARAIVA, S. Discrimination of Arabica and Conilon coffee from physicochemical properties allied to chemometrics. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 3, p. 785-805, jan. 2019.
- ALVES, E. A. **Ciência e evolução social na cafeicultura Amazônica**. Disponível em: <http://www.consorciopesquisacafe.com.br/index.php/imprensa/noticias/1001-2020-06-26-15-39-01>. Acesso em: 24 mar. 2023.
- ALVES, G.; XAVIER, P.; LIMOEIRO, R.; PERRONE, D. Contribution of melanoidins from heat-processed foods to the phenolic compound intake and antioxidant capacity of the Brazilian diet. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 8, p. 3119–3131, aug. 2020.
- ANTOINE, G.; VAISSAYRE, V.; MEILE, J.-C.; PAYET, J.; CONÉJÉRO, G.; COSTET, L.; FOCK-BASTIDE, I.; JOËT, T.; DUSSERT, S. Diterpenes of *Coffea* seeds show antifungal and anti-insect activities and are transferred from the endosperm to the seedling after germination. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 194, p. 627-637, jan. 2023.

ASHIHARA, H. Plant biochemistry: trigonelline biosynthesis in *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. In: PREDDY, V. R. (ed.). **Coffee in health and disease prevention**. Cambridge: Academic Press, 2015. p. 19-28.

AYELIGN, A.; SABALLY, K. Determination of chlorogenic acids (CGA) in coffee beans using HPLC. **American Journal of Research Communication**, v. 1, n. 2, p. 78-91, jan. 2013.

BARBOSA, M. S. G.; FRANCISCO, J. S.; SCHOLZ, M. B. S.; KITZBERGER, C. S. G.; BENASSI, M. T. Dynamics of sensory perceptions in arabica coffee brews with different roasting degrees. **Journal of Culinary Science & Technology**, v. 17, n. 5, p. 453-464, jan. 2019.

BUTT, M. S., SULTAN, M. T. Coffee and its consumption: benefits and risks. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 51, n. 4, p. 363-373, apr. 2011.

CAFÉS DE RONDÔNIA. **Revista Cafés de Rondônia**: O mundo do café na Amazônia. Porto Velho: Embrapa Rondônia, v. 2, n. 2, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/rondonia/cafes-de-rondonia>. Acesso em: 20 ago. 2023.

CORBI-COBO-LOSEY, M. J.; MARTINEZ-GONZALEZ, M. Á.; GRIBBLE, A. K.; FERNANDEZ-MONTERO, A.; NAVARRO, A. M.; DOMÍNGUEZ, L. J.; BES-RASTROLLO, M.; TOLEDO, E. Coffee consumption and the risk of Metabolic Syndrome in the 'Seguimiento Universidad de Navarra' Project. **Antioxidants**, v. 12, n. 3, p. 686, mar. 2023.

DALAZEN, J. R.; ROCHA, R. B.; ESPINDULA, M. C.; DIAS, J. R. M.; DALAZEN, J. R. Base genética da cafeicultura e caracterização dos principais clones cultivados no estado de Rondônia. In: PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C. (ed.). **Café conilon: conhecimento para superar desafios**, 1. ed. Alegre, ES: Cafes, 2019. p. 165-177.

DALAZEN, J. R.; ROCHA, R. B.; PEREIRA, L. L.; ALVES, E. A.; ESPINDULA, M. C.; SOUZA, C. A. Beverage quality of most cultivated *Coffea canephora* clones in the western amazon. **Coffee Science**, v. 15, n. 1, e151711. aug. 2020.

SOUZA, R. M. N. de; BENASSI, M. T. Discrimination of commercial roasted and ground coffees according to chemical composition. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, n. 7, p. 1347-1354, jul. 2012.

DIAS, R. C. E.; BENASSI, M. T. Discrimination between Arabica and Robusta coffees using hydrosoluble compounds: Is the efficiency of the parameters dependent on the roast degree? **Beverages**, v. 1, n. 3, p. 127-139, jun. 2015.

ESPINDULA, M. C.; DIAS, J. R. M.; ROCHA, R. B.; DALAZEN, J. R.; ARAÚJO, L.V. Café em rondônia. In: PARTELLI, F. L.; GONTIJO I. (ed.). **Café conilon: gestão e manejo com sustentabilidade**. Alegre, ES: Cafes, 2017. p. 69-88.

FARAH, A. Coffee constituents. In: CHU, Y. F. (ed.). **Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention**. Nova Jersey: Wiley-Blackwell, 2012. p. 21-58.

FARAH, A.; FERREIRA, T.; VIEIRA, A. C. Trigonelline and Derivatives. In: FARAH, A. **Coffee: Production, Quality and Chemistry**. London: Royal Society of Chemistry, 2019. p. 627-640.

FARAH, A.; LIMA, J. P. Consumption of chlorogenic acids through coffee and health implications. **Beverages**, v. 5, n. 1, p. 1-29, feb. 2019.

FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; VOLPI, P. S.; FILHO, A. C. V.; PACOVA, B. E. V.; FERRÃO, L. F. *Coffea canephora* breeding. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. **Café Conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2019a. p.145-201.

FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; VOLPI, P. S.; FILHO, A. C. V.; TÓFFANO, J. L.; TRAGINO, P. H.; BRAGANÇA, S. M. Cultivars of Conilon Coffee. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. **Café Conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2019b. p. 255-287.

FIOROTT, A. S.; STURM, G. M. Café Canéfora: em busca de qualidade e reconhecimento. In: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. (ed.). **Café na Amazônia**, Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 425-431.

FRANCISCO, J. S.; DIAS, R. C. E.; ALVES, E. A.; ROCHA, R. B.; DALAZEN, J. R.; MORI, A. L. B.; BENASSI, M. T. Natural intervarietal hybrids of *Coffea canephora* have a high content of diterpenes. **Beverages**, v. 7, n. 4, p. 77, dec. 2021.

FRANCISCO, J. S.; PORTELA, C. S.; DALAZEN, J. R.; ROCHA, R. B.; ALVES, E. A.; MORI, A. L. B.; BENASSI, M. T. Diterpenos em cafés *Coffea canephora* híbridos naturais cultivados em Rondônia. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 1, p. 420-429, jan. 2023.

GAASCHT, F.; DICATO, M.; DIEDERICH, M. Coffee provides a natural multitarget pharmacopeia against the hallmarks of cancer. **Genes & Nutrition**, v. 10, n. 6, p. 1-17, nov. 2015.

GEORGE, S. E.; RAMALAKSHMI, K.; RAO, L. J.M. A Perception on health benefits of coffee. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 48, n. 5, p. 464–486, may 2008.

GLOESS, A. N.; SCHÖNBÄCHLER, B.; KLOPPROGGE, B.; D'AMBROSIO, L.; CHATELAIN, K.; BONGARTZ, A.; STRITTMATTER, A.; RAST, M.; YERETZIAN, C. Comparison of nine common coffee extraction methods: instrumental and sensory analysis. **European Food Research and Technology**, v. 236, n. 4, p. 607–627, jan. 2013

GROSSO, G.; GODOS, J.; GALVANO, F.; GIOVANNUCCI, E. L. Coffee, caffeine, and health outcomes: an umbrella review. **Annual Review of Nutrition**, v. 37, p. 131-156, aug. 2017.

GÖKCEN, B. B.; ŞANLIER, N. Coffee consumption and disease correlations. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 2, p. 336-348, sep. 2019.

HEČIMOVIĆ, I.; BELŠČAK-CVITANOVIC, A.; HORZIC, D.; KOMES, D. Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting. **Food Chemistry**, v. 129, n. 3, p. 991–1000, dec. 2011.

HU, G. L.; WANG, X.; ZHANG, L.; QIU, M. H. The sources and mechanisms of bioactive ingredients in coffee. **Food & Function**, v. 10, n. 6, p. 3113-3126, jun. 2019.

JAISWAL, R.; PATRAS, M. A.; ERAVUCHIRA, P. J.; KUHNERT, N. Profile and Characterization of the Chlorogenic Acids in Green Robusta Coffee Beans by LC-MS: Identification of Seven New Classes of Compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 15, p. 8722-8737, jul. 2010.

JESZKA-SKOWRON, M.; ZGOŁA-GRZEŚKOWIAK, A. Usage of capillary isotachophoresis and antioxidant capacity measurement in analysis of changes in coffee properties after roasting, steaming and decaffeination. **Food Analytical Methods**, v. 10, p. 1245-1251, jan. 2017.

KALSCHNE, D. L.; VIEGAS, M. C.; DE CONTI, A. J.; CORSO, M. P.; BENASSI, M. T. Effect of steam treatment on the profile of bioactive compounds and antioxidant activity of defective roasted coffee (*Coffea canephora*). **LWT**, v.99, p. 364–370, jan. 2019.

KIRKLAND, J. B.; MEYER-FICCA, M. L. Niacin. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 83, p. 83-149, feb. 2018.

KLIKAROVÁ, J.; ŘEHÁKOVÁ, B.; ČESLOVÁ, L. Evaluation of regular and decaffeinated (un)roasted coffee beans using HPLC and multivariate statistical methods. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 114, 104841, dec. 2022.

LU, H.; TIAN, Z.; CUI, Y.; LIU, Z.; MA, X. Chlorogenic acid: A comprehensive review of the dietary sources, processing effects, bioavailability, beneficial properties, mechanisms of action, and future directions. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 6, p. 3130–3158, sep. 2020.

LUDWIG, I. A.; CLIFFORD, M. N.; LEAN, M. E.; ASHIHARA, H.; CROZIER, A. Coffee: biochemistry and potential impact on health. **Food & Function**, v. 5, n. 8, p. 1695-1717, ago. 2014.

LYNGSØ, J.; RAMLAU-HANSEN, C.H.; BAY, B.; INGERSLEV, H.J.; HULMAN, A.; KESMODEL, U.S. Association between coffee or caffeine consumption and fecundity and fertility: a systematic review and dose-response meta-analysis. **Clinical Epidemiology**, v. 9, p. 699–719, dec. 2017.

MOEENFARD, M.; ALVES, A. New trends in coffee diterpenes research from technological to health aspects. **Food Research International**, v. 134, e109207, aug. 2020.

MORAIS, J. A.; ROCHA, R. B.; ALVES, E. A.; ESPINDULA, M. C.; TEIXEIRA, A. L.; SOUZA, C. A. Beverage quality of *Coffea canephora* genotypes in the western Amazon, Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 43, e52095, 2021.

MOREIRA, A. S. P.; SIMÕES, J.; PASSOS, C. P.; NUNES, F. M.; DOMINGUES, M. R. M.; COIMBRA, M. A. Melanoidins. In: FARAH, A. **Coffee: Production, Quality and Chemistry**. Londres: Royal Society of Chemistry, 2019. p. 662-678.

MORI, A. L. B.; VIEGAS, M. C.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G.; BENASSI, M. T. Coffee brews composition from cultivars with different fruit-ripening seasons. **British Food Journal**, v. 122, n. 3, p. 827-840, feb. 2020.

MUNYENDO, L. M.; NJOROGI, D. M.; OWAGA, E. E.; Mugendi, B. Coffee phytochemicals and post-harvest handling - A complex and delicate balance. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 102, p. 1-11, sep. 2021.

NAVEED, M.; HEJAZI, V.; ABBAS, M.; KAMBOH, A. A.; KHAN, G. J.; SHUMZAID, M.; AHMAD, F.; BABAZADEH, D.; FANGFANG, X.; MODARRESI-GHAZANI, F.; WENHUA, L.; XIAOHUI, Z. Chlorogenic acid (CGA): A pharmacological review and call for further research. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 97, p. 67-74, jan. 2018.

O'KEEFE, J. H.; DINICOLANTONIO, J. J.; LAVIE, C. J. Coffee for cardioprotection and longevity. **Progress in Cardiovascular Diseases**, v. 61, n. 1, p. 38-42, may-jun. 2018.

PECK, J. D.; LEVITON, A.; COWAN, L. D. A review of the epidemiologic evidence concerning the reproductive health effects of caffeine consumption: A 2000–2009 update. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 10, p. 2549-2576, oct. 2010.

PERRONE, D.; FARAH, A.; DONANGELO, C. M. Influence of coffee roasting on the incorporation of phenolic compounds into melanoidins and their relationship with antioxidant activity of the brew. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 17, p. 4265-4275, may 2012.

PETKOWICZ, C. L. O. Polysaccharides in coffee and their relationship to health: An overview. In: PREDDY, V. R. (ed.). **Coffee in health and disease prevention**. Cambridge: Academic Press, 2015. p. 163-172.

POOLE, R.; KENNEDY, O. J.; RODERICK, P.; FALLOWFIELD, J. A.; HAYES, P. C.; PARKES, J. Coffee consumption and health: umbrella review of meta-analyses of multiple health outcomes. **BMJ**, v. 359, j5024, nov. 2017.

PORTELA, C. S.; ALMEIDA, I. F.; MORI, A. L. B.; YAMASHITA, F.; BENASSI, M. T. Brewing conditions impact on the composition and characteristics of cold brew Arabica and Robusta coffee beverages. **LWT**, v. 143, 111090, may 2021.

PORTELA, C. S.; ALMEIDA, I. F.; REIS, T. A. D.; HICKMANN, B. R. B.; BENASSI, M. T. Effects of brewing conditions and coffee species on the physicochemical characteristics, preference and dynamics of sensory attributes perception in cold brews. **Food Research International**, v. 151, 110860, 2022.

PRIOR, R. L.; WU, X.; SCHAICH, K. Standardized Methods for Determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 10, p. 4290–4302, apr. 2005.

REIS, T. A. D.; CONTI, A. J.; BARRIENTOS, E. A. L.; MORI, A. L. B.; BENASSI, M. T. Instant coffee with steamed PVA beans: Physical-chemical and sensory aspects. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, 026119, 2019.

ROCHA, R. B.; TEIXEIRA, A. L.; RAMALHO, A. R.; SOUZA, F. F. Melhoria de *Coffea canephora* – considerações e metodologias. In: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. (ed.). **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 99-126.

RUFÍÁN-HENARES, J. A.; PASTORIZA, S. Melanoidins in coffee. In: PREDDY, V. R. (ed.). **Coffee in health and disease prevention**. Cambridge: Academic Press, 2015. p. 183–188.

RUFÍÁN-HENARES, J. A.; DE LA CUEVA, S. P. Antimicrobial activity of coffee melanoidins: A study of their metal-chelating Properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 2, p. 432-438, jan. 2009.

SALOMONE, F.; GALVANO, F.; VOLT, G. L. Molecular bases underlying the hepatoprotective effects of coffee. **Nutrients**, v. 9, n. 85, p. 1-13, jan. 2017.

SAMANIDOU, V. F. Determination of polyphenols and major purine alkaloids in coffee: An overview. In: PREDDY, V. R. (ed.). **Coffee in health and disease prevention**. Cambridge: Academic Press, 2015. p. 971-981.

SANTOS-SÁNCHEZ, N. F.; SALAS-CORONADO, R.; VILLANUEVA-CAÑONGO, C.; HERNÁNDEZ-CARLOS, B. Antioxidant compounds and their antioxidant mechanism. In: SHALABY, E. (ed.). **Antioxidants**. IntechOpen, 2019. p. 1-28.

SARRAGUÇA, M. C.; PÁSCOA, R. N. M. J.; LOPO, M.; SARRAGUÇA, J. M. G.; LOPES, J. A. Bioactive compounds in coffee as health promoters. In: SILVA, L. R. da; SILVA, B. (ed.). **Natural bioactive compounds from fruits and vegetables as health promoters Part II**. Xarja: Bentham Science Publishers, 2016. p.180-220.

SILVA, M. J. G.; SARAIVA, F. A. M.; SILVA, A. A. G.; SANTOS NETO, L. A.; QUERINO, C. A. S. Clima. In: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. (ed.). **Café na Amazônia**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2015. p. 41-54.

SOUZA, F. F.; FERRÃO, L. F. V.; CAIXETA, E. T.; SAKIYAMA, N. S.; PEREIRA, A. A.; DE OLIVEIRA, A. C. B. Aspectos gerais da biologia e da diversidade genética de *Coffea canephora*. In: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. (ed.). **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 83-98.

TEIXEIRA, A. L.; ROCHA, R. B.; ESPINDULA, M. C.; RAMALHO, A. R.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; ALVES, E. A.; LUNZ, A. M. P.; SOUZA, F. F.; COSTA, J. N. M.; FERNANDES, C. F. Amazonian Robustas - new *Coffea canephora* coffee cultivars for the Western Brazilian Amazon. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 3, e323420318, jul.sep. 2020.

VELÁSQUEZ, S.; BANCHÓN, C. Influence of pre-and post-harvest factors on the organoleptic and physicochemical quality of coffee: a short review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 10, p.1-13, aug. 2022.

VIENCZ, T.; ACRE, L. B.; ROCHA, R. B.; ALVES, E. A.; RAMALHO, A. R.; BENASSI, M. T. Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids, melanoidins, and diterpenes contents of *Coffea canephora* coffees produced in the Amazon. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 117, 105140, apr. 2023.

VIGNOLI, J. A.; BASSOLI, D. G.; BENASSI, M. D. T. Antioxidant activity of roasted and instant coffees: standardization and validation of methodologies. **Coffee Science**, v. 7, n. 1, p. 68-75, jun. 2012.

VIGNOLI, J. A.; MORI, A. L. B.; VIEGAS, M. C.; BASSOLI, D. G.; BENASSI, M. T. Comparative impact of different coffee constituents on the antioxidant capacity. In: KALSCHNE, D. L.; CORSO, M. P.; DIAS, R. C. E. **Innovations in Coffee Quality**. Hauppauge: Nova Science Publishers, 2020. p. 69-88.

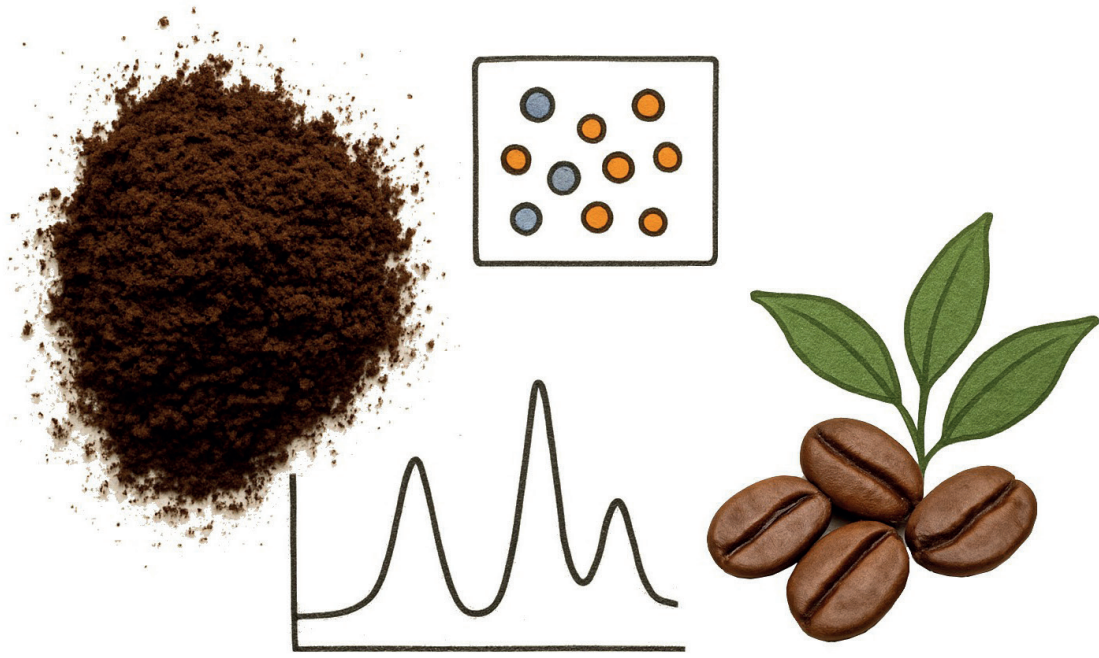
VIGNOLI, J. A.; VIEGAS, M. C.; BASSOLI, D. G.; BENASSI, M. T. Coffee brews preparation: extraction of bioactive compounds and antioxidant activity. In: MASSEY, J. L. **Coffee: Production, Consumption and Health Benefits** (Food and Beverage Consumption and Health). Hauppauge: Nova Publishers, 2016. p. 29-50.

VIGNOLI, J. A.; VIEGAS, M. C.; BASSOLI, D. G.; BENASSI, M. T. Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of arabica and robusta coffees. **Food Research International**, v. 61, n. 1, p. 279-285, jul. 2014.

VITAGLIONE, P.; FOGLIANO, V.; PELLEGRINI, N. Coffee, colon function and colorectal cancer. **Food & Function**, v. 3, n. 9, p. 916-922, sep. 2012.

WOŁOSIAK, R.; PAKOSZ, P.; DRUŻYŃSKA, B.; JANOWICZ, M. Antioxidant activity of coffee components influenced by roast degree and preparation method. **Applied Sciences**, v. 13, n. 4, 2057, feb. 2023.

YOSHINARI, O.; IGARASHI, K. Antidiabetic effects of trigonelline: Comparison with nicotinic acid. In: PREEDY, V.R. (ed.). **Coffee in Health and Disease Prevention**. Cambridge: Academic Press, 2015. p.765-775.



Capítulo 6

Abordagens baseadas em espectroscopia e reconhecimento de padrões para o estudo químico de *Coffea canephora*

Bárbara Zani Agnoletti,
Danieli Gracieri Debona,
Eustáquio Vinícius Ribeiro de Castro,
Emanuele Catarina da Silva Oliveira,
Paulo Roberto Filgueiras

Introdução

O café é um produto do agronegócio brasileiro, com grande peso para a balança comercial do país (Brasil, 2022). No *ranking* mundial de produção e exportação do grão beneficiado, o Brasil se mantém em primeiro lugar (Organização Internacional do Café, 2021). A produção interna está concentrada nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia e Rondônia. A cafeicultura brasileira está entre as mais competitivas do mundo (Ferrão et al., 2017), com produtividade média de 27,7 sacas beneficiadas por hectare (Conab, 2022). Do total produzido no país, cerca de 60% é de *Coffea arabica* (café arábica) e 40% é de *Coffea canephora* (conilon e robusta) (Conab, 2022).

No que se refere às variedades botânicas de *C. canephora*, o conilon é amplamente cultivado no estado do Espírito Santo e tem seu centro de origem em regiões de baixas altitudes e altas temperaturas do continente africano. Essa variedade botânica se diferencia pelo seu menor porte, maior resistência ao déficit hídrico e maior suscetibilidade a pragas e doenças (Ferrão et al., 2021). Em contraste, a variedade botânica robusta, que tem cultivo predominante no estado de Rondônia, tem seu centro de origem em regiões de floresta tropical do continente africano, se diferenciando do café conilon pelo maior porte, menor resistência ao déficit hídrico e maior resistência a pragas e doenças (Oliveira et al., 2018).

Convencionalmente, os cafés do grupo *C. canephora* têm sido atribuídos pelo mercado como uma bebida de qualidade inferior, servindo de base para a composição de *blends* com *C. arabica* e na fabricação de café solúvel (Agnoletti

et al., 2022). No entanto, mudanças no panorama mundial de produção e consumo tem repercutido na valorização do *C. canephora*, oportunizando, dessa forma, a inserção de conilons e robustas finos no mercado de cafés especiais (Moura; Tancredi, 2020).

No Brasil, a qualidade do *C. canephora* e do *C. arabica* é determinada pela Instrução Normativa nº 08, de 11 de junho de 2003, que classifica o café considerando aspectos físicos (defeitos, tamanho do grão) e sensoriais. Em função da qualidade da bebida, os cafés da espécie *C. canephora* são classificados, da melhor para a pior, em excelente, boa, regular e anormal (Brasil, 2003). No entanto, para concursos de qualidade em nível mundial e estudos científicos com aplicações de análise sensorial são comumente utilizados os procedimentos de degustação estabelecidos pelo Instituto de Qualidade do Café (*Coffee Quality Intitute* (CQI) em colaboração com a Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda (*Uganda Coffee Development Authority* (UCDA) (Autoridade de Desenvolvimento do Café de Uganda, 2010; Pereira et al., 2017; Louzada et al., 2018; Instituto de Qualidade do Café, 2019).

Para melhorar a qualidade do café, é essencial entender o metabolismo do grão e os fatores que influenciam no acúmulo de moléculas responsáveis pelo sabor durante seu desenvolvimento (Cheng et al., 2016). Muitos esforços têm sido conduzidos para entender mais sobre isso, nesse sentido métodos analíticos simples e rápidos, têm sido aplicados para avaliar os aspectos que influenciam na qualidade do grão (Baqueta et al., 2023).

Dentre as técnicas analíticas que têm se mostrado favoráveis para ensaios químicos de café, as espectroscopias na região do infravermelho médio (FTIR, do inglês Fourier Transform Infrared Spectroscopy) e a ressonância magnética nuclear (RMN) proporcionam uma grande quantidade de informação a partir de uma única medição, ou seja, um espectro FTIR pode conter milhares de variáveis, enquanto um espectro de RMN de alta resolução, contém até dezenas de milhares relacionadas à composição do café.

Frente a este fato e a necessidade de extrair informações específicas de grandes conjuntos de variáveis, somado ao avanço e popularização de recursos computacionais para a análise de dados, surge a quimiometria, área de conhecimento da química que oportuniza uma leitura mais completa de conjuntos de dados complexos, pois avalia simultaneamente múltiplas variáveis, possibilitando maior exploração das informações químicas neles contidas (Oliveri, 2017).

A quimiometria é dividida em três grandes áreas: planejamento e otimização de experimentos, calibração multivariada e reconhecimento de padrões. Os métodos de reconhecimento de padrões, que têm como principal objetivo extrair informações específicas visando a separação ou não do conjunto de amostras em classes, podem ser divididos em métodos supervisionados e não supervisionados. No primeiro caso, os dados são rotulados, sendo possível prever uma classe de interesse em que uma amostra se enquadra. Nos métodos não supervisionados, as informações iniciais das amostras não são introduzidas no algoritmo e busca-se identificar agrupamentos ou padrões no conjunto de dados (Brereton, 2015; Jiménez-Carvelo et al., 2019; Kemsley et al., 2019).

A análise de componentes principais (*principal component analysis*, PCA) é o método de reconhecimento de padrões não supervisionado mais utilizado. No estudo químico do café, tem sido aplicada para diferenciar amostras de *C. arabica* e *C. canephora* (Putri et al., 2019; Happyana et al., 2022), misturas adulteradas (Correia et al., 2018), origem geográfica (Santos; Alvarenga, 2020), métodos de processamento pós-colheita (Schievano et al., 2014; Brioschi Junior et al., 2021; Oliveira et al., 2022), perfis de torra (Monakhova et al., 2015; Finotello et al., 2017) e cafés de diferentes qualidades (Pereira et al., 2022).

No grupo de métodos supervisionados, a modelagem independente suave de analogia de classe baseada em dados (DD-SIMCA, do inglês *data-driven soft independent modeling of class analogy*), que visa distinguir amostras de uma classe específica a fim de contrastá-las com amostras de todas as outras classes, tem sido utilizada para resolver problemas de autenticação, onde o propósito principal é determinar se um objeto é, de fato, o que é declarado (Zontov et al., 2017).

Neste capítulo, serão apresentados os principais conceitos sobre a química do café, bem como o potencial de estratégias analíticas baseadas em técnicas de espectroscopia na região do infravermelho, ressonância magnética nuclear e análise de dados por métodos de reconhecimento de padrões não supervisionado (PCA) e supervisionado (DD-SIMCA), com o objetivo de demonstrar a aplicação no estudo da composição química de *Coffea canephora*, a fim de subsidiar um melhor entendimento sobre os componentes-chave que influenciam a sua qualidade.

A química do café

Os grãos de café cru possuem um aroma leve e típico. Todavia, o atrativo aroma e sabor do café são produzidos mediante reações químicas que ocorrem durante a torrefação, devido ao calor fornecido aos grãos ao longo de um determi-

nado tempo. Constituintes químicos presentes nos grãos de café cru podem resistir à torrefação, à medida que atuam como precursores de outros compostos, desempenhando um papel fundamental na formação da cor, aroma e sabor do café na xícara (Wang et al., 2021).

Na Figura 1 são apresentadas as estruturas químicas de alguns componentes-chave do café, como a cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos, sacarose e lipídios, considerados influenciadores de características sensoriais comercialmente importantes (Cheng et al., 2016).

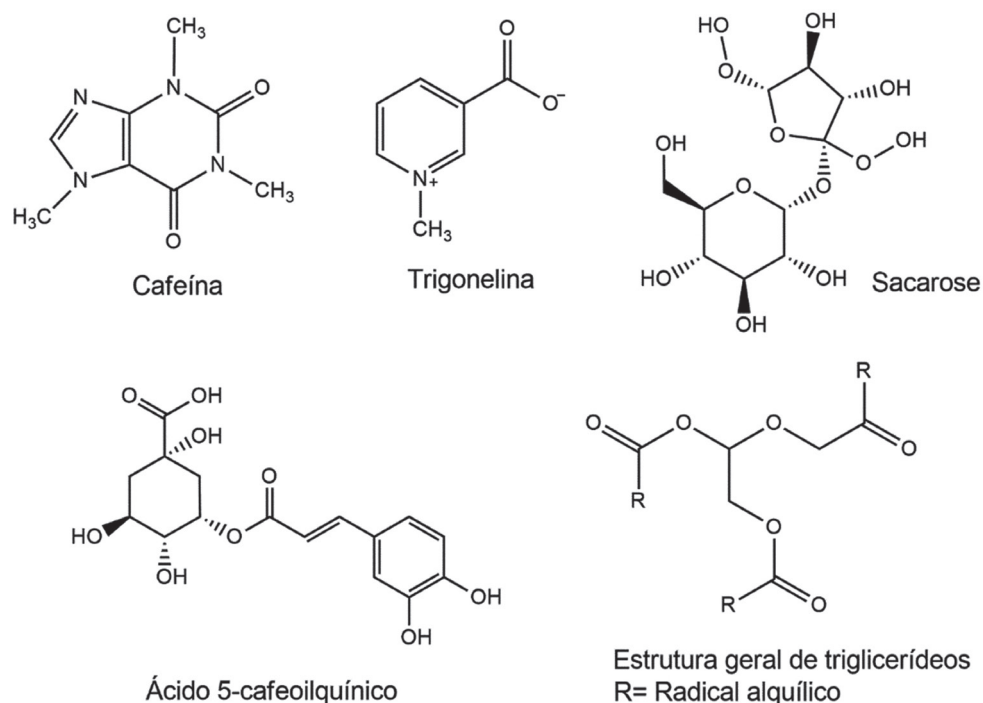


Figura 1. Estrutura química de compostos químicos sensorialmente importantes do café.

O conteúdo desses compostos no café pode variar substancialmente em função da espécie. Em relação aos grãos de *Coffea canephora*, o café arábica possui maiores níveis de lipídios (15%–18% vs. 8%–12%), sacarose (9%–13% vs. 6%–13%) e trigonelina (0,6%–1,2% vs. 0,3%–0,9%), e teores mais baixos de cafeína (0,8%–1,4% vs. 1,7%–4,0%) e ácidos clorogênicos (7%–9% vs. 7%–12%) (Lim et al., 2019).

Do ponto de vista sensorial, a cafeína é o principal responsável pelo amargor que contribui para a qualidade do café (Cheng et al., 2016). É um alcaloide natural e o componente bioativo mais conhecido do café, em virtude das suas propriedades estimulantes. Ao lado da cafeína, a trigonelina é o segundo alcaloide mais abundante nos grãos de café e sua presença na bebida também está associada ao amargor (Cheng et al., 2016; Hall et al., 2022). Por ser termoestável, a concentração de cafeína permanece relativamente constante durante a torra, logo, não contribui para o desenvolvimento do aroma. Em contraste, a trigonelina é um composto termolábil e se decompõe rapidamente, dependendo do tempo e temperatura de torrefação, para formar derivados voláteis e não voláteis (Farah et al., 2006; Cheng et al., 2016; Hall et al., 2022).

As principais classes voláteis formadas por reações pirolíticas da trigonelina são piridinas e pirróis. Além do mais, a desmetilação da trigonelina, gera o ácido nicotínico (niacina), uma vitamina do complexo B, solúvel em água, que contribui para a regulação do metabolismo humano, biodisponível em bebidas de café, e que compõe a porção não volátil dos produtos de degradação (Cheng et al., 2016; Farah et al., 2019).

Os ácidos clorogênicos são os principais representantes da fração fenólica dos grãos de café (Farah; Donangelo, 2006). Sua formação ocorre pela esterificação de ácidos cinâmicos, como os ácidos cafeico, ferúlico e *p*-cumárico, com o ácido quínico. Uma série de benefícios à saúde é associada ao consumo desses ácidos por causa das suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, sendo o café a principal fonte encontrada na natureza (Farah et al., 2008).

Diferentes subgrupos de ácidos clorogênicos podem ser encontrados no café, como ácidos cafeoilquínicos, di-cafeoilquínicos e feruloilquínicos, mas o ácido 5-cafeoilquínico é o mais abundante (Farah et al., 2008; Cheng et al., 2016). Estes compostos podem contribuir com a acidez da bebida (Cheng et al., 2016). Contudo, durante a torra, grande parte é degradada para formar produtos como ácidos cafeico e ferúlico, lactonas e outros derivados fenólicos, que resultam em aumento do amargor e adstringência da bebida (Cheng et al., 2016; Hall et al., 2022).

A sacarose é o açúcar mais abundante do café. A natureza e o conteúdo deste açúcar têm papel importante no sabor do café, formação de pigmentos e outros compostos voláteis e não voláteis, produzidos por condensação (reação de Maillard) e caramelização durante o processo de torra do grão. Além da sacarose,

outros glicídios, como glicose e frutose, que também estão fortemente envolvidos nas reações de Maillard e caramelização, atuam como importantes precursores de aroma do café (Toci et al., 2006; Poisson et al., 2018).

A reação de Maillard, se processa pela condensação de grupos carbonila em açúcares redutores com grupos amino em proteínas, peptídeos ou aminoácidos, resultando na formação de produtos Amadori. Estas moléculas são modificadas para espécies reativas α -dicarbonil (1 e 3-desoxiosona), que podem sofrer degradação de Strecker por condensação com aminoácidos livres, levando à formação de CO_2 , α -aminocetonas e aldeídos Strecker (Lund; Ray, 2017; Wang; Lim, 2017). Por sua vez, a reação entre aldeídos de Strecker com aminocetonas, seguida de heterociclicização, resulta em uma série de compostos voláteis aroma-ativos, como piridinas, pirazinas, tiazóis e pirróis (Caporaso et al., 2018).

As furanonas são produtos resultantes de reações que ocorrem com 1-desoxiosona, enquanto furfural e outros derivados furânicos são produzidos a partir de 3-desoxiosona (Wang et al., 2020). Durante as últimas etapas da reação de Maillard são formadas as melanoidinas, um grupo heterogêneo de polímeros contendo nitrogênio, responsáveis pela cor marrom característica do café (Rufián-Henares; Pastoriza, 2015).

Reações seguintes resultam ainda mais em produtos de fragmentação de açúcar. Durante a torrefação em alta temperatura, furaneol e hidroximetilfurfural são gerados por meio da caramelização do açúcar, na qual moléculas de água são eliminadas (Yeretzian et al., 2002; Hamzaloğlu; Gökmen, 2020). A maior parte da acidez gerada na torrefação do café pode ser atribuída à formação dos ácidos fórmico, acético, glicólico e láctico, cuja principal via de produção se dá pela degradação da sacarose (Ginz et al., 2000).

A fração lipídica do café é composta majoritariamente por triglicerídeos, que representam cerca de 75% do total. Além disso, o óleo de café contém diterpenos da família caureno, principalmente cafestol, kahweol e 16-O-metilcafestol, em proporções de até 20%. Estes compostos vêm recebendo cada vez mais atenção por causa dos seus diferentes efeitos fisiológicos. Na maior parte, os ácidos graxos estão presentes no estado combinado; aproximadamente 75% são esterificados com glicerol nos triglicerídeos, cerca de 20% são esterificados com diterpenos, e uma pequena proporção pode ser encontrada nos ésteres de esteróis (Speer; Kölling-Speer, 2006; Speer; Kölling-Speer, 2019).

A maior parte dos lipídios permanece estável durante a torrefação e seus efeitos na bebida estão relacionados a textura e sensação na boca (corpo). Por sua vez, a parcela lipídica alterada durante a torra, pode contribuir para formação de compostos voláteis com relevância sensorial, incluindo aldeídos, álcoois e cetonas (Oestreich-Janzen, 2010; Dias et al., 2014; Cheng, et al., 2016; Moreira et al., 2000).

Williamson e Hatzakis (2019) avaliaram o perfil dos produtos de oxidação lipídica após a torrefação e observaram a formação de aldeídos com a degradação de hidroperóxidos e outras cadeias insaturadas. Os álcoois presentes no café torrado também são descritos como um dos produtos secundários da degradação oxidativa de lipídios. Embora a síntese desses compostos também possa ocorrer por meio da quebra de carotenoides (Moreira et al., 2000).

A oxidação de lipídios, particularmente dos ácidos graxos insaturados, também está relacionada à produção de cetonas como, por exemplo, a 2,3-butanodiona e a hidroxiacetona. Essas cetonas podem participar posteriormente de reações que levam a formação de pirazinas ou de aldeídos de Strecker. A 2,3-butanodiona também é considerada um produto secundário da reação de Maillard. Já a β -damascenona é um produto característico da quebra de carotenóides (Moreira et al., 2000).

Assim como ocorre em outras vias (Wang; Lim, 2017), a degradação dos ácidos orgânicos presentes no café cru, durante a torração, também leva a produção de dióxido de carbono (Yeretzian et al., 2022). No entanto, os ácidos carboxílicos presentes em grande quantidade na fração volátil do café torrado apresentam odores bem característicos. A origem dos ácidos voláteis do café pode estar relacionada aos lipídios no café, à degradação térmica de ésteres e à oxidação de aldeídos e cetonas (Wang; Lim, 2017).

Finalmente, os ésteres e as lactonas também são importantes contribuintes para o aroma do café torrado. A maioria dos ésteres voláteis está presente no grão de café antes da torrefação, sofrendo pirólise durante o aquecimento. No entanto, ésteres furfúricos, são formados durante o processo de torrefação, podendo ser gerados a partir de reações de esterificação entre um ácido e um álcool presentes no café. No caso das lactonas, uma de suas possíveis vias de formação é pela degradação de ácidos graxos (Moreira et al., 2000).

Na Tabela 1 são apresentadas as principais classes de compostos produzidos durante a torrefação do grão verde e seus respectivos descritores aromáticos percebidos na bebida.

Tabela 5. Produtos voláteis produzidos durante a torra e seus descritores aromáticos.

Produtos voláteis	Descritores aromáticos
<i>Piridinas</i>	
Piridina	Azedo, amargo, queimado, fumaça
2-acetilpiridina	Milho, nozes
3-etilpiridina	Caramelo, torrado e avelã
2-metilpiridina	Avelã, adstringente
2,3-dimetilpiridina	Borracha, queimado
2-metoxipiridina	Verde, fermentado, chá
<i>Pirróis</i>	
Pirrol	Quente e levemente picante
1-metilpirrol	Esfumaçado
1-etilpirrol	Queimado
2-acetilpirrol	Tipo cumarina
2-formil-1-metilpirrol	Torrado, noz
1-metil-1h-pirrol	Defumado, amadeirado, herbal
1-furfurilpirrol	Legumes
2-formilpirrol	Café
<i>Compostos fenólicos</i>	
Fenol	Esfumaçado
Guaiacol	Pimenta, balsâmico, mofado, eugenol
4-vinilguaiacol	Esfumaçado, picante, tipo cravo
Vanilina	Baunilha, doce
4-etil-2-metoxifenol	Esfumaçado, picante
4-etilguaiacol	Doce
3-metilfenol	Fenólico
2-metilfenol	Mofado, fenólico
<i>Aldeídos</i>	
Propanal	Etéreo, pungente, terroso, alcoólico
Acetaldeído	Frutado
Benzaldeído	Frutado, cerveja
2-fenilacetaldeído	Doce, floral, mel
2-metilbutanal	Verde, maltado
3-metilbutanal	Frutado, maltado, cacau
Butiraldeído	Picante, cacau
4-Metoxibenzaldeído	Doce, baunilha, anis, amadeirado, cumarina

continua...

Tabela 5. Continuação.

Produtos voláteis	Descritores aromáticos
<i>Cetonas</i>	
Acetoína	Amanteigado, cremoso, tipo leite
2-butanona	Etéreo, frutado, canforado
2,3-butadiona	Cremoso, amanteigado, caramelo
β -damascenona	Mel, frutado
2-pentanona	Doce, frutado
2,3-pentadiona	Amanteigado, caramelo
1-hidroxi-2propanona	Pungente, caramelo, etéreo
1-hidroxi-2-butanona	Doce com nuances de malte
2-nonanona	Frutado tipo coco
3-hidroxi-2-butanona	Doce, amanteigado, cremoso
2-heptanona	Frutado, herbal, especiaria
<i>Pirazinas</i>	
Pirazina	Pungente, doce, avelã
2-acetil-3-metilpirazina	Batatas assadas, nozes
2,5-dimetilpirazina	Noz, torrado, terroso, cacau
2,6-dimetilpirazina	Noz, torrado, cacau, café
2,5-dimetil-3-etilpirazina	Noz, batata
2,3-dimetil-5-etilpirazina	Noz
3-isobutil-2-metoxipirazina	Pimentão verde
2-etenil-3-etil-5-metilpirazina	Terroso, noz
2-metilpirazina	Noz, cacau, torrado
2-dietilpirazina	Noz, amadeirado, torrado, cacau
2-etil-6-metilpirazina	Torrado, tipo avelã
2-metoxi-3-isobutilpirazina	Mofado, noz, tipo cumarina
2-etenil-3,5-dimetilpirazina	Terroso, mofado
2,3-dimetilpirazina	Noz, tipo café, caramelo, tipo cacau
2,3,5-trimetilpirazina	Noz, terroso, cacau
<i>Furanos</i>	
2-metilfurano	Etéreo
2,5-dimetilfurano	Etéreo
2,3,5-trimetilfurano	Café
Furfural	Amêndoa, amadeirado, amendoado
5-metil-furfural	Doce, caramelo, tipo café
Álcool furfurílico	Doce, caramelo
Acetato de furfurila	Doce, frutado, banana

Continua...

Tabela 5. Continuação.

Produtos voláteis	Descritores aromáticos
Furfuril formato	Etéreo
Propionato de Furfuril	Doce, frutado, verde
<i>Furanonas</i>	
4-hidroxi-2,5-dimetil-3(2H)-furanona (furaneol)	Caramelo, algodão doce, frutado
dihidro-2-metil-3(2H)-furanona	Doce, pão, amanteigado, noz
2-etil-4-hidroxi-5-metil-3(2H)-furanona	Doce, caramelo, doce
3-hidroxi-4,5-dimetil-2(5H)-furanona	Extremamente doce, caramelo, açúcar queimado
5-etil-3-hidroxi-4-metil-2(5H)-furanona	Tipo tempero, tipo caramelo
5-etil-4-hidroxi-2-metil-3(2H)-furanona	Doce, caramelo, pão, açúcar mascavo, queimado
<i>Terpenos</i>	
limoneno	Doce, cítrico, laranja
linalol	Cítrico, laranja, limão
geraniol	Floral, doce, rosa
α -terpeniol	Cítrico, amadeirado, limão
β -citronelol	Citronela, rosa, folhoso
β -mirceno	Amadeirado, cítrico, manga
Mentol	Refrescante, menta
<i>Compostos sulfurados</i>	
2-furfuriltiol	Assado, torrado (café), sulfuroso
2-metil-3-furantiol	Tipo carne
3-metiltiofeno	Assado, tipo carne
3-mercaptop-3-metilbutilformato	Groselha verde
3-metil-2-butenol-1-tiol	Tipo amina
Metanotiol	Enxofre, alho
Dimetilsulfeto	Vegetal, tomate
Benzotiazol	Cozido, café, nozes

Continua...

Tabela 5. Continuação.

Produtos voláteis	Descritores aromáticos
Furfuril metil sulfeto	Picante, alho
tiazol	Torrado
2,4-dimetil-5-etiltiazol	Noz, torrado, tipo carne, terroso
<i>Álcoois</i>	<i>Descritores aromáticos</i>
Álcool furfurílico	Doce, tipo pão, caramelo
3-mercaptop-3-metilbutanol	Avelã, torrado
Álcool 2-feniletílico	Floral, mel
2-tiofenemetanol	Sulfuroso
Etanol	Doce, floral
2-metilisoborneol	Terroso
Álcool isoamílico	Frutado, banana
Álcool isobutílico	Etéreo, vinho
1-octen-3-ol	Verde, oleoso, vegetativo
Álcool benzílico	Floral, frutado com nuances químicas
Álcool 2-feniletílico	Floral, rosa
1-pentanol	Doce, bálsamo
1-hexanol	Frutado e alcoólico
2-heptanol	Fresco, capim-limão, ervas
<i>n</i> -butanol	Oleoso
3-metil-1-pentanol	Frutado, vinho e cacau
Trans-3-hexen-1-ol	Verde
2,3-Butanodiol	Frutado, cremoso, amanteigado
1-decanol	Floral, laranja
1,2-propanodiol	Doce
1-propanol	Floral, com uma nuance doce de coco
<i>Ácidos</i>	
Ácido isopentanóico	Ácido
Ácido acético	Pungente, azedo, semelhante ao vinagre
Ácido 4-metilbutanóico	Doce, ácido
Ácido palmítico	Frutado
Ácido 2-metilbutírico	Suado
Ácido benzóico	Fraco, balsâmico

Continua...

Tabela 5. Continuação.

Produtos voláteis	Descritores aromáticos
Ácido butírico	Ácido, azedo
Ácido isobutírico	Ácido, azedo
Ácido hexanóico	Gorduroso, tipo queijo
Ácido nonanóico	Ceroso, semelhante a queijo
Ácido decanóico	Rançoso, azedo, gorduroso
Ácido isovalérico	Laticínios, ácido, azedo
Ácido valérico	Ácido, suado, rançoso
Ésteres	
Acetato de etil	Frutado, uva
Acetato de isoamila	Banana
Acetato de furfúril	Frutado
Etil hexanoato	Doce, frutado, abacaxi
Hexil acetato	Frutado, com notas de maçã e pêra
Butirato de etila	Doce, frutado, tutti-frutti
Acetato de isobutil	Frutado, com nuances de maçã e banana
Etil isobutirato	Doce, etéreo e frutado
Etil octanoato	Abacaxi e frutado com uma nuance láctea cremosa
Acetato de propil	Doce e frutado
Butirato de Propil	Frutado, doce, chiclete e tutti-frutti
Acetato de fenila	Floral, rosado, notas balsâmicas, chocolate amargo
Acetato de 2-furanmetanol	Etéreo, floral
Malonato de dietila	Doce, maçã, abacaxi
Etil octanoato	Abacaxi e frutado com uma nuance láctea cremosa
Acetato de metila	Frutado, vinhoso
Salicilato de metila	Semelhante a menta
Palmitato de metila	Ceroso, lírio
Palmitato de Etila	Ceroso, frutado, cremoso, balsâmico
Éster etílico do ácido fórmico	Frutado
Éster etílico do ácido acético	Gotas de pêra
Lactonas	
γ -Butirolactona	Cremoso, oleoso, gorduroso, caramelo
β -butirolactona	Cremoso, oleoso com nuances gordurosas
γ -hexanolactona	Doce, cremoso, baunilha
γ -Nonanolactona	Doce, coco

Fonte: Amanpour e Selli (2016), Bressanello et al. (2018), Caporaso et al. (2018), Pereira et al. (2019), Yeretizian et al. (2019), Pinheiro et al. (2021) e Wang et al. (2021)

Frente a complexidade química do café, o estudo integral dessa matriz, mediante o uso de técnicas analíticas que possibilitem a análise simultânea de diferentes compostos constitui potencial de interesse. Dessa forma, a espectroscopia na região do infravermelho e de ressonância magnética nuclear podem contribuir de forma expressiva para este fim.

Espectroscopia na região do infravermelho

A espectroscopia na região do infravermelho é uma técnica instrumental de relativo baixo custo capaz de identificar grupos funcionais de amostras diversas. Isso acontece porque apesar da radiação eletromagnética na região do infravermelho não ser capaz de provocar transições eletrônicas, ainda assim, causa movimentos vibracionais das ligações das moléculas dado ao processo de absorção de energia (Pavia et al., 2015).

Há dois tipos de vibrações, sendo o estiramento que são deformações axiais referente ao aumento e diminuição da distância entre átomos ao longo do eixo de ligação, e o dobramento ou deformação angular que se dá pela mudança no ângulo de ligação entre ligações com um átomo comum ou com o restante de uma molécula estática (Pavia et al., 2015). A Figura 2 exemplifica os modos de vibrações na região do infravermelho.

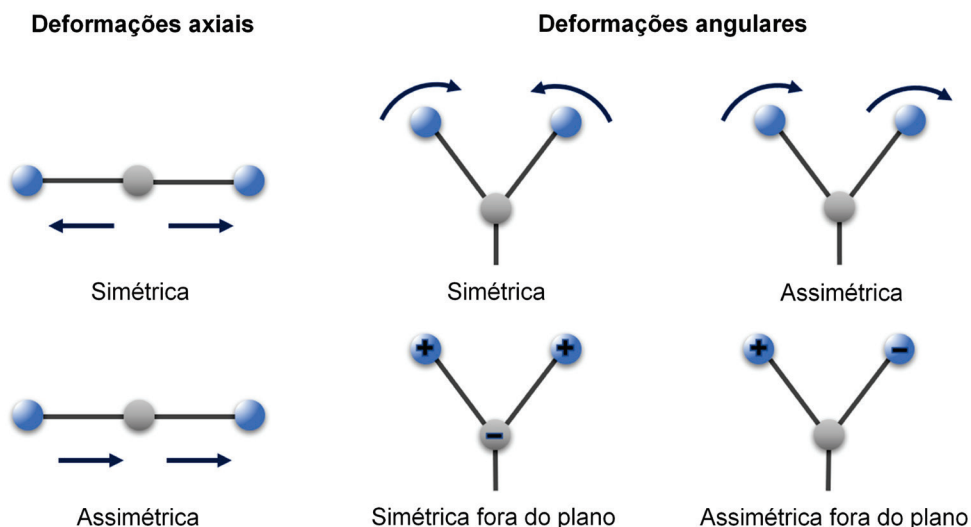


Figura 2. Modos de vibrações na região do infravermelho: deformações axiais e angulares. Fonte: Adaptado Pavia et al. (2015).

A região no espectro eletromagnético que compreende a radiação infravermelha está dividida em três faixas, assim se tem o infravermelho próximo (12800-4000 cm^{-1}), conhecido como NIR (do inglês *Near infrared spectroscopy*), associado aos sobretons e acoplamento de vibrações moleculares; infravermelho médio (4000-200 cm^{-1}), também chamado de MIR (do inglês *Mid Infrared Spectroscopy*) onde estão presentes as bandas resultantes das vibrações fundamentais das moléculas e; o infravermelho distante (FAR, do inglês *Far Infrared Spectroscopy*) situado entre 200-10 cm^{-1} , não sendo comumente utilizada para a matriz café (Pavia et al., 2015). Ao incidir sobre uma amostra qualquer, cada tipo de ligação química presente nas moléculas absorve a radiação em um comprimento de onda específico.

O instrumento utilizado para análise espectroscópica na região do infravermelho é o espectrofotômetro (Pavia et al., 2015). Há dois tipos de espectrofotômetro, o dispersivo e o de transformada de Fourier (FTIR, do inglês *Fourier transform infrared*). Os primeiros instrumentos comerciais utilizavam o sistema dispersivo, que atualmente é pouco empregado, enquanto o FTIR é usualmente utilizado para análises de cafés.

No espectrofotômetro, a radiação na região do infravermelho interage com a amostra a ser analisada, a radiação transmitida é comparada com aquela incidente, e assim se registra um resultado na forma de banda de absorção, característico do tipo de ligação química das moléculas mais abundantes presentes nessa amostra. Em um interferômetro de Michelson o feixe da radiação é dividido de modo que reflita simultaneamente a partir de um espelho em movimento e de um espelho fixo. Os feixes refletidos voltam a se combinar e são direcionados para o detector que geram uma resposta na forma de um gráfico de tempo contra a intensidade do sinal, chamado de interferograma. Após isso, por meio da transformada de Fourier a resposta do detector no domínio tempo é convertida para o domínio frequência dando origem aos espectros (Beatriz; Lacerda, 2018).

A Figura 3, ilustra graficamente espectros obtidos na região do infravermelho médio com transformada de Fourier de cafés arábica e conilon, bem como as regiões atribuídas à absorção de vibrações de importantes compostos químicos do café.

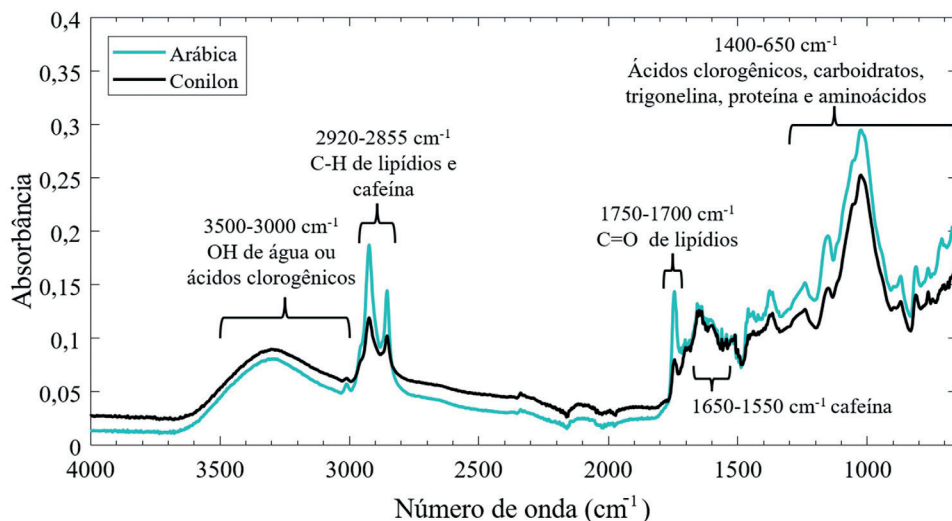


Figura 3. Espectros obtidos na região do infravermelho médio com transformada de Fourier de cafés arábica e conilon e regiões atribuídas a importantes marcadores químicos do grão.

Fonte: Craig et al. (2012); Craig et al. (2015); Fioresi et al. (2021) e Munyendo et al. (2022).

Conforme observado no espectro da Figura 3 e reafirmado por Oliveira et al. (2020), numerosas são as bandas de absorção no espectro na região do infravermelho médio do café, o que reflete tamanha complexidade química de sua composição. Estudos inferem que as bandas em 2940 cm^{-1} e 2840 cm^{-1} correspondem a vibrações das ligações C-H que podem estar associadas a presença de moléculas de lipídios e cafeína. Em 1643 cm^{-1} ocorre a vibração de estiramento do C=O que podem ser da molécula de cafeína. As bandas 2922 cm^{-1} , 2852 cm^{-1} e 1743 cm^{-1} também podem estar associadas a lipídios. Entre 3200 cm^{-1} e 2400 cm^{-1} pode ocorrer absorções de O-H presentes em ácidos carboxílicos. A região espectral entre 1450 cm^{-1} e 1150 cm^{-1} pode ser característica de ácidos clorogênicos. Em 1608 cm^{-1} ocorrem vibrações do grupo C-N que pode inferir a presença das moléculas da cafeína e trigonelina. Os carboidratos geralmente têm bandas de absorção na região entre 1400 cm^{-1} e 900 cm^{-1} . Bandas de absorção na faixa de $900\text{-}650\text{ cm}^{-1}$ sugerem a presença de dímeros de ácido carboxílico, aminas ou amidas e, portanto, a presença de aminoácidos e moléculas de proteína (Craig et al., 2018; Belchior et al., 2020; Oliveira et al., 2020; Fioresi et al., 2021; Munyendo et al., 2022).

A técnica de infravermelho tem sido empregada para compreensão de diversos fenômenos em prol do café. Silva et al. (2021) utilizaram a espectroscopia na região do infravermelho médio junto com ferramentas quimiométricas para fins de autenticação, apresentando resultados e modelos satisfatórios. Fioresi et al. (2021) usaram o MIR para avaliar cafés da espécie *Coffea arabica* e *Coffea canephora* submetidos a diferentes técnicas de fermentação com a intenção de identificar diferenças de suas composições químicas e sugerir o melhor método fermentativo para cada espécie.

Utilizando o infravermelho próximo na previsão de teor de gorduras em cafés, Yuwita et al. (2019), avaliaram a técnica como uma ferramenta eficiente para tal finalidade. Couto et al. (2022) utilizaram a espectroscopia na região do infravermelho próximo para a detecção de múltiplos adulterantes em cafés torrados e moídos, se mostrando viável para tal fim e também para discriminação de origem. Por fim, Baqueta et al. (2020) conseguiram prever a granulometria, umidade, cor e tempo de infusão em cafés torrados e moídos por meio do NIR e ferramentas quimiométricas.

Esses são alguns dos diversos exemplos de aplicação da técnica de espectroscopia na região do infravermelho em cafés, o que demonstra sua potencialidade. Entretanto é importante, também, destacar o grau analítico da técnica de ressonância magnética nuclear.

Espectroscopia de RMN

Diferentemente da espectroscopia na região do infravermelho que revela os tipos de grupos funcionais presentes em uma molécula, a ressonância magnética nuclear (RMN) faz uso das propriedades magnéticas de alguns núcleos. Vários núcleos atômicos podem ser analisados pela técnica de RMN, mas o de hidrogênio (^1H) é o mais estudado para café. Um forte campo magnético externo aplicado é capaz de interagir com esses núcleos, que se comportam como pequenos ímãs. Esse comportamento possibilita a aquisição de informações sobre a estrutura de moléculas orgânicas (Pavia et al., 2015).

Os núcleos não se encontram livres no espaço, mas estão envoltos por elétrons que são partículas carregadas. Sob influência de um campo magnético externo, os elétrons que se movimentam circularmente ao redor do núcleo, geram seus próprios campos magnéticos, os quais são opostos ao campo magnético externo. Como resultado, enquanto os núcleos desblindados experimentam a magnitude

completa do campo externo, os núcleos blindados experimentam um campo magnético menor.

A frequência de ressonância de um núcleo em relação a um padrão (por exemplo, o tetrametilsilano, $((\text{CH}_3)_4\text{Si})$, depende do ambiente químico local e, por isso, um espectro de RMN é útil na determinação estrutural de uma molécula. Na RMN de ^1H , é possível identificar o número núcleos de hidrogênio magneticamente diferentes da molécula (Pavia et al., 2015).

Na Figura 4 são apresentados espectros de RMN de ^1H obtidos de amostras de café arábica e conilon. Também é exemplificado, para a molécula de cafeína, o comportamento de cada núcleo de hidrogênio não equivalente em função do ambiente químico. Para mais, são mostrados os sinais atribuídos às principais substâncias químicas presentes no café.

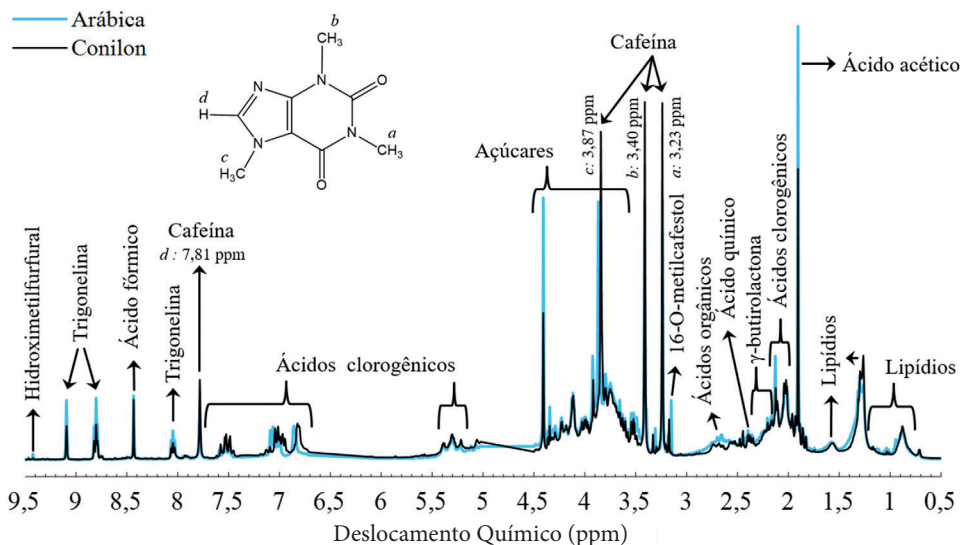


Figura 4. Espectros RMN de café arábica e conilon e sinais atribuídos a importantes moléculas do café.

Fonte: Santos et al. (2020); Brioschi Júnior et al. (2021); Oliveira et al. (2021); Agnoletti et al. (2022).

Em um espectro de RMN de ^1H , a área de cada sinal é proporcional ao número de núcleos que o geram. Assim, para a cafeína, pode-se observar, pela Figura 4, quatro sinais característicos de átomos de hidrogênio da sua molécula,

em 7,81 (CH, *d*); 3,87(CH₃, *c*); 3,40 (CH₃, *b*); e 3,23 ppm (CH₃, *a*). Outros sinais de interesse no café são verificados nas regiões entre 1,2 - 0,76 e 1,65 - 1,54 ppm atribuídos a lipídios; ácidos clorogênicos em 2,13 - 1,95 ppm e 7,70 - 6,70 ppm; 16-OMC em 3,17; açúcares em 4,50 - 3,52 ppm; trigonelina em 8,14 - 7,90, 8,91 - 8,73 e 9,20 - 9,02; ácido acético em 1,90 ppm; ácidos orgânicos em 2,71 - 2,62 ppm; e, hidroximetilfurfural em 9,50 - 9,37 ppm (Santos et al., 2020; Brioschi Junior et al., 2021; Agnoletti et al., 2022; Oliveira et al., 2022).

Schievano et al. (2014), autenticaram amostras com misturas de cafés das espécies *C. canephora* e *C. arabica* por meio da RMN e descobriram que o 16-OMC é útil para monitorar a autenticidade do café, bem como o teor de robusta nas misturas. Monakhova et al. (2015) utilizaram a técnica de RMN para verificar a presença de marcadores específicos das espécies arábica e robusta. Uma abordagem direcionada permitiu a identificação dos diterpenos 16-OMC em robusta e caveol em arábica para atribuição das espécies de café. Além disso, Finotello et al. (2017) aplicaram a RMN na quantificação do teor de 16-OMC e caveol em *Coffea canephora* var. robusta, em cafés de diferentes origens geográficas.

Okaru et al. (2020) validaram o método de RMN para a triagem de rotina do café quanto à qualidade e autenticidade. Para isso, avaliaram o tempo de extração e natureza dos cafés no conteúdo de cafeína, 16-OMC, caveol, álcool furfurílico e 5-hidroximetilfurfural (HMF). Agnoletti et al. (2022), utilizando dados espectrais obtidos por RMN, constataram que o tipo de fermentação aplicado em *Coffea canephora* var. conilon, durante o processamento pós colheita, influencia no conteúdo de 16-OMC. Pereira et al. (2022), avaliaram o perfil microbiano, químico e sensorial do café natural e despulpado fermentado com e sem anaerobiose induzida, para determinação do perfil químico utilizaram a RMN. Como resultado conseguiram provar que a RMN é uma técnica confiável, pois além de diferenciar os cafés fermentados é capaz de identificar metabólitos, como ácido clorogênico, sacarose, ácido láctico e trigonelina nos cafés fermentados.

Diante das aplicações citadas, percebe-se que as técnicas espectroscópicas geram resultados confiáveis para a pesquisa com cafés, entretanto os dados gerados apresentam uma grande quantidade de variáveis que por vezes não conseguem ser tratadas estatisticamente por ferramentas convencionais. Nesse sentido a análise multivariada de dados, como a análise de componentes principais e a modelagem independente suave de analogia de classe baseada em dados, convergem potencialmente para a melhorar a interpretação dos resultados.

Análise de componentes principais

Grandes conjuntos de dados são cada vez mais difundidos em diferentes áreas de estudo. Para interpretar esses conjuntos são necessários métodos que reduzam drasticamente sua dimensionalidade de maneira interpretável, de modo que a maior parte das informações dos dados originais seja preservada. Muitas técnicas foram desenvolvidas para esse fim, mas a análise de componentes principais (PCA, do inglês *principal component analysis*) é uma das mais antigas e utilizadas. Sua ideia consiste em reduzir a dimensionalidade de um conjunto de dados, preservando o máximo possível da sua ‘variabilidade’ (ou seja, informações relevantes) (Jolliffe; Cadima, 2016).

A PCA é um método de reconhecimento de padrões não supervisionado capaz de transformar uma matriz de dados experimentais em gráficos informativos acerca da similaridade entre as amostras e as respectivas variáveis responsáveis por isso (Valderrama et al., 2016). O princípio básico da PCA consiste na organização dos dados em uma matriz X contendo o conjunto original de variáveis, em que as linhas representam as amostras e as colunas as variáveis (por exemplo, número de onda em infravermelho ou deslocamento químico da RMN). O funcionamento da análise de componentes principais se processa pela decomposição da matriz X em um produto de duas outras matrizes, uma matriz denominada de *scores* ou *escores* (T) e outra matriz denominada de *loadings* ou pesos (P), conforme equação 1:

$$X = T P^T + E \quad (1)$$

Em que E corresponde a matriz de resíduos.

Essa decomposição é realizada quando novos eixos são calculados no espaço multidimensional dos dados experimentais. Os novos eixos, ou componentes principais (PC, do inglês *principal component*), são traçados de modo a conter sucessivamente a maior porcentagem da variância em uma dada direção e são ortogonais entre si. Esse procedimento reduz a dimensionalidade dos dados experimentais por agrupar as informações correlacionadas em uma mesma PC (Valderrama et al., 2016).

A matriz de escores (T) contém informações acerca das amostras, ou seja, das linhas da matriz X , enquanto que os *loadings* (P) fornecem informações sobre as variáveis, ou colunas de X . Os resultados da decomposição da matriz X em escores e *loadings* podem ser interpretados graficamente (Valderrama et al., 2016).

Para compreender a aplicação da PCA em dados químicos de café, uma matriz de dados obtidos por espectroscopia na região do infravermelho médio com transformada de Fourier (FTIR) contendo 48 amostras foi utilizada. Dessas 48 amostras, 24 eram de café arábica e 24 conilon e, portanto, a finalidade desta aplicação consistiu em obter dois grupos de amostras separadas conforme seu perfil químico.

Os espectros FTIR do grão torrado e moído (granulometria fina) foram adquiridos em espectrômetro modelo Cary 630 FTIR do fabricante Agilent Technologies, usando um acessório de reflexão total atenuada. As condições de análise das amostras foram fixadas em oito varreduras consecutivas, com resolução de 4 cm^{-1} na faixa de trabalho de $4000\text{ a }650\text{ cm}^{-1}$. Para a análise dos dados, foi utilizado o *software* Matlab R2013.

Para melhor ilustrar a organização da matriz de dados utilizada, um exemplo gráfico é apresentado na Figura 5.

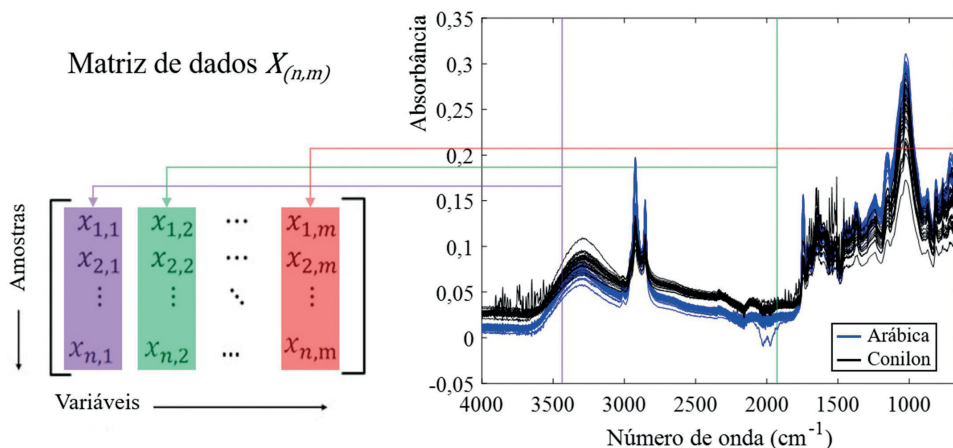


Figura 5. Representação da organização dos dados na matriz X.

Anteriormente à construção do modelo PCA, foi aplicado aos dados a correção do espalhamento multiplicativa (*MSC*, do inglês *multiplicative scatter correction*) como método de pré-processamento, a fim de reduzir a variação de linha de base, evidentes principalmente nas extremidades e em bandas de alta intensidade dos espectros, que ocorre por causa do efeito de espalhamento na faixa espectral (Figura 6A). Esses efeitos de espalhamento são causados por fenômenos físicos

como mudanças no caminho ótico, na sensibilidade do detector e do amplificador, variações na temperatura e na pressão além de diferenças no tamanho e na forma das partículas sólidas (pós e grãos), e não tem nada a ver com a composição das amostras (Ferreira, 2015).

Na Figura 6B são apresentados os dados pré-processados pelo método MSC, na qual se observa a redução da variação da linha de base dos espectros, evitando este tipo de problema que pode influenciar negativamente nos resultados finais.

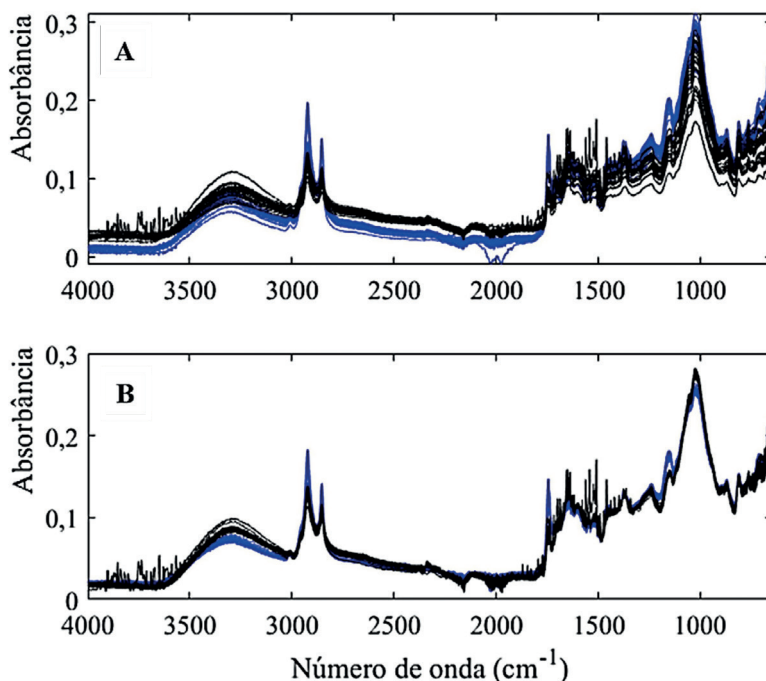


Figura 6. Espectros FTIR brutos (A) e processados por MSC (B).

A matriz de dados pré-processada foi submetida à análise de componentes principais, a fim de investigar tendências amostrais referentes às espécies e, a partir disso, descobrir as regiões espectrais relacionadas aos compostos químicos responsáveis por essas tendências.

Durante a elaboração do modelo PCA, os dados foram centrados na média, na qual calcula-se o valor médio de cada coluna da matriz de dados e, a seguir,

esse valor é subtraído de cada um dos valores da respectiva coluna. O resultado desse pré-processamento é apenas uma translação de eixos para o valor médio de cada um deles, consequentemente, a estrutura dos dados é totalmente preservada. Após este procedimento o centro do conjunto de dados passa a ser a origem, assim, podemos analisar quanto cada amostra se distancia da origem (ou média do conjunto de dados) no gráfico dos escores.

Os resultados da PCA são graficamente apresentados na Figura 7. O gráfico de escores (Figura 7A) mostra a separação das amostras de café arábica e conilon ao longo da PC1, na qual a primeira espécie ficou situada no sentido negativo da PC1 (segundo e terceiro quadrantes), enquanto a segunda espécie ficou concentrada no sentido positivo da PC1 (primeiro e quarto quadrantes).

Na Figura 7B é exibido o espectro médio das 48 amostras de café para facilitar a comparação das bandas de importância na separação das espécies demonstradas pelo gráfico de *loadings* (Figura 7C). Bandas situadas na porção negativa indicam maior relação com a separação de amostras de café arábica, à medida em que aquelas na região positiva possuem maior relação com amostras de café conilon.

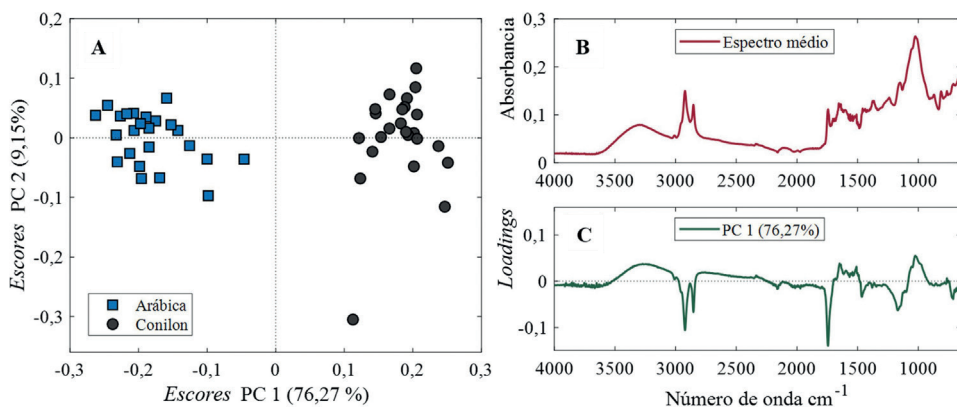


Figura 7. Resultados do PCA. Gráfico de escores (A). Espectro médio (B) e gráfico de *loadings* (C).

A região que compreende os valores de número de onda entre 2940 cm^{-1} - 2840 cm^{-1} é relacionada a bandas de estiramento simétrico e assimétrico de ligações C-H de grupos CH_2 e CH_3 (Munyengo et al., 2022). Segundo Craig et al.

(2015), o estiramento simétrico e assimétrico do CH_2 está altamente relacionado com a presença de lipídios, enquanto a vibração do CH_3 é atribuída a cafeína. Já a banda em 1747 cm^{-1} pode sinalizar vibrações do grupamento C=O de ésteres de triglicerídeos (Munyengo et al., 2022). Portanto, os lipídios são os principais compostos químicos relacionados a separação dos cafés arábica e conilon.

Para o café conilon são observados *loadings* positivos em valores de número de onda entre $3500\text{--}3000$, $1670\text{--}1490$, e $1080\text{--}940\text{ cm}^{-1}$. A banda em 1067 cm^{-1} pode ser atribuída a estruturas de ácido pirúvico, piridina e ácido quínico, enquanto a banda em 3356 cm^{-1} pode dizer respeito aos ácidos clorogênicos. Oscilações na intensidade espectral entre 1000 e 1750 cm^{-1} estão geralmente relacionadas aos alcaloides trigonelina e cafeína (Fioresi et al., 2021; Munyengo et al., 2022).

Happyana et al. (2022) avaliaram diferenças no perfil químico de cafés arábica e robusta Gayo, da província de Aceh na Indonésia. Para isso, os autores utilizaram dados químicos obtidos por de RMN de ^1H e PCA. Os resultados encontrados revelaram uma separação efetiva das espécies, de modo que os ácidos graxos contribuíram positivamente para amostras de café robusta, ao mesmo tempo em que sinais atribuídos a trigonelina, açúcares (galactose e manose) e ácido acético foram característicos para cafés arábica torrados (Happyana et al., 2022).

No pós-colheita, o método de processamento utilizado influencia diretamente o perfil químico do grão e, consequentemente, sua qualidade. Existem três métodos comumente usados: seco, úmido e semi-seco. No processamento seco, os frutos intactos são submetidos à secagem, denominado café natural. No processamento úmido são incluídas as etapas de remoção mecânica da casca e a polpa, degradação microbiana (fermentação) da mucilagem e, posterior secagem. Neste processo, o café obtido é denominado cereja descascado. Já no processamento semi-seco, os frutos do café são despulpados mecanicamente e, em seguida, submetidos à secagem (Pereira et al., 2019; Agnoletti et al., 2022).

Por sua vez, o processo de fermentação resulta na degradação da mucilagem, camada localizada entre o endocarpo e o mesocarpo dos frutos. A mucilagem é abundante em açúcares, o que permite a ação de microrganismos, principalmente leveduras e bactérias. O crescimento microbiano leva à produção de inúmeras substâncias, que podem se difundir na polpa e impactar a qualidade da bebida por meio do excremento metabólico de microrganismos (Pereira et al., 2019; Agnoletti et al., 2022).

Com a finalidade de identificar a química relacionada à discriminação de cafés conilon submetidos a métodos seco e úmido, Agnoletti et al. (2022) utilizaram a análise discriminante de Fisher associada a PCA em espectros de RMN de ^1H . Esta estratégia analítica resultou na separação das amostras em função do método aplicado, sendo os lipídios responsáveis pela separação, com um maior acúmulo identificado em café natural. Neste mesmo trabalho, a PCA foi utilizada para avaliar diferentes condições de fermentação de cafés submetidos aos métodos seco e úmido. Como resultado, foi verificada a relação entre lipídios com a qualidade de cafés conilon fermentados (Agnoletti et al., 2022).

DD-SIMCA

Apesar da tendência generalizada de considerar qualquer problema analítico como quantitativo, a análise de alimentos é frequentemente realizada para abordar questões qualitativas. Neste caso, a resposta ao problema de interesse pode ser fornecida pela aplicação de estratégias multivariadas de classificação sobre os dados analíticos. Assim, quando é possível definir e amostrar duas ou mais classes, os métodos de classificação multiclasse, como a análise discriminante linear (LDA, do inglês *linear discriminant analysis*) e análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA, do inglês *partial least squares-discriminant analysis*), podem representar uma solução adequada (Oliveri, 2017).

Por outro lado, quando o interesse é focado em uma única classe-alvo e o objetivo é verificar se um conjunto de amostras é compatível ou não com as características de uma única classe de interesse, uma abordagem de modelagem de classe deve ser adotada (Oliveri, 2017).

Um dos métodos de modelagem de classe é o DD-SIMCA (do inglês *Data Driven Soft Independent Modelling of Class Analogy*), que provou ser altamente eficaz na resolução de problemas de classificação de uma classe, tendo sido utilizado na autenticação e identificação de adulterantes em óleo de coco virgem e na avaliação da origem geográfica de arroz (Manuel et al., 2022; Quinn et al., 2022). Aplicado a dados químicos de café, o DD-SIMCA contribuiu para a autenticação de amostras de café arábica *gourmet* e na classificação de cafés especiais brasileiros cultivados em sistema agroflorestal (Araújo et al., 2021; Manuel et al., 2022).

O DD-SIMCA foi desenvolvido por Zontov et al. (2017), que descrevem matematicamente as principais etapas do desenvolvimento do modelo de classificação.

Este algoritmo tem como base a decomposição da matriz de dados de treinamento, utilizada como classe alvo, pela análise de componentes principais. Com os resultados da decomposição PCA são calculadas para cada amostra de treinamento a distância de pontuação e a distância ortogonal. Posteriormente a área de aceitação, ou limites de corte para a classe alvo é determinada considerando o erro tipo I (α). O valor α fornecido designa o erro do tipo I, ou seja, uma parcela das decisões falso-negativas, que correspondem à classificação incorreta de amostras que pertencem à classe alvo (Zontov et al., 2017).

Cada amostra do conjunto de treinamento é caracterizada por sua posição no gráfico de aceitação e possui um status de amostra ‘regular’, que é atribuída à classe alvo, ou ‘extrema’, uma amostra localizada fora da área de aceitação, sendo determinada como não membro, mas não necessariamente um *outlier*. Para a identificação de *outliers*, um segundo nível de corte é definido (Zontov et al., 2017). *Outliers* designam amostras discrepantes do grupo e sua presença pode prejudicar a performance do modelo.

Por fim, no modelo estabelecido são classificadas as novas amostras pertencentes ao conjunto de teste. Adicionalmente, é calculado o valor do erro tipo II (β), que é a taxa de decisões falso-positivas, ou seja, amostras não membro classificadas como pertencentes à classe alvo (Zontov et al., 2017). Para avaliar o desempenho do modelo construído são comumente calculados os parâmetros de sensibilidade e especificidade. A sensibilidade é o número de acertos de amostras pertencentes à classe alvo, enquanto a especificidade reflete a capacidade do modelo em classificar corretamente as amostras não membro (pertencentes a outras classes).

Para melhor ilustrar a aplicação do DD-SIMCA em dados químicos de café, espectros FTIR de café conilon foram utilizados para compor uma nova matriz de dados. Os espectros foram tomados conforme anteriormente relatado na aplicação do PCA. Para compor a classe alvo (conjunto de treinamento) foram utilizadas 15 amostras de café conilon submetidas ao processamento seco (natural) no pós-colheita, à medida que o conjunto de novas amostras, utilizadas como teste, foi composto por 20 amostras de café conilon processado pelo método úmido (cereja descascado) e cinco amostras de café natural (processamento a seco). Anteriormente à construção do modelo, o conjunto de treinamento e teste foram submetidos ao processamento MSC e, durante a construção do modelo, os dados foram centrados na média.

O algoritmo DD-SIMCA foi implementado como uma interface gráfica para Matlab. Ela fornece de maneira fácil a elaboração de modelos de uma classe para serem aplicados na classificação de novas amostras (conjunto teste). A interface é disponibilizada gratuitamente (Zontov et al., 2017). Para a construção do modelo, o nível de significância adotado foi de 5% para erros do tipo I (taxa de falsos negativos) e II (taxa de falsos positivos). Para estabelecer o limite de *outlier* foi utilizado o nível de significância de 1%. A escolha do número ideal de componentes principais foi baseada na maior taxa de classificação correta do modelo construído.

Na Figura 8 são apresentados os resultados do DD-SIMCA. Para o conjunto de treinamento (Figura 8A), o modelo alcançou 100% de sensibilidade, pois todas as amostras pertencentes à classe alvo (café natural) ficaram dentro da área de aceitação para esta classe. Nenhum *outlier* foi identificado no conjunto de treinamento, já que nenhuma amostra ficou fora do limite de corte de *outlier*. Para o conjunto teste (Figura 8B), o modelo apresentou 100% de sensibilidade na classificação de amostras de café natural (classe alvo), e 100% de especificidade na classificação de amostras consideradas como não-alvo (ou não membros), já que todas as amostras de cafés submetidos ao método de processamento úmido (cereja descascado) ficaram fora da área de aceitação para amostras pertencentes à classe alvo.

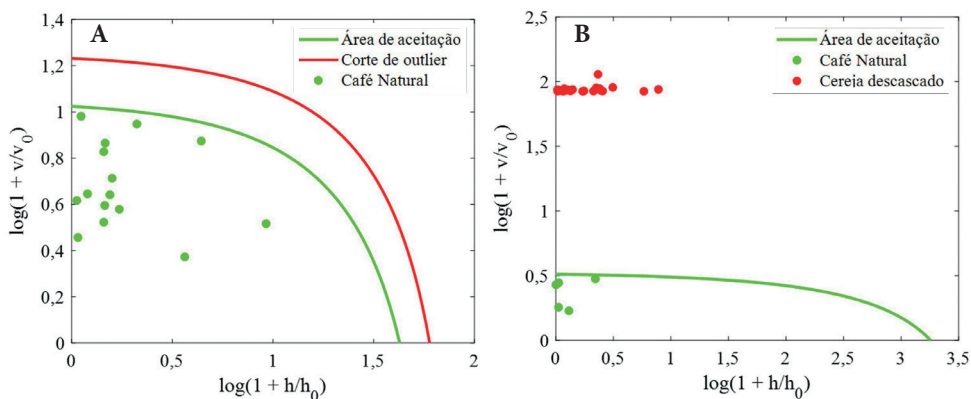


Figura 8. Resultados do DD-SIMCA. Conjunto de treinamento (A). Conjunto de teste (B).

O resultado da classificação do modelo DD-SIMCA demonstra a sensibilidade e especificidade analítica da metodologia aplicada na diferenciação de métodos de processamento pós-colheita do café conilon. O potencial de aplicação desta estratégia pode, por exemplo, contribuir para a autenticidade de amostras em concursos, na qual o método de processamento pós-colheita é estabelecido como um critério de seleção. Além disso, o DD-SIMCA pode ser aplicado em outras áreas de estudo químico do *Coffea canephora*, como na avaliação da origem geográfica, na autenticação genética das variedades desta espécie e, na verificação de ações fraudulentas.

Considerações finais

A multiplicidade química do café interpela meios para o desenvolvimento de metodologias que permitem ao analista identificar compostos de interesse e descobrir relações significativas no que se refere às variáveis inerentes ao processo produtivo do café que encerram a busca pela qualidade sensorial de sua bebida.

Estratégias baseadas no uso de técnicas espectroscópicas associadas a métodos de reconhecimento de padrões têm ganhado cada vez mais expressão para a análise de dados químicos do café.

A espectroscopia na região do infravermelho e a ressonância magnética nuclear oportunizam a determinação do perfil químico do café de forma ampla com base na “impressão digital” da amostra.

No âmbito dos métodos de reconhecimento de padrões, a PCA fornece de forma simplificada a interpretação de grandes conjuntos de dados químicos. Não obstante, o DD-SIMCA apresenta grande potencial no entendimento das particularidades analíticas que governam problemas de autenticação.

O empenho na investigação química de *Coffea canephora* utilizando ferramentas analíticas avançadas reflete na originalidade de pesquisas direcionadas para a melhoria da sua qualidade.

Referências

- AGNOLETTI, B. Z.; GOMES, W. S.; OLIVEIRA, G. F.; CUNHA, P. H.; NASCIMENTO, M. H. C.; NETO, A. C.; PEREIRA, L. L.; CASTRO, E. V. R.; OLIVEIRA, E. C. S.; FILGUEIRAS, P. R. Effect of fermentation on the quality of conilon coffee (*Coffea canephora*): Chemical and sensory aspects. **Microchemical Journal**, v. 182, 107966, nov. 2022.
- AMANPOUR, A.; SELLI, S. Differentiation of Volatile Profiles and Odor Activity Values of Turkish Coffee and French Press Coffee. **Journal of Food Process and Preservation**, v. 40, n. 5, p. 1116-1124, oct. 2016.
- ARAÚJO, T. K. L.; NÓBREGA, R. O.; FERNANDES, D. D. S.; ARAÚJO, M. C. U. de; DINIZ, P. H. G. D.; SILVA, E. C. Non-destructive authentication of Gourmet ground roasted coffees using NIR spectroscopy and digital images. **Food Chemistry**, v. 364, 130452, dec. 2021.
- BAQUETA, M. R.; ALVES, E. A.; VALDERRAMA, P.; PALLONE, J. A. L. Brazilian Canephora coffee evaluation using NIR spectroscopy and discriminant chemometric techniques. **J. Food Composition and Analysis**, v. 116, 105065, mar. 2023.
- BAQUETA, M. R.; COQUEIRO, A.; MARÇO, P. H.; VALDERRAMA, P. Quality Control Parameters in the Roasted Coffee Industry: a Proposal by Using MicroNIR Spectroscopy and Multivariate Calibration. **Food Analytical Methods**, v. 13, p. 50-60, jan. 2020.
- BEATRIZ, A.; LACERDA, V. J. **Fundamentos da Espectroscopia no Infravermelho e Aplicações**. Rio de Janeiro, RJ: Atheneu, 2018. 322 p.
- BELCHIOR, V.; BOTELHO, B. G.; CASAL, S.; OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S. FTIR and Chemometrics as Effective Tools in Predicting the Quality of Specialty Coffees. **Food Analytical Methods**, v. 13, p. 275-283. Jan. 2020.
- 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**. 2003.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balança comercial do agro registra exportações de US\$ 15,71 bilhões em junho de 2022**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias-2022/balanca-comercial-do-agro-registra-us-15-71-bilhoes-em-junho>. Acesso em: 30 ago. 2023.
- BRERETON, R. G. Pattern recognition in chemometrics. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 149, p. 90-96, dec. 2015.
- BRESSANELLO, D.; LIBERTO, E.; CORDERO, C.; SGORBINI, B.; RUBIOLO, P.; PELLEGRINO, G.; RUOSI, M. R.; BICCHI, C. Chemometric Modeling of Coffee Sensory Notes through Their Chemical Signatures: Potential and Limits in Defining an Analytical Tool for Quality Control. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 27, p. 7096-7109, jun. 2018.

BRIOSCHI JUNIOR, D.; GUARÇONI, R. C.; SILVA, M. C. S.; VELOSO, T. G. R.; KASUYA, M. C. M.; OLIVEIRA, E. C. S. C.; LUZ, J. M. R.; MOREIRA, T. R.; DEBONA, D. G.; PEREIRA, L. L. Microbial fermentation affects sensorial, chemical, and microbial profile of coffee under carbonic maceration. **Food Chemistry**, v. 342, 128296, apr. 2021.

CAPORASO, N.; WHITWORTH, M. B.; CUI, C.; FISK, I. D. Variability of single bean coffee volatile compounds of Arabica and robusta roasted coffees analysed by SPME-GC-MS. **Food Research International**, v. 108, p. 628-640, jun. 2018.

CHENG, B.; FURTADO, A.; SMYTH, H. E.; HENRY, R. J. Influence of genotype and environment on coffee quality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 57, p. 20-30, nov. 2016.

COFFEE QUALITY INSTITUTE. **Q Fine Robusta Standards and Protocols**. 2019. Disponível em: <https://cdn.coffeestrategies.com/wp-content/uploads/2015/04/compiled-standards-distribute1.1.pdf>. Acesso em: 30 set. 2023.

CONAB. **Safrá Brasileira de Café - Boletim Dezembro 2022**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. doi:2318-7913. Acesso em: 20 mai 2023.

CORREIA, R. M.; TOSATO, F.; DOMINGOS, E.; RODRIGUES, R. R. T.; AQUINO, L. F. M.; FILGUEIRAS, P. R.; LACERDA, V.; ROMÃO, W. Portable near infrared spectroscopy applied to quality control of Brazilian coffee. **Talanta**, v. 176, p. 59-68, jan. 2018.

COUTO, C. C.; FREITAS-SILVA, O.; OLIVEIRA, E. M. M.; SOUSA, C.; CASAL, S. Near-infrared spectroscopy applied to the detection of multiple adulterants in roasted and ground arabica coffee. **Foods**, v. 11, n. 1, p. 61, jan. 2022.

CRAIG, A. P.; BOTELHO, B. G.; OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S. Mid infrared spectroscopy and chemometrics as tools for the classification of roasted coffees by cup quality. **Food Chemistry**, v. 245, p. 1052–1061, apr. 2018.

CRAIG, A. P.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. Evaluation of the potential of FTIR and chemometrics for separation between defective and non-defective coffees. **Food Chemistry**, v. 132, n. 3, p. 1368-1374, jun. 2012.

CRAIG, A. P.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S.; IRUDAYARAJ, J.; ILELEJI, K. Fourier transform infrared spectroscopy and near infrared spectroscopy for the quantification of defects in roasted coffees. **Talanta**, v. 134, p. 379-386, mar. 2015.

DIAS, R. C. E.; FARIA-MACHADO, A. F.; MERCADANTE, A. Z.; BRAGAGNOLO, N.; BENASSI, M. T. Roasting process affects the profile of diterpenes in coffee. **Eur. Food Res. Technol.**, v. 239, p. 961-970, jul. 2014.

DIAS, R. C. E.; VALDERRAMA, P.; MARÇO, P. H.; SCHOLZ, M. B. S.; EDELMANN, M.; YERETZIAN, C. Quantitative assessment of specific defects in roasted ground coffee via infrared-photoacoustic spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 255, p. 132–138, jul. 2018.

FARAH, A.; DONANGELO, C. M. Phenolic compounds in coffee. **Brazilian J. Plant Physiol**, v. 18, n. 1, p. 23–36, mar. 2006.

FARAH, A.; FERREIRA, T.; VIEIRA, A. C. Trigonelline and Derivatives. In: FARAH, A. (ed.). **Coffee Production, Quality and Chemistry**. London, United Kingdom: CPI Group, 2019. p. 627–640.

FARAH, A.; MONTEIRO, M. C.; CALADO, V.; FRANCA, A. S.; TRUGO, L. C. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, v. 98, n. 2, p. 373–380, jan. 2006.

FARAH, A.; MONTEIRO, M.; DONANGELO, C. M.; LAFAY, S. Chlorogenic acids from green coffee extract are highly bioavailable in humans. **The Journal of Nutrition**, v. 138, n. 12, p. 2309–2315, dec. 2008.

FERRÃO, M. A. G.; MENDONÇA, R. F. de; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G.; SENRA, J. F. B.; VOLPI, P. S.; FILHO, A. C. V.; COMÉRIO, M. Characterization and genetic diversity of *Coffea canephora* accessions in a germplasm bank in Espírito Santo, Brazil. **Crop Breed. Appl. Biotechnol**, v. 21, n. 2, p. 1–10, feb. 2021.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L.H. *Coffea canephora*. In: FERRÃO, G. R.; FONSECA, A. F. A. de; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. **Café Conilon**. 2. ed. rev. e atual. Vitória, ES: INCAPER, 2017. p. 37–53.

FERREIRA, M. M. C. **Quimiometria**: conceitos, métodos e aplicações. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2015. 496p.

FINOTELLO, C.; FORZATO, C.; GASPARINI, A.; MAMMI, S.; NAVARINI, L.; SCHIEVANO, E. NMR quantification of 16-O-methylcafestol and kahweol in *Coffea canephora* var. robusta beans from different geographical origins. **Food Control**, v. 75, p. 62–69, may 2017.

FIORESI, 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, 107625, mar. 2021.

GINZ, M.; BALZER, H. H.; BRADBURY, A. G. W.; MAIER, H. G. Formation of aliphatic acids by carbohydrate degradation during roasting of coffee. **European Food Research Technology**, v. 211, p. 404–410, nov. 2000.

HALL, R. D.; TREVISAN, F.; DE VOS, R. C. H. Coffee berry and green bean chemistry – Opportunities for improving cup quality and crop circularity. **Food Research International**, v. 151, 110825, jan. 2022.

HAMZALIOĞLU, A.; GÖKMEN, V. 5-Hydroxymethylfurfural accumulation plays a critical role on acrylamide formation in coffee during roasting as confirmed by multiresponse kinetic modelling. **Food Chemistry**, v. 318, 126467, jul. 2020.

HAPPYANA, N.; SYAH, Y. M.; HAKIM, E. H. Discrimination of Metabolite Profiles of Gayo Roasted Arabica and Robusta Coffees. **Molekul**, v. 17, n. 1, p. 98-106, mar. 2022.

JIMÉNEZ-CARVELO, A. M.; GONZÁLEZ-CASADO, A.; BAGUR-GONZÁLEZ, M. G.; CUADROS-RODRÍGUEZ, L. Alternative data mining/machine learning methods for the analytical evaluation of food quality and authenticity – A review. **Food Research International**, v. 122, p. 25-39, aug. 2019.

JOLLIFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: A review and recent developments. **Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci**, v. 374, n. 2065, apr. 2016.

KEMSLEY, E. K.; DEFERNEZ, M.; MARINI, F. Multivariate statistics: Considerations and confidences in food authenticity problems. **Food Control**, v. 105, p. 102-112, nov. 2019.

LIM, L. T.; ZWICKER, M.; WANG, X. Coffee: One of the most consumed beverages in the world. In: Moo-Young, M. (ed.). **Comprehensive Biotechnology**. 3. ed. London: United Kingdom: Elsevier, 2019. p. 275-285.

LOUZADA, L. P.; GUARÇONI, R. C.; SOUZA, G. S. de; BRIOSCHI JUNIOR, D.; MOREIRA, T. R.; SCHWENGBER TEN CATEN, C. Propositions on the Optimal Number of Q-Graders and R-Graders. **Journal of Food Quality**, v. 1, 285452, feb. 2018.

LUND, M. N.; RAY, C. A. Control of Maillard Reactions in Foods: Strategies and Chemical Mechanisms. **J. Agric. Food Chem**, v. 65, n. 23, p. 4537-4552, may 2017.

MANUEL, M. N. B.; SILVA, A. C.; LOPES, G. S.; RIBEIRO, L. P. D. One-class classification of special agroforestry Brazilian coffee using NIR spectrometry and chemometric tools. **Food Chemistry**, v. 366, 130480, jan. 2022.

MANUEL, M. N. B.; SILVA, A. C.; LOPES, G. S.; RIBEIRO, L. P. D. One-class classification of special agroforestry Brazilian coffee using NIR spectrometry and chemometric tools. **Food Chemistry**, v. 366, 130480, jan. 2022.

PEREIRA, G. V. M.; CARVALHO NETO, D. P. de; MAGALHÃES JÚNIOR, A. I.; VÁSQUEZ, Z. S.; MEDEIROS, A. B. P.; VANDENBERGHE, L. P. S.; SOCCOL, C. R. Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review. **Food Chemistry**, v. 272, p. 441-452, jan. 2019.

MONAKHOVA, Y. B.; RUGE, W.; KUBALLA, T.; ILSE, M.; WINKELMANN, O.; DIEHL, B.; THOMAS, F.; LACHENMEIER, D. W. Rapid approach to identify the presence of Arabica and Robusta species in coffee using ¹H NMR spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 182, p. 178-184, sep. 2015.

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

MOURA, W. M.; TANCREDI, F. D. Cafés conilon e Robusta: potencialidades e desafios. **Informe Agropecuário**, v. 41, n. 309, 2020.

MUNYENDO, L.; NJORGE, D.; HITZMANN, B. The Potential of Spectroscopic Techniques in Coffee Analysis: A Review. **Processes**, v. 10, n. 1, p. 1-25, jan. 2022.

OESTREICH-JANZEN, S. Chemistry of coffee. **Comprehensive Natural Products II: Chemistry and Biology**, v. 3, p. 1085–1117, mar. 2010.

OLIVEIRA, E. C. S.; LUZ, J. M. R. da; CASTRO, M. G.; FILGUEIRAS, P. R.; GUARÇONI, R. C.; CASTRO, E. V. R. de; SILVA, M. C. S.; PEREIRA, L. L. Chemical and sensory discrimination of coffee: impacts of the planting altitude and fermentation. **Eur. Food Res. Technol.**, v. 248, p. 659–669, jan. 2022.

OLIVEIRA, E. C. S.; GUARÇONI, R. C.; CASTRO, E. V. R.; CASTRO, M. G.; PEREIRA, L. L. Chemical and sensory perception of robusta coffees under wet processing. **Coffee Science**, v. 15, e151672, aug. 2020.

OLIVEIRA, L. N. L.; ROCHA, R. B.; FERREIRA, F. M.; SPINELLI, V. M.; RAMALHO, A. R.; TEIXEIRA, A. L. Selection of *Coffea canephora* parents from the botanical varieties conilon and robusta for the production of intervarietal hybrids. **Ciência Rural**, v. 48, n. 4, p. 1-7, apr. 2018.

OLIVERI, P. Class-modelling in food analytical chemistry: Development, sampling, optimisation and validation issues: A tutorial. **Analytica Chimica Acta**, v. 982, p. 9-19, aug. 2017.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **World coffee consumption. 2021**. Disponível em: <https://www.ico.org/prices/new-consumption-table.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2023.

PAVIA, D. L.; GARY M.; LAMPMAN; KRIZ, G. S.; VYVYAN, J. R. **Introduction to spectroscopy**. Belmont, USA: Cengage, 2015. 784 p.

PEREIRA, L. L.; CARDOSO, W. S.; GUARÇONI, R. C.; FONSECA, A. F. A.; MOREIRA, T. R.; CATEN, C. S. T. The consistency in the sensory analysis of coffees using Q-graders. **Eur. Food Res. Technol.**, v. 243, p. 1545–1554, mar. 2017.

PEREIRA, T. S.; BATISTA, N. N.; PIMENTA, L. P. S.; MARTINEZ, S. J.; RIBEIRO, L. S.; NAVES, J. A. O.; SCHWAN, R. F. Self-induced anaerobiosis coffee fermentation: Impact on microbial communities, chemical composition and sensory quality of coffee. **Food Microbiology**, v. 103, 103962, may. 2022.

PINHEIRO, P. F.; PINHEIRO, C. A.; OSÓRIO, V. M.; PEREIRA, L. L. Chemical Constituents of Coffee. In: PEREIRA, L. L.; MOREIRA, T. R. (ed.). **Quality determinants in coffee production**. Switzerland: Springer, 2021. p. 209-254.

POISSON, L.; AUZANNEAU, N.; MESTDAGH, F.; BLANK, I.; DAVIDEK, T. New Insight into the Role of Sucrose in the Generation of α -Diketones upon Coffee Roasting. **J. Agric. Food Chem.**, v. 66, n. 10, p. 2422–2431, jan. 2018.

PUTRI, S. P.; IRIFUNE, T.; YUSIANTO; FUKUSAKI, E. GC/MS based metabolite profiling of Indonesian specialty coffee from different species and geographical origin. **Metabolomics**, v. 15, n. 10, p. 1-11, sep. 2019.

QUINN, B.; MCCARRON, P.; HONG, Y.; BIRSE, N.; WU, D.; ELLIOTT, C.T.; CH, R. Elementomics combined with dd-SIMCA and K-NN to identify the geographical origin of rice samples from China, India, and Vietnam. **Food Chemistry**, v. 386, 132738, aug. 2022.

RUFÍÁN-HENARES, J.A.; PASTORIZA, S. Melanoidins in Coffee. **Coffee in Health and Disease Prevention**, v. 20, p.183-188, jan. 2015.

SANTOS, H. D.; ALVARENGA, Y. A.; BOFFO, E. F. ¹H NMR metabolic fingerprinting of Chapada Diamantina/Bahia (Brazil) coffees as a tool to assessing their qualities. **Microchemical Journal**, v. 152, 104293, jan. 2020.

SCHIEVANO, E.; FINOTELLO, C.; ANGELIS, E. de; MAMMI, S.; NAVARINI, L. Rapid authentication of coffee blends and quantification of 16-O-methylcafesol in roasted coffee beans by nuclear magnetic resonance. **J. Agric. Food Chem.**, v. 62, n. 51, p. 12309–12314, dec. 2014.

SPEER, K.; KÖLLING-SPEER, I. Lipids. In: FARAH, A. (ed.). **Coffee Production, Quality and Chemistry**. London: Royal Society of Chemistry, 2019. p. 458-504.

SPEER, K.; KÖLLING-SPEER, I. The lipid fraction of the coffee bean. **Brazilian J. Plant Physiol**, v. 18, n. 1, p. 201-216, mar. 2006.

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**, v. 29, n. 5, p. 965-971, out. 2006.

UGANDA COFFEE DEVELOPMENT AUTHORITY. **Robusta Cupping Protocol, 2010**. Disponível em: <http://www.ico.org/documents/pscb-123-e-robusta.pdf> . Acesso em: 15 ago. 2023.

VALDERRAMA, L.; PAIVA, V. B.; MARÇO, P. H.; VALDERRAMA, P. Proposta Experimental Didática Para O Ensino De Análise De Componentes Principais. **Química Nova**, v. 39, n. 2, p. 245-249, fev. 2016.

SILVA, T. V.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, M.; OLIVEIRA, N. R.; SANTANA, H.; ALMEIDA, L. C. Tracing commercial coffee quality by infrared spectroscopy in tandem with pattern recognition approaches. **Vibrational Spectroscopy**, v. 116, 103295, sep. 2021.

WANG, C.; SUN, J.; LASSABLIERE, B.; YU, B.; LIU, S. Q. Coffee flavour modification through controlled fermentations of green coffee beans by *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia kluyveri*: Part I. Effects from individual yeasts. **Food Research International**, v. 136, 109588, oct. 2020.

WANG, X.; LIM, L. T. Investigation of CO₂ precursors in roasted coffee. **Food Chemistry**, v. 219, p. 185-192, mar. 2017.

WANG, X.; WANG, Y.; HU, G.; HONG, D.; GUO, T.; LI, J.; LI, Z.; QIU, M. Review on factors affecting coffee volatiles: from seed to cup. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 102, n. 4, p. 1341-1352, nov. 2021.

WILLIAMSON, K.; HATZAKIS, E. Evaluating the effect of roasting on coffee lipids using a hybrid targeted-untargeted NMR approach in combination with MRI. **Food Chemistry**, v. 299, 125039, nov. 2019.

YERETZIAN, C.; JORDAN, A.; BADOUD, R.; LINDINGER, W. From the green bean to the cup of coffee: Investigating coffee roasting by on-line monitoring of volatiles. **Eur. Food Res. Technol.**, v. 214, p. 92-104, feb. 2002.

YERETZIAN, C.; OPITZ, S.; SMRKE, S.; WELLINGER, M. Coffee Volatile and Aroma Compounds – From the Green Bean to the Cup. In: FARAH, A. (ed.). **Coffee Production, Quality and Chemistry**. London: Royal Society of Chemistry, 2019. p. 726–759.

YUWITA, F.; IFMALINDA; MAKKY, M. Non-destructive Evaluation of Fat Content of Coffee Beans Solok Radjo Using Near Infrared Spectroscopy. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 327, 012005, jan. 2019.

ZONTOV, Y. V.; RODIONOVA, O. Y.; KUCHERYAVSKIY, S. V.; POMERANTSEV, A. L. DD-SIMCA – A MATLAB GUI tool for data driven SIMCA approach. **Chemom. Intell. Lab. Syst.**, v. 167, p. 23-28, aug. 2017.





Capítulo 7

Microbiologia e fermentação de cafés canéforas

Jussara Moreira Coelho,
Patrícia Campos Bernardes,
Pâmela Mysen Machado Martins,
Rosane Freitas Schwan

Introdução

Com produção média de 50,68 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado nos últimos 10 anos, o Brasil se apresenta à frente do ciclo produtivo do café. Maior produtor e segundo maior consumidor mundial da bebida são alguns dos títulos obtidos ao longo dos anos. O país investe no cultivo das duas espécies mais importantes, *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, sendo a última a segunda espécie mais comercializada no mundo, tendo como variedades mais cultivadas o café robusta e conilon (Conab, 2023).

Em comparação com as outras espécies, os cafés da espécie *C. canephora* são mais encorpados, porém mais amargos, menos aromáticos e menos ácidos que o *C. arabica*, sendo atribuídos como uma bebida de qualidade inferior (Brando, 2004). Contudo, este conceito vem sendo superado devido a avanços tecnológicos dentro e fora do campo. Etapas de processamento pré e pós-colheita influenciam na qualidade da bebida, promovendo melhorias significativas na qualidade final (Velásquez; Banchón, 2022). No processamento pós-colheita, o método de fermentação tem contribuído para melhoria dos perfis sensoriais tornando-se uma alternativa para promover a qualidade dos cafés canéforas (Agnoletti et al., 2022; Bravim et al., 2023; Cassimiro et al., 2023).

A fermentação do café pode ocorrer de forma espontânea ou com a utilização de culturas iniciadoras (Schwan et al., 2023). Durante este processo, ocorre intensa atividade microbiana e muitas reações bioquímicas ocorrem dentro e fora do grão. Os microrganismos epifíticos do café metabolizam os açúcares presentes na mucilagem e produzem compostos de interesse como ácidos orgânicos, ésteres e álcoois. Estes compostos voláteis e não voláteis produzidos durante

a fermentação afetam diretamente a qualidade da bebida (Martinez et al., 2019; Bravim et al., 2023).

Dessa forma, o aprofundamento no conhecimento da microbiota do café possibilita a seleção de microrganismos com características específicas que podem ser utilizados como culturas iniciadoras durante a fermentação (Schwan et al., 2023). O uso de bactérias e leveduras selecionadas é uma alternativa economicamente viável para obter cafés com sabores e aromas diferenciados. Além disso, contribui para maior padronização do processo, redução do tempo de fermentação, inibição do crescimento de microrganismos indesejáveis e produção de compostos promissores para a qualidade da bebida (Silva et al., 2021; Prakash et al., 2022; Bravim et al., 2023; Cassimiro et al., 2023).

Os estudos sobre a fermentação de cafés canéforas se iniciaram recentemente no Brasil, apresentando limitado acervo quanto aos avanços desse tema. Diante do exposto, o capítulo oferece uma análise crítica da literatura existente sobre a microbiota e os processos de fermentação associados a pós-colheita do café canéfora. Assim, será apresentada uma visão geral dos principais microrganismos encontrados nessa espécie e o impacto da fermentação nas características químicas e sensoriais da bebida.

Microbiota natural de cafés canéforas

O café contém naturalmente uma microbiota composta por diversos grupos microbianos, incluindo bactérias lácticas, bactérias acéticas, bactérias da família *Enterobacteriaceae*, leveduras e fungos filamentosos. Essas comunidades microbianas estão envolvidas na fermentação dos nutrientes presentes nos frutos do café, tais como carboidratos, proteínas, aminoácidos e ácidos orgânicos, e influenciam na composição química dos grãos e da bebida. Em virtude do adequado teor de água e composição nutricional, os frutos de café recém-colhidos oferecem condições ideais para a multiplicação de microrganismos, cuja atividade metabólica pode ocorrer até valores de atividade de água de 0,6.

A multiplicação dos microrganismos no café depende de diversos fatores como umidade, temperatura, atividade de água, disponibilidade de nutrientes, pH e produção de enzimas (Silva et al., 2008). Alguns estudos têm sido conduzidos para quantificar e identificar a presença de microrganismos nos cafés canéforas, incluindo tanto café robusta quanto, mais recentemente, café conilon (Tabela 1).

Tabela 1. País de origem, metodologia de identificação, gêneros bacterianos e de fungos identificados em diferentes variedades de cafés canéforas

País	Variedade	Identificação microbiana			Referência
		Metodologia	Gêneros bacterianos	Gêneros fúngicos	
Índia	Robusta	Testes morfológicos, bioquímicos e produção de enzimas	<i>Streptococcus</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Flavobacterium</i> e <i>Proteus</i>	<i>Saccharomyces</i> e <i>Schizosaccharomyces</i> sp.	Agate e Bhat (1966)
Congo	Robusta	Testes morfológicos, bioquímicos e produção de enzimas	-	<i>Candida</i> , <i>Saccharomyces</i> , <i>Rhodotorula</i> e <i>Torulopsis</i>	Pee e Castelein (1971)
Camarões	Robusta	DGGE + sequenciamento rDNA 16S e 26S	<i>Microbacterium</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Pantoea</i> e Enterobacteriaceae	<i>Aspergillus</i> , <i>Hanseniaspora</i> e <i>Wallemia</i>	Hamdouche et al. (2016)
Brasil	Conilon Emcaper 8151- Robusta Tropical	Maldi-TOF + sequenciamento rRNA 16S e ITS	<i>Acinetobacter</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Cellulosimicrobium</i> , <i>Citrobacter</i> , <i>Dermacoccus</i> , <i>Enterobacter</i> , Enterobacteriaceae, <i>Enterococcus</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Kosakonia</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Leuconostoc</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Pantoea</i> , <i>Pectobacterium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Raoultella</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Stenotrophomonas</i> e <i>Streptomyces</i>	<i>Candida</i> , <i>Hanseniaspora</i> , <i>Meyerozyma</i> e <i>Pichia</i>	Pereira et al. (2021)

Continua...

Tabela 1. Continuação.

País	Varie- dade	Identificação microbiana			Referência
		Metodologia	Gêneros bacterianos	Gêneros fúngicos	
Índia	Robusta	Sequenciamento rRNA 16S e ITS	<i>Acetobacter</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Halomonas</i> , <i>Hydrogenophaga</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Lactococcus</i> , <i>Nitrospora</i> , <i>Paracoccus</i> , <i>Pediococcus</i> e <i>Pseudomonas</i>	<i>Basidiobolus</i> , <i>Candida</i> , <i>Geotrichum</i> , <i>Kazachstania</i> , <i>Kurtzmaniella</i> , <i>Meyerozyma</i> , <i>Mortierella</i> , <i>Pichia</i> , <i>Wallemia</i> e <i>Wickerhamomyces</i>	Aswathi et al. (2022)

DGGE - Eletroforese em gel com gradiente desnaturante.

MALDI-TOF - Espectrometria de massa por tempo de voo com ionização a laser assistida por matriz.

O predomínio dos diferentes grupos microbianos é influenciado por fatores como a origem e ambiente de produção do café, a variedade, maturidade dos frutos e o método de processamento. Estudos recentes realizados em canéforas brasileiros (conilon) mostraram que, tanto para cafés processados por via seca quanto por via úmida, a população de bactérias é predominante em relação à população de fungos (Pereira et al., 2021; Bravim et al., 2023). Em café conilon os gêneros bacterianos mais presentes foram *Bacillus* e *Staphylococcus*, enquanto que as leveduras predominantes foram dos gêneros *Candida*, *Meyerozyma* e *Pichia* (Pereira et al., 2021). Alguns desses isolados foram avaliados para uso na fermentação induzida do próprio café conilon e apresentaram excelentes resultados na melhoria da qualidade da bebida e no controle da população de fungos filamentosos (Silva et al., 2021; Bravim et al., 2023).

É evidente a necessidade de mais estudos para que se possa elucidar melhor a microbiota natural dos canéforas brasileiros, especialmente da variedade botânica Robusta que tem sido cultivada e se destacado na região Amazônica do Brasil. O conhecimento da microbiota natural dos cafés canéforas brasileiros poderá contribuir para identificação e seleção de culturas iniciadoras com potencial para controlar melhor a fermentação do café obtendo bebidas com características sensoriais distintas.

Processo de fermentação: via seca, via úmida, semi-seca e SIAF

Na obtenção de grãos de café, os frutos podem ser submetidos a diferentes tipos de processamento pós-colheita, o que influencia na qualidade do produto final.

A Figura 1 mostra os quatro processos no qual os frutos são submetidos: seco (A), úmido (B), semi-seco (C) e fermentação por anaerobiose auto-induzida (D) [SIAF, do inglês self-induced anaerobic fermentation].



Figura 1. Processos seco (A), úmido (B), semi-seco (C), e SIAF (D) aos quais os frutos de café são submetidos pós-colheita.

a) Processo seco ou natural

O método seco, também conhecido como processamento natural, é popular no Brasil especialmente para cafés da espécie *Coffea canephora*. Neste processo, os frutos inteiros são colocados para fermentar e secar em terreiros de concreto, asfalto e suspensos, ao sol ou em secadores mecânicos.

Na secagem ao sol, a qualidade final do produto irá depender das condições climáticas da região, no que diz respeito à ocorrência de chuvas, temperatura, umidade relativa do ar e insolação. Na secagem mecânica, parâmetros como temperatura e umidade relativa do ar são melhor controlados, promovendo secagem mais rápida e uniforme.

Durante a secagem ao sol pode ocorrer fermentação microbiana espontânea, uma vez que leveduras e bactérias fazem parte da microbiota natural do fruto (Duong et al., 2020). A secagem mecânica impossibilita a ocorrência dessas fer-

mentações espontâneas, uma vez que a redução da umidade ocorre mais rapidamente. A fermentação ocorre pois o fruto contém mucilagem e polpa que são constituídas de água, proteínas, fibras, açúcares, celulose, substâncias pécicas e cinzas, ou seja, no fruto existe meio de cultivo rico para crescimento microbiano (Pereira et al., 2021).

Alguns estudos têm demonstrado que a fermentação pode ocorrer por mecanismos distintos, uma vez que não há ainda uma conclusão sobre o que leva a ocorrência do fenômeno em café. Uma teoria é que a fermentação pode ocorrer devido a ação de enzimas endógenas aos frutos ou por ação de microrganismos que produzem enzimas como pectina liase e poligalacturonase (Schwan et al., 2012). Essas enzimas auxiliam na degradação da mucilagem, cujos componentes são convertidos em etanol, ácido láctico, ácido butírico, ácido acético e outros ácidos carboxílicos superiores (Silva et al., 2000).

O processo de fermentação acontece durante os primeiros dias de secagem, enquanto a mesma acontece até que os grãos atinjam entre 11% e 12% de umidade. Após finalização da secagem, os grãos são retirados das cascas e do pergaminho. O armazenamento acontece em temperatura e umidade relativa controlada até os grãos serem distribuídos no mercado.

b) Processo úmido

Neste processo as cascas são retiradas e os grãos contendo mucilagem são colocados em recipientes com água, onde se inicia o processo fermentativo que dura entre 24 e 48 horas (Schwan; Fleet, 2014). Em seguida, os grãos envoltos pelo pergaminho são secos ao ar livre, em armações de madeira com tela, o que permite fermentações espontâneas ou em secadores mecânicos.

c) Processo semi-seco

O método de processamento semi-seco é uma variação do processo úmido e um intermediário entre os métodos a seco e úmido, sendo também conhecido como “cereja descascado” (CD) ou “despolpado natural”, onde os grãos são retirados da casca, mas sem a retirada da mucilagem. Esses grãos, contendo mucilagem no pergaminho, são colocados para secar ao sol, o que permite a ocorrência de fermentações espontâneas, ou em secadores mecânicos, onde não acontece a fermentação. Em ambos processos a secagem acontece até que a umidade atinja de 11%–12 %.

d) Fermentação por anaerobiose auto-induzida pela atividade microbiana (SIAF – Self induced anaerobic fermentation)

Neste método os frutos de café inteiros ou os frutos despulpados ou descascados, envoltos pelo pergaminho e mucilagem, são colocados em recipiente fechado para manutenção da anaerobiose (Pereira et al., 2022). Este biorreator não permite a entrada do ar, e o oxigênio presente vai sendo consumido pelo metabolismo do material vegetal ou dos microrganismos naturalmente presentes, produzindo CO₂, além de metabólitos que influenciam na qualidade do produto final.

Uso de culturas iniciadoras na fermentação

Há muito tempo, culturas *starter* ou iniciadoras são utilizadas na produção de alimentos e bebidas fermentados a partir de uma variedade de ingredientes, incluindo grãos, cereais, leite, carnes, soja, frutas e legumes (Steinkraus, 2004). O uso de culturas iniciadoras contribui para um processo fermentativo mais rápido e consistente, podendo melhorar a qualidade sensorial do produto final (Schwan et al., 2012).

No processamento do café a inoculação de microrganismos durante a fermentação é relativamente recente. No Brasil, as pesquisas que avaliaram o uso de leveduras isoladas do próprio café para fermentação de café arábica tiveram início em 2014 (Evangelista et al., 2014) **e em café canéfora (conilon) em 2021** (Silva et al., 2021).

Na seleção de culturas iniciadoras adequadas, é importante considerar a habilidade de crescer e sobreviver no ambiente do café, produzir enzimas para decompor a mucilagem e a polpa, inibir o crescimento de microrganismos indesejados, como fungos toxigênicos, além de não produzir compostos tóxicos e gerar metabólitos que contribuam para melhoria da qualidade sensorial da bebida (Schwan et al., 2012). Além disso, deve-se levar em conta a espécie, variedade e o processamento do café.

Bactérias, especialmente bactérias lácticas, leveduras, fungos filamentos e enzimas produzidas por esses microrganismos podem ser usadas na fermentação do café (Tabela 2).

Tabela 2. País de origem, método de processamento, microrganismo ou enzima usados na fermentação de café canéfora e principais resultados obtidos

País	Variedade	Processamento	Microrganismo ou enzima usada na fermentação	Principais resultados	Referência
Índia	Robusta	Frutos descascados	Pectinase produzida por <i>Aspergillus niger</i>	Redução do tempo de fermentação	Murthy Naidu (2011)
Indonésia	Robusta	Grãos	1% Kefir + 2% de lactose	Aumento no número de compostos voláteis	Afriliana et al. (2019)
Brasil	Conilon Emcaper 8151 – Robusta Tropical	Frutos inteiros, fermentação e secagem em terreiro suspenso	<i>Meyerozyma caribbica</i> e <i>Pichia kluyveri</i> isolada de café conilon.	Redução na população de fungos durante a fermentação, melhoria da nota global na prova da xícara, e percepção de diferença pelos consumidores nos cafés inoculados com <i>M. caribbica</i>	Silva et al. (2021)
Índia	<i>Coffea canephora</i> var. S274 e var. Peridenia	Fermentação em estado sólido dos grãos	<i>Aspergillus</i> e <i>Mucor</i>	Maiores níveis de pirazinas nos cafés inoculados com <i>Aspergillus oryzae</i> e furanos para os fermentados com <i>Mucor plumbeus</i>	Tang et al. (2021)
Índia	Robusta variedade <i>Coffea congensis</i> × <i>Coffea canephora</i> (CXR)	Fermentação em estado sólido dos frutos descascados	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> isolada de cacau	Redução do tempo de fermentação, aumento no número de compostos voláteis, melhoria na qualidade sensorial	Prakash et al. (2022)
Brasil	<i>Coffea canephora</i> var. conilon	Cafés descascado e despulpados (CD) e café natural (CN) com ou sem adição de água.	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Klebsiella</i> e bactéria láctica (espécie não informada)	Maior pontuação do café natural inoculado com <i>S. cerevisiae</i> após 120 horas de fermentação sem adição de água.	Agnoletti et al. (2022)

Continua...

Tabela 2. Continuação.

País	Variedade	Processamento	Microrganismo ou enzima usada na fermentação	Principais resultados	Referência
Brasil	Conilon Vitória	Frutos descascados processados por via úmida por 48 horas	<i>Bacillus licheniformis</i> e <i>Meyerozyma guilliermondii</i> isolados de café conilon, separadamente e em co-cultura.	Estímulo da multiplicação da população de bactérias lácticas durante a fermentação e produção de compostos voláteis que resultaram atributos sensoriais positivos na bebida	Bravim et al. (2023)
Brasil	Conilon LB1	Frutos inteiros processados por via úmida e fermentação por anaerobiose autoinduzida por 72 horas	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> , <i>Torulaspora delbrueckii</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> separadamente e em co-cultura	Inoculação com <i>L. mesenteroides</i> obteve a melhor pontuação sensorial e a bebida foi caracterizada por notas de caramelo, frutas e especiarias	Cassimiro et al. (2023)

Nos canéforas brasileiros, especialmente no conilon, as pesquisas têm mostrado que o uso de leveduras e bactérias pode ser vantajoso na inibição da população de fungos, produção de compostos voláteis, melhoria da pontuação na prova da xícara e obtenção de uma bebida com notas sensoriais desejáveis. Todas essas vantagens agregam valor ao produto, permitindo que os produtores recebam um preço de venda melhor pelo café, uma vez que podem oferecer ao mercado consumidor cafés com perfis sensoriais diferenciados.

Impacto da fermentação nas características químicas e sensoriais

O método de processamento pós-colheita influencia na qualidade do produto, uma vez que interfere nas características químicas e sensoriais dos grãos de café. O aroma e o sabor do café são resultantes da interação entre compostos como ácidos orgânicos de cadeia curta, aldeídos, cetonas, açúcares, proteínas, aminoácidos, ácidos graxos e compostos fenólicos (trigonelina e ácidos clorogênicos) (Alcantara et al., 2021).

Alguns desses compostos estão naturalmente presentes nos frutos e, conseqüentemente nos grãos, enquanto os outros são produzidos pelo metabolismo de leveduras e bactérias na fermentação. O processo fermentativo irá impactar nas características químicas e sensoriais dos grãos de café (Tabela 3).

Tabela 3. Variedade, tipo de processo fermentativo e impactos químico e sensorial no produto final

Variedade	Processo fermentativo	Cultura Iniciadora	Impacto químico nos grãos crus	Impacto sensorial	Referência
Robusta	Úmido	Não	Concentração de cafeína, ácido clorogênico, sacarose e lipídios alteram em função do tipo de processamento.	Cor e aroma dos grãos verdes variam em função do processo, sendo os grãos advindos do processo natural os que receberam maiores notas.	Wulandari et al. (2021)
	Semi-seco				
	Natural				
Conilon Em-caper 8151 – Robusta Tropical	Natural	Sim, com <i>Meyerozyma caribbica</i> CCMA 1738 e <i>Pichia kluyveri</i> CCMA 1743	A concentração de ácido oxálico foi alterada pela inoculação de leveduras.	Aumento da nota global da bebida, avaliada por provadores treinados, com notas frutadas, amendoadas, de chocolate e nozes, em função da inoculação das leveduras.	Silva et al. (2021)
Conilon e congolês	Úmido	Não	-	Atributos sensoriais como aroma, sabor, acidez e doçura da bebida são afetados pelo tipo de processamento.	Velásquez et al. (2022)
	Semi-seco				
	Natural				

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Variedade	Processo fermentativo	Cultura Iniciadora	Impacto químico nos grãos crus	Impacto sensorial	Referência
Conilon	Natural e semi-seco	Induzida, com <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Concentração de lipídios maior nos grãos obtidos pelo processo natural, em relação ao descascado.	Maior nota global para o processo natural inoculado, em relação ao cereja descascado, explicado por diferenças nos atributos sensoriais.	Agnoletti et al. (2022)
Conilon Vitória	Úmido	Induzida, com <i>Bacillus licheniformis</i> (CCMA 1673) e <i>Meyerozyma guilliermondii</i> (CCMA 1740)	A concentração de ácidos orgânicos e de frutose foi influenciada pelo tipo de processo fermentativo.	Maior nota global para o café obtido por inoculação da bactéria, com notas de chocolate, caramelo e amêndoas, por causa das pirazinas formadas após a torra do grão.	Bravim et al. (2023)
Conilon	SIAF	Induzida, com <i>Leuconostoc mesenteroides</i> CCMA 1105, <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> CCMA 1065, <i>Torulaspora delbrueckii</i> CCMA 0684, e <i>Saccharomyces cerevisiae</i> CCMA 0543	Ácido málico diminuiu a concentração e os ácidos acético, láctico e succínico aumentaram com o processo fermentativo. As fermentações com co-culturas envolvendo <i>S. cerevisiae</i> mostrou níveis mais altos de cafeína. As culturas modificaram o perfil de compostos voláteis.	Maior nota sensorial após inoculação de <i>L. mesenteroides</i> sozinho e em co-cultura com <i>S. cerevisiae</i> e <i>L. plantarum</i> .	Cassimiro et al. (2023)

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Variedade	Processo fermentativo	Cultura iniciadora	Impacto químico nos grãos crus	Impacto sensorial	Referência
Robusta <i>Coffea canephora</i> ×	Cereja descascado	Sim, com <i>Saccharomyces cerevisiae</i> MTCC 173	A concentração de ácido oxálico foi alterada pela presença de <i>S. cerevisiae</i> . Já a concentração dos ácidos cítrico e málico e de cafeína, ácido clorogênico e trigonelina não se alteraram.	Notas como de chocolate, doce, frutado, amanteigado, caramelo, floral foram encontrados nos grãos provenientes da inoculação com <i>S. cerevisiae</i> .	Prakash et al. (2022)

Considerações finais

A compreensão da microbiologia e do processo de fermentação do café é fundamental para produção de bebidas de alta qualidade. A microbiota dos frutos de cafés canéforas desempenha um papel fundamental durante a fermentação, sendo influenciada por diferentes fatores como a origem, variedade e método de processamento. Os microrganismos presentes naturalmente no fruto são responsáveis pela produção de compostos voláteis e não voláteis que afetam o sabor e aroma da bebida, permitindo o desenvolvimento de cafés com perfis únicos.

Além disso, a utilização de culturas iniciadoras e até mesmo co-cultura de leveduras e bactérias têm se mostrado promissoras na fermentação de cafés canéforas. Estas contribuíram para produção de compostos voláteis, inibição de microrganismos indesejáveis, redução no tempo de fermentação e obtenção de bebidas com atributos sensoriais diferenciados.

Contudo, mais pesquisas em microbiologia e fermentação de cafés canéforas precisam ser desenvolvidas para aprimorar o conhecimento sobre a espécie. Estudos sobre a microbiota e seleção de culturas iniciadoras são essenciais para entender a dinâmica do processo fermentativo em cafés robusta e conilon, contribuindo para o aumento da qualidade da bebida.

Referências

- AFRILIANA, A.; PRATIWI, D.; GIYARTO; BELGIS, M.; HARADA, H.; YUSHIHARU, M.; TAIZO, M. Volatile Compounds Changes in Unfermented Robusta Coffee by Re-Fermentation Using Commercial Kefir. **Nutrition & Food Science**, v. 8, n. 4, apr. 2019.
- AGATE, A. D.; BHAT, J. V. Role of pectinolytic yeasts in the degradation of mucilage layer of *Coffea robusta* cherries. **Applied microbiology**, v. 14, n. 2, p. 256-260, mar. 1966.
- AGNOLETTI, B. Z.; GOMES, W. S.; OLIVEIRA, G. F.; CUNHA, P. H.; NASCIMENTO, M. H. C.; NETO, A. C.; PEREIRA, L. L.; CASTRO, E. V. R.; OLIVEIRA, E. C. S.; FILGUEIRAS, P. R. Effect of fermentation on the quality of conilon coffee (*Coffea canephora*): Chemical and sensory aspects. **Microchemical Journal**, v. 182, 107966, nov. 2022.
- ALCANTARA, G. M. R. N.; DRESCH, D.; MELCHERT, W. R. Use of non-volatile compounds for the classification of specialty and traditional Brazilian coffees using principal component analysis. **Food Chemistry**, v.360, 130088, oct. 2021.
- BRANDO, C. H. J. Harvesting and Green Coffee Processing. In: WINTGENS, J. N. (ed.). **Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production**. 2. ed. Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2004. p. 604–715.
- BRAVIM, D. G.; ROSÁRIO, D. K. A.; BATISTA, N. N.; SCHWAN, R. F.; COELHO, J. M.; BERNARDES, P. C. Inoculation of yeast and bacterium in wet-processed *Coffea canephora*. **Food Chemistry**, v. 400, 134107, jan. 2023.
- CASSIMIRO, D. M. J.; BATISTA, N. N.; FONSECA, H. C.; NAVES, J. A. O.; COELHO, J. M.; BERNARDES, P. C.; DIAS, D. R.; SCHWAN, R. F. Wet fermentation of *Coffea canephora* by lactic acid bacteria and yeasts using the self-induced anaerobic fermentation (SIAF) method enhances the coffee quality. **Food Microbiology**, v.110, 104161, apr. 2023.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café. In Primeiro levantamento - Safra 2023**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- DUONG, B.; MARRACCINI, P.; MAEGHT, J. L.; VAAST, P.; LEBRUN, M.; DUPONNOIS, R. Coffee Microbiota and Its Potential Use in Sustainable Crop Management. A Review. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, 607935, dec. 2020.
- EVANGELISTA, S. R.; SILVA, C. F.; MIGUEL, M. G. P. D. C.; CORDEIRO, C. D. S.; PINHEIRO, A. C. M.; DUARTE, W. F.; SCHWAN, R. F. Improvement of coffee beverage quality by using selected yeasts strains during the fermentation in dry process. **Food Research International**, v. 61, p. 183-195, jul. 2014.
- HAMDOUCHE, Y.; MEILE, J. C.; NGANOU, D. N.; DURAND, N.; TEYSSIER, C.; MONTET, D. Discrimination of post-harvest coffee processing methods by microbial ecology analyses. **Food Control**, v. 65, p. 112–120, jul. 2016.

ASWATHI, K. N.; SHANKAR, S. R.; SEENIVASAN, K.; PRAKASH, I.; MURTHY, P. S. Metagenomics and metabolomic profiles of *Coffea canephora* processed by honey / pulped natural technique. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 79, 103058, jul. 2022.

MARTINEZ, S. J.; BRESSANI, A. P. P.; DIAS, D. R.; SIMÃO, J. B. P.; SCHWAN, R. F. Effect of Bacterial and Yeast Starters on the Formation of Volatile and Organic Acid Compounds in Coffee Beans and Selection of Flavors Markers Precursors During Wet Fermentation. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, 1287, jun. 2019.

MURTHY, P. S.; NAIDU, M. M. Improvement of Robusta Coffee Fermentation with Microbial Enzymes. **European Journal of Applied Sciences**, v. 3, n. 4, p. 130-139, jan. 2011.

PEE, W. V.; CASTELEIN, J. The Yeast Flora of Fermenting Robusta Coffee. **East African Agricultural and Forestry Journal**, v. 36, n. 3, p.308–310, jan. 1971.

PEREIRA, P. V.; BRAVIM, D. G.; GRILLO, R. P.; BERTOLI, L. D.; OSÓRIO, V. M.; OLIVEIRA, D. da S.; MIGUEL, M.G. da C.; SCHWAN, R. F.; SILVA, S. de A.; COELHO, J. M.; BERNARDES, P. C. Microbial diversity and chemical characteristics of *Coffea canephora* grown in different environments and processed by dry method. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 37, n. 3, p. 1-51, feb. 2021.

PEREIRA, T. S.; BATISTA, N. N.; PIMENTA, L. P. S.; MARTINEZ, S. J.; RIBEIRO, L. S.; NAVES, J. A. O.; SCHWAN, R. F. Self-induced anaerobiosis coffee fermentation: Impact on microbial communities, chemical composition and sensory quality of coffee. **Food Microbiology**, v. 103, 10362, may 2022.

PRAKASH, I.; SHANKAR, S. R.; SNEHA H. P.; KUMAR, P.; OM, H.; BASAVARAJ, K.; MURTHY, P.S. Metabolomics and volatile fingerprint of yeast fermented robusta coffee: A value added coffee. **LWT**, v. 154, 112717, jan. 2022.

SCHWAN, R. F.; BRESSANI, A. P. P.; MARTINEZ, S. J.; BATISTA, N. N.; DIAS, D. R. The essential role of spontaneous and starter yeasts in cocoa and coffee fermentation. **FEMS Yeast Research**, v. 23, p. 1-13, mar. 2023.

SCHWAN, R. F.; FLEET, G. **Cocoa and Coffee Fermentations**. New York: CRC Press, 2014. 633 p.

SCHWAN, R. F.; SILVA, C. F.; BATISTA, L. R. Coffee Fermentation. In: HUI, Y. H.; ÖZGÜL EVRANUZ, E. (ed.). **Handbook of Plant-Based Fermented Food and Beverage Technology**. 2. ed. New York: CRC Press, 2012. p. 677-690.

SILVA, B. L.; PEREIRA, P. V.; BERTOLI, L. D.; SILVEIRA, D. L.; BATISTA, N. N.; PINHEIRO, P. F.; CARNEIRO, J. S.; SCHWAN, R. F.; SILVA, S. A.; COELHO, J. M.; BERNARDES, P.C. Fermentation of *Coffea canephora* inoculated with yeasts: Microbiological, chemical, and sensory characteristics. **Food Microbiology**, v. 98, 103786, sep. 2021.

SILVA, C. F.; SCHWAN, R. F.; DIAS, E. S.; WHEALS, A. E. Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of *Coffea arabica* in Brazil.

International Journal of Food Microbiology, v. 60, n. 2-3, p. 251–260, sep. 2000.

SILVA, C. F.; BATISTA, L. R.; ABREU, L. M.; DIAS, E. S.; SCHWAN, R. F. Succession of bacterial and fungal communities during natural coffee (*Coffea arabica*) fermentation. **Food Microbiology**, v. 25, n. 8, p. 951-957, dec. 2008.

STEINKRAUS, K. **Industrialization of Indigenous Fermented Foods**. 2. ed. New York: CRC Press, 2004. 600 p.

TANG, V. C. Y.; SUN, J.; CORNUZ, M.; YU, B.; LASSABLIERE, B. Effect of solid-state fungal fermentation on the non-volatiles content and volatiles composition of *Coffea canephora* (Robusta) coffee beans. **Food Chemistry**, v. 337, p. 128023, feb. 2021.

VELÁSQUEZ, S.; BANCHÓN, C.; CHILÁN, W.; GUERRERO-CASADO, J. Effect of Three Post-Harvest Methods at Different Altitudes on the Organoleptic Quality of *C. canephora* Coffee. **Beverages**, v. 8, n. 4, p. 1-13, dec. 2022.

VELÁSQUEZ, S.; BANCHÓN, C. Influence of pre-and post-harvest factors on the organoleptic and physicochemical quality of coffee: a short review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 15, n. 10, aug. 2022.



Capítulo 8

Futuro promissor: impacto das informações no reconhecimento sensorial dos cafés canéfora

*Alvaro Luis Lamas Cassago,
Mateus Manfrin Artêncio,
Renata Kelly da Silva*

Introdução

O reconhecimento sensorial dos cafés da espécie canéfora, como o robusta e o conilon, é uma experiência fascinante que vai além do simples ato de tomar uma xícara de café. Esses cafés, conhecidos por sua robustez e características distintas, têm despertado interesse entre consumidores e especialistas em café. Um fator-chave que influencia essa experiência sensorial é a informação disponível sobre esses grãos.

O termo “terroir” é frequentemente mencionado no mundo do café. Ele se refere às condições geográficas únicas em que os grãos são cultivados, incluindo o clima, solo, altitude, a flora e o manejo local, ou mesmo o modo de preparo (Spielmann; Charters 2013; Cassago et al., 2021). Essas características naturais moldam o perfil de sabor dos grãos de café. Quando os consumidores têm acesso a informações sobre o *terroir* de um café canéfora, isso pode afetar significativamente sua percepção sensorial. Por exemplo, um café robusta cultivado em um solo vulcânico pode apresentar notas de terra e minerais, enquanto um café conilon de uma região tropical pode exibir notas frutadas e picantes.

Além disso, a noção de Indicação Geográfica (IG) tem ganhado destaque. Uma IG reconhece a autenticidade e a qualidade de produtos que têm suas raízes em uma região específica. No caso do café canéfora, uma IG pode destacar a importância do local de origem na produção desses grãos e agregar valor (Artêncio et al., 2022a). Quando os consumidores veem um café associado a uma IG, isso não apenas garante sua procedência, mas também cria expectativas sensoriais específicas.

Neste aspecto, o marketing desempenha um papel crucial na disseminação dessas informações de origem. Estratégias de marketing eficazes podem transmitir

de forma envolvente o *terroir*, a IG e outros detalhes relevantes sobre os cafés canéfora (Artêncio et al., 2023a). Isso não apenas informa e conscientiza os consumidores, mas também melhora sua apreciação pelos sabores únicos desses grãos e agrega valor.

Aliado a isso, os estudos metabolômicos têm sido uma ferramenta valiosa para entender a composição química dos cafés canéfora (Artêncio et al., 2022b, 2023b). Eles ajudaram a identificar os compostos responsáveis pelas notas de sabor específicas, como a cafeína que contribui para o amargor e os ácidos quínico, cítrico e málico que influenciam a acidez. Essas descobertas têm um impacto direto na apreciação sensorial dos cafés canéfora, fornecendo uma compreensão mais profunda de como os componentes químicos afetam a percepção de sabor.

Em resumo, o impacto das informações no reconhecimento sensorial dos cafés canéfora é significativo. *Terroir*, indicações geográficas, estratégias de marketing e estudos metabolômicos desempenham um papel importante em moldar a experiência sensorial desses cafés, além de contribuírem para a agregação de valor ao grão/bebida e também à região de origem. À medida que os consumidores se tornam mais conscientes desses fatores, eles podem desfrutar ainda mais da riqueza de sabores que os cafés canéfora têm a oferecer. Além disso, o acesso a informações relevantes sobre o produto, influencia também em maior disposição do consumidor a pagar a mais, como demonstram diversos experimentos.

Na sequência deste capítulo, serão explorados os seguintes tópicos: a influência do *terroir* na produção de café canéfora, o papel das indicações geográficas no reconhecimento da qualidade e origem de cafés, estratégias de marketing que comunicam as particularidades sensoriais, estudos metabolômicos que revelam os segredos dos perfis de sabor, a relação entre a cafeína e o amargor, as tendências em consumo desses cafés, sua crescente presença na indústria de café especial e uma análise sobre o futuro dos cafés canéfora, juntamente com pesquisas que impulsionam esse campo em constante evolução. Serão explorados ainda a riqueza sensorial desses cafés e seu impacto nas preferências dos consumidores e na indústria de café como um todo.

***Terroir* e café canéfora**

Por que cafés canéfora de diferentes regiões têm sabores tão distintos? Essa intrigante questão está no *terroir*, um conceito que engloba todas as características especiais de um local onde o café é cultivado. Essas características incluem fatores

como clima, solo, altitude, até mesmo a vegetação circundante, o modo de produção, cultura e tradições para agregar os valores existentes.

O *terroir* é como a identidade do café. Cada região produtora imprime sua marca única nos grãos de café, criando uma experiência sensorial que permite viajar através de uma xícara. Mas, como exatamente essas condições geográficas únicas afetam o sabor e a qualidade do café canéfora?

Clima: O clima de uma região é um dos fatores mais influentes. A quantidade de chuva, a temperatura média e as variações sazonais têm um impacto direto no desenvolvimento dos grãos de café. Por exemplo, regiões com invernos mais rigorosos podem produzir cafés com uma acidez mais suave, enquanto climas quentes e úmidos podem resultar em grãos mais encorpados e complexos.

Solo: Diferentes tipos de solo proporcionam diferentes níveis de nutrientes e minerais às plantas. O solo também afeta a absorção de água, o que, por sua vez, influencia a qualidade dos grãos. Solos ricos em minerais podem dar ao café notas terrosas, enquanto solos mais arenosos podem realçar a doçura natural dos grãos.

Altitude: A altitude é um dos segredos por trás dos melhores cafés canéfora. À medida que sobe em altitude, a pressão atmosférica e a temperatura caem. Isso resulta em um crescimento mais lento dos grãos, permitindo que eles desenvolvam sabores mais intensos e complexos. Os cafés cultivados em grandes altitudes tendem a ter notas frutadas e florais mais pronunciadas.

Vegetação Circundante: A vegetação ao redor das plantações de café também desempenha um papel importante. Árvores, plantas e flores próximas podem influenciar sutilmente os sabores do café à medida que os grãos absorvem os aromas da flora circundante. Essa é uma das razões pelas quais algumas regiões são famosas por seus cafés com notas específicas, como chocolate ou frutas cítricas.

Estudos científicos, como a Metabolômica, têm nos fornecido *insights* valiosos sobre como esses fatores geográficos únicos influenciam a composição química dos grãos de café canéfora (Rocchetti et al., 2020; Artêncio et al., 2023b). Por meio da análise desses compostos químicos, os pesquisadores podem mapear as características sensoriais de cada café, permitindo que produtores e torrefadores compreendam melhor as nuances de sabor de cada região. Recentemente, um estudo químico foi realizado em grãos de café de duas espécies diferentes pertencentes ao gênero *Coffea* (*C. arabica* e *C. canephora*) e suas variedades. Com base na

análise das impressões metabólicas, foi possível observar que, apesar de algumas semelhanças, as duas espécies e suas respectivas variedades apresentam diferenças químicas importantes. Além disso, cafés canéforas plantados em regiões distintas (Rondônia e Espírito Santo, estados brasileiros) possuem diferenças em suas composições químicas devido ao *terroir* (Artêncio et al., 2023b).

Indicações geográficas - IGs

As indicações geográficas são registros de autenticidade concedidos a produtos que têm sua qualidade, reputação ou características intrinsecamente vinculadas a uma região geográfica específica (Artêncio et al., 2022b). No caso do café canéfora, essas regiões podem abranger vastas áreas de países como o Brasil, o Vietnã e a Indonésia. O que torna as IGs tão especiais é que elas não se aplicam apenas à qualidade do café, mas também à história, tradições e métodos de cultivo (saber fazer) únicos que são preservados em uma determinada região.

Ao adquirir um café com selo de uma IG, espera-se que aquele produto seja uma verdadeira expressão da cultura e do *terroir* daquela área. Essa designação de origem proporciona segurança tanto para o consumidor quanto para o produtor, ao garantir que o café foi cultivado e processado de acordo com os padrões rigorosos daquela região específica.

Este registro de origem é ferramenta estratégica para proteger a autenticidade do café canéfora. Ele envolve um processo minucioso de rastreabilidade e verificação que garante que o café realmente provenha da região indicada e preserva suas características sensoriais únicas. No Brasil, são dois os tipos de IG: Indicação de Procedência (IP), reconhecimento da fama ou notoriedade de determinada região na produção de um produto ou serviço com diferenciais de qualidade; e a Denominação de Origem (DO), que reconhece, além da notoriedade, o vínculo direto que o produto possui com a região, ou *terroir*, que imprime características genuínas ao produto. Estes registros têm, como premissa, garantir ao consumidor que o café foi cuidadosamente cultivado e produzido dentro das diretrizes estabelecidas pela região de origem e também protege este *terroir*.

As indicações geográficas podem beneficiar todos os envolvidos na jornada do café canéfora. Para os produtores, essas designações protegem a região e agregam valor aos seus produtos, criando oportunidades de mercado e reconhecimento. Para os consumidores, oferecem a garantia de qualidade e autenticidade, além de proporcionar uma conexão mais profunda com a história e a cultura por trás de cada xícara.

As IG's, portanto, podem ser guardiãs da autenticidade do café canéfora, assegurando que cada xícara seja uma verdadeira jornada sensorial e cultural à origem. A próxima vez que você se deliciar com um café canéfora, lembre-se dessas informações e aprecie todo o sabor e valor de uma xícara autêntica e única.

Marketing de cafés canéfora

O marketing desempenha um papel essencial na jornada dos cafés canéfora. Esses grãos, cultivados em várias partes do mundo, oferecem uma riqueza de sabores e qualidades que, quando bem informados, podem cativar os amantes de café em todo o mundo. O marketing desse tipo de café pode criar oportunidades únicas.

a) Diferenciando-se por seu sabor e intensidade

A primeira estratégia de marketing para os cafés canéfora é destacar suas características únicas. De início, são cafés diferentes, desde o campo até à xícara. Os canéforas são frequentemente associados a sabores mais intensos, robustos e terrosos em comparação com os cafés arábica. Isso os torna ideais para aqueles que apreciam um café encorpado e uma dose extra de cafeína (podendo ser o dobro). O marketing pode enfatizar essas características, destacando como os cafés canéfora oferecem uma experiência de sabor diferente e emocionante. Um estudo recente de Artêncio et al. (2023b) utilizou análises químicas (técnicas metabolômicas) e estatística para examinar diversas variedades de café, incluindo o arábica e o canéfora, bem como suas diferentes variedades (robusta e conilon). Os resultados deste estudo revelaram que o fator genético desempenha um papel crucial na determinação das características químicas e metabólicas do café, influenciando diretamente seu sabor. Além disso, a pesquisa destacou que as variedades robusta e conilon apresentam uma notável diversidade genética, enquanto as diferenças genéticas entre as variedades de café arábica são menos marcantes. São todas informações relevantes para serem utilizadas em estratégias de marketing.

b) Explorando Origens Exóticas

Os cafés canéfora são cultivados em uma variedade de locais, incluindo o Brasil, Vietnã, Indonésia e outros países. Cada região contribui com nuances únicas de sabor devido a diferenças em *terroir*. O marketing pode capitalizar essas origens exóticas, contando histórias sobre as fazendas, as comunidades e as tradições envolvidas na produção desses cafés. Isso não apenas agrega valor ao preço pago pelo consumidor, mas também promove a estes consumidores a oportunidade de se conectarem emocionalmente com o produto (Carvalho Spence, 2018;

Artêncio et al., 2023a). O que pode ajudar também na inserção de turismo rural e gastronômico a estes locais, favorecendo o desenvolvimento local.

As técnicas químicas aplicadas no estudo dos cafés, conforme o trabalho de Artêncio et al. (2023b), oferecem uma valiosa ferramenta para explorar o potencial de marketing de regiões produtoras de café consideradas exóticas e únicas. Além das influências genéticas nas características dos grãos de café, o estudo revela variações significativas nos perfis metabólicos das amostras de café robusta (*C. canephora*), que podem ser associadas a fatores ambientais e humanos específicos de diferentes regiões de produção. Fatores como altitude, composição do solo, clima e flora local, juntamente com práticas de cultivo distintas, desempenham um papel fundamental na formação dessas características únicas.

Essa diversidade sensorial resultante das diferenças químicas pode ser um elemento-chave para o marketing de cafés originários dessas regiões. Por exemplo, a capacidade de descrever os cafés com termos específicos, como “caramelo”, “chocolate” ou “vinho fino”, pode ser explorada para destacar a singularidade e a autenticidade dos produtos de determinadas áreas geográficas.

Portanto, ao utilizar as análises químicas para compreender e comunicar as nuances sensoriais únicas desses cafés aos diversos perfis de público, os produtores e os comerciantes podem criar estratégias de marketing que acentuem a conexão entre a origem geográfica e a qualidade do café, atraindo assim um público mais amplo de apreciadores de café em busca de experiências sensoriais distintas e autênticas.

c) Sustentabilidade e Responsabilidade Social

Nos últimos anos, houve um aumento na conscientização sobre a sustentabilidade no setor do café. Os produtores de cafés canéfora podem usar o marketing para destacar suas práticas de cultivo sustentável, como cafés sombreados, métodos orgânicos de cultivo e programas de comércio justo. Além disso, investir em comunidades locais e melhorar as condições de trabalho nas fazendas pode ser um diferencial no marketing desses cafés, atraindo consumidores que valorizam a responsabilidade social.

Um bom exemplo disso está na Indicação Geográfica Matas de Rondônia, em que há inclusão de povos indígenas de diversas etnias na produção de cafés com qualidade e sustentabilidade, trata-se da única IG de café brasileira que tem indígenas cafeicultores, informação relevante que agrega valor ao café, à região

e ao povo indígena. Também há a inclusão de mulheres em ações específicas na cafeicultura (Movimento das Mulheres do Café de Rondônia) e que proporcionam mais qualidade ao café, visibilidade, reconhecimento e agregação da família na produção e comercialização do grão, atendendo a mercados específicos e com grande apelo social e de inclusão.

Ainda há muito preconceito na comercialização (preços menores) e no consumo de canéfora no Brasil e no mundo. Mesmo ainda encarando preconceitos informacionais (uma vez que em termos de qualidade já está comprovada a qualidade), os canéforas têm novos mercados a explorar, tanto nichos que valorizam cafés especiais, raros e exóticos, como de consumidores que estão iniciando no mundo do café e abertos a experiências surpreendentes.

d) Explorando Novos Mercados

Embora os cafés canéfora possam ser mais amplamente consumidos em regiões produtoras, como o Brasil, eles têm o potencial de conquistar novos mercados. O marketing pode desempenhar um papel fundamental na introdução desses cafés a consumidores que podem não estar familiarizados com eles. Mostrar como os cafés canéfora se encaixam em diferentes métodos de preparação, como espresso ou diversos tipos de café filtrado, assim como são uma ótima pedida para bebidas que levam leite, café e outros ingredientes. O canéfora pode atrair novos públicos, tanto iniciantes como especialistas e amantes da bebida que procuram sabores exóticos, raros e surpreendentes.

e) A Importância da Qualidade

Por fim, o marketing deve sempre enfatizar a qualidade. Os cafés canéfora têm surpreendido paladares exigentes, tanto em qualidade de bebida como em sabores complexos e agradáveis, que vão bem além de apenas intensos, incluindo notas florais, alcoólicas, chocolate, herbais, entre outras. A qualidade é essencial para conquistar a confiança dos consumidores. Reconhecimentos da qualidade, como Indicações Geográficas, podem ser destacadas nas estratégias de marketing para transmitir a ideia de que esses cafés são de alta qualidade, autênticos e genuínos.

Em resumo, o marketing de cafés canéfora, ainda pouco explorado, é uma oportunidade de compartilhar sabores únicos com o mundo e destacar as histórias e as práticas sustentáveis que cercam esses grãos. Com estratégias eficazes, os produtores podem atrair uma base de consumidores diversificada e continuar a encantar os amantes de café com suas ofertas saborosas e autênticas ao redor do

mundo, agregando ainda atividades como o turismo e a gastronomia, com potencial de promover o desenvolvimento sustentável de regiões.

Estudos metabolômicos e perfis de sabor

O mundo do café é vasto e fascinante, com diversas variedades e origens que contribuem para um mosaico de sabores e aromas. Os cafés canéfora têm ganhado destaque por seus sabores ousados e intensos, mas a exploração completa de seus perfis de sensoriais requer uma abordagem científica. É aí que entram os estudos metabolômicos, uma ferramenta poderosa que permite entender em detalhes a composição química desses grãos e como ela se traduz em sabores únicos (Cassago et al., 2021), pode-se dizer que é uma impressão digital química destes cafés.

Esses estudos metabolômicos analisam os metabólitos, que são as moléculas químicas produzidas durante o crescimento e desenvolvimento dos grãos de café. Eles desempenham um papel fundamental na determinação do sabor e aroma do café. Imagine esses metabólitos como os ingredientes secretos que tornam cada café canéfora especial. Usando técnicas avançadas, como a cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massa (LC-MS), os pesquisadores podem identificar e quantificar esses metabólitos (Cassago et al., 2022). A Figura 1 mostra um LC-MS e como são realizadas as análises.



Figura 1. Fluxo de trabalho para análises metabolômicas do café.

Essas análises revelam uma miríade de substâncias químicas, desde cafeína e ácidos clorogênicos até açúcares, lipídios e compostos voláteis. Cada uma dessas moléculas contribui para a complexidade do sabor. Por exemplo, a cafeína é responsável pelo caráter energético e amargo dos cafés canéfora, enquanto os ácidos clorogênicos adicionam notas de acidez e adstringência. A Figura 2 mostra as moléculas de 2,3-deidro-silibina (1), cafeína (2), ácido trans-clorogênico (3) e cajanin (4).

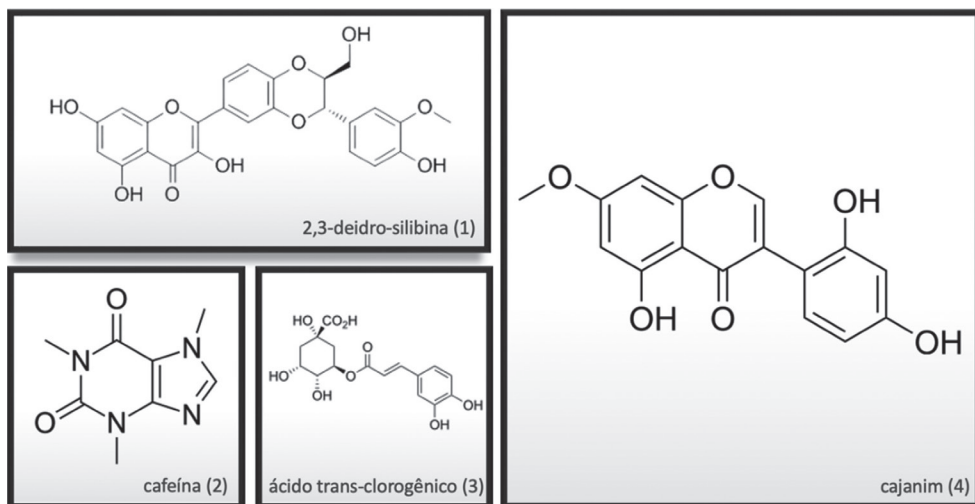


Figura 2. moléculas identificadas no trabalho Artêncio et al. (2023)

Um dos principais objetivos dos estudos metabolômicos é identificar marcadores de sabor. Essas são moléculas específicas que, quando presentes em quantidades particulares, conferem características sensoriais únicas ao café. Para os cafés canéfora, isso pode incluir compostos que proporcionam notas terrosas, de cacau, de castanha de caju, jabuticaba, entre outros. A identificação desses marcadores é essencial para entender o que torna cada lote de café canéfora único.

Além disso, os estudos metabolômicos podem ajudar os produtores a aprimorar a qualidade do café. Ao compreender como diferentes práticas agrícolas, como sombreamento ou adubação, afetam a composição química dos grãos, os produtores podem tomar decisões informadas para otimizar o sabor e a qualidade. Por exemplo, o cultivo à sombra pode promover a formação de certos compostos que contribuem para notas mais suaves e complexas. Os perfis de sabor gerados

a partir desses estudos metabolômicos são uma fonte valiosa de informações para os torradores e baristas (especialistas no preparo do café). Eles fornecem uma visão detalhada das notas de sabor que podem ser esperadas de um determinado lote de café canéfora. Isso é especialmente importante à medida que os consumidores se tornam mais exigentes e desejam saber mais sobre a origem e as características sensoriais de seu café.

A compreensão dos perfis de sabor também é fundamental para a criação de *blends* (misturas) de café. Os torradores e baristas (especialistas no preparo do café) podem usar as informações dos estudos metabolômicos para combinar cafés canéfora ou arábicas de diferentes origens de maneira a obter um sabor desejado. Isso permite a criação de *blends* únicos e equilibrados que atendam ao paladar de diversos consumidores.

Além disso, a ciência por trás dos perfis de sabor dos cafés canéfora desafia estereótipos. Embora esses grãos sejam frequentemente associados a sabores fortes e amargos, os estudos metabolômicos revelam uma gama surpreendente de possibilidades. Eles podem ser encontrados em uma variedade de notas, desde achocolatadas e amanteigadas até frutadas e florais. No entanto, vale ressaltar que os sabores do café canéfora não são apenas determinados por compostos químicos. Como falado anteriormente, o *terroir* desempenha um papel significativo. A altitude, o clima e o solo de uma região de cultivo influenciam a disponibilidade de nutrientes e a formação de metabólitos, contribuindo para a diversidade de sabores encontrados em diferentes origens de café canéfora, além é claro, do manejo e saber fazer do local.

Em resumo, os estudos metabolômicos e os perfis de sabor nos conduzem a uma jornada fascinante de descoberta no mundo dos cafés canéfora. Essas informações auxiliam a desvendar a influência química por trás dos sabores e aromas únicos, além de oferecer informações valiosas aos produtores, especialistas do setor e agentes públicos para tomadas de decisão.

A influência da cafeína no amargor

A cafeína é uma das substâncias mais conhecidas e estudadas no café e desempenha um papel importante na determinação do sabor da bebida, além de conferir mais energia e disposição. Uma das características mais marcantes associadas à cafeína é o amargor.

A cafeína é um alcaloide natural que pertence à classe das xantinas. Ela está presente em todos os tipos de café, mas a quantidade pode variar significativamente entre as diferentes variedades e origens. A cafeína é responsável por algumas das propriedades sensoriais mais distintas do café, incluindo o sabor amargo (Perrois et al., 2015).

O amargor é uma das cinco sensações básicas do paladar humano, juntamente com o doce, salgado, ácido e umami. No café, a cafeína é um dos principais contribuintes para o amargor, embora não seja **única**. Os ácidos clorogênicos, compostos antioxidantes presentes nos grãos de café, também desempenham um papel na amargura. No entanto, a cafeína é frequentemente destacada em virtude da sua capacidade de ativar receptores de amargor na língua e percepção varia de pessoa para pessoa. Alguns indivíduos são mais sensíveis ao amargor do que outros, e isso pode influenciar suas preferências de sabor. A concentração de cafeína no café pode ser um fator determinante na intensidade do amargor percebido. Quanto mais cafeína presente no café, maior a probabilidade de ele ser percebido como amargo.

No entanto, é importante notar que o amargor não é necessariamente indesejado no café. Muitos apreciam a complexidade sensorial que a cafeína e outros compostos amargos adicionam à bebida. Além disso, o amargor pode ser equilibrado por outros sabores e aromas presentes no café, como notas de caramelo, chocolate ou frutas. Os métodos de preparação do café também desempenham um papel na percepção do amargor. Por exemplo, o tempo de extração e a temperatura da água podem afetar a quantidade de cafeína e compostos amargos extraídos dos grãos de café. Um café superextraído, preparado com água muito quente ou por muito tempo de extração, pode ser excessivamente amargo, enquanto um café subextraído pode parecer menos amargo, mas também menos saboroso.

Os torradores e baristas desempenham um papel fundamental no controle do amargor do café. O processo de torrefação pode influenciar a intensidade do amargor, à medida que os compostos de cafeína e ácidos clorogênicos sofrem transformações durante o aquecimento dos grãos de café. A escolha do ponto de torra pode ser ajustada para atender às preferências dos consumidores em relação também ao amargor.

Em suma, a cafeína desempenha um papel significativo no amargor do café, mas não é o único fator envolvido. Sua percepção pode variar de pessoa para pessoa e é influenciada por diversos elementos, incluindo a concentração de cafeína, o ponto de torra e o método de preparo. O amargor é uma característica sensorial

complexa que contribui para a riqueza e a diversidade de sabores encontrados no mundo do café.

Tendências de consumo de cafés canéfora

Nos últimos anos, as tendências de consumo de café canéfora, que inclui variedades como o café robusta e conilon, têm passado por uma notável transformação. Tradicionalmente, o café canéfora era associado a um sabor mais amargo e menos refinado em comparação ao café arábica. No entanto, uma série de fatores têm impulsionado a ascensão do café canéfora nas preferências dos consumidores e no mercado global de café.

1. **Sabor e qualidade:** a qualidade dos grãos de café canéfora melhorou substancialmente ao longo dos anos devido a avanços na produção, colheita e processamento. Os cafeicultores estão adotando práticas sustentáveis e tecnologias modernas para manter a qualidade e, consequentemente, o sabor desses grãos.
2. **Sustentabilidade:** o café canéfora é frequentemente cultivado em regiões onde o café arábica enfrenta desafios devido às mudanças climáticas. Essas variedades são mais resistentes a pragas e doenças e também mais produtivas, o que reduz a necessidade de agrotóxicos, com o uso da terra mais eficiente, tornando sua produção mais sustentável.
3. **Café forte e intenso:** muitos consumidores buscam sabores mais fortes e intensos de café. O canéfora, com suas características de sabor, atende bem a essa demanda por cafés encorpados e marcantes.
4. **Mercado emergente:** regiões produtoras de café canéfora, como o Vietnã e o Brasil, estão ganhando destaque no mercado global. Esses países têm investido na melhoria da qualidade e na promoção de seus cafés canéfora, conquistando consumidores de todo o mundo.
5. **Café de origem:** assim como o café arábica, o canéfora também está sendo comercializado como café de origem, destacando suas características únicas com base na região de cultivo.
6. **Consciência dos consumidores:** os consumidores estão se tornando mais conscientes sobre a origem de seus alimentos e bebidas. A transparência na cadeia de produção do café canéfora está se tornando uma prioridade para atender a essa demanda.

Essas tendências estão mudando a percepção do café canéfora e a maneira como ele é consumido em todo o mundo. À medida que os consumidores exploram novos sabores, procuram opções mais acessíveis e sustentáveis, o café canéfora se consolida como uma parte essencial do cenário global do café. A sua natureza robusta e a capacidade de resistir aos desafios ambientais estão moldando o futuro do café, tornando-o mais resiliente e atraente para uma nova geração de amantes de café.

Café canéfora no setor de café especial

O setor do café especial tem testemunhado uma transformação significativa nos últimos anos, à medida que o café canéfora conquista um lugar de destaque nesse cenário em constante evolução. O Brasil, com diversidade e qualidade, desempenha um papel fundamental nessa narrativa, com as regiões de Rondônia e Espírito Santo emergindo como protagonistas notáveis dessa tendência.

Historicamente, o Brasil ganhou renome por sua produção massiva de café arábica, seguida do destaque para a alta qualidade de seus cafés. No entanto, à medida que os desafios climáticos e as mudanças nas preferências dos consumidores impulsionaram a busca por alternativas resistentes e saborosas, o café canéfora, notadamente o robusta, ganhou terreno. Sua maior resistência a doenças e condições climáticas adversas, além de alta produtividade e sabor, o tornou uma escolha atrativa para certas regiões, como Rondônia, no Norte do Brasil e em meio ao bioma Amazônia.

Rondônia se destaca como uma das principais áreas de cultivo de café canéfora no País. No estado, há predominância da variedade robusta, que é cultivada em um sistema sustentável, em pequenas propriedades, com a participação ativa de comunidades indígenas, como as etnias aruá, tupari e suruí. Essa abordagem única de cultivo, enraizada na conexão profunda com a terra e nas técnicas tradicionais, contribui para a singularidade do café de Rondônia denominado “Robusta Amazônico”. Por outro lado, o Espírito Santo, no Sudeste do Brasil, adota uma abordagem diferente. O café canéfora, com predominância da variedade conilon, é cultivado em pequenas e médias propriedades, com ampla mecanização e diversos sistemas de irrigação. Essa abordagem contrastante em relação a Rondônia demonstra a versatilidade do café canéfora no contexto brasileiro, adaptando-se às necessidades e condições locais.

Essas diferenças geográficas e culturais têm um impacto significativo no perfil de sabor do café canéfora produzido nessas regiões. Em Rondônia, os robustas

frequentemente apresentam notas de “vinho fino” e um caráter “amanteigado”, enquanto os cafés conilon de Espírito Santo oferecem experiências sensoriais com notas de “frutas secas” e um caráter “vibrante”. É importante ressaltar que, apesar das nuances regionais, o café canéfora compartilha algumas características comuns, como a presença marcante da cafeína, que contribui para o sabor geralmente mais intenso e amargo em comparação com o café arábica.

À medida que o café canéfora continua a desempenhar um papel crescente no setor de café especial, a compreensão das influências geográficas e culturais em seu cultivo se torna crucial. Essas nuances regionais não apenas enriquecem a diversidade de sabores disponíveis para os consumidores, mas também oferecem oportunidades para produtores e torrefadores explorarem ainda mais o potencial do café canéfora em um mercado em constante evolução e ávido por novidades.

Além disso, a produção de café canéfora em Rondônia é uma parte essencial dessa tendência em crescimento. Os indígenas da região desempenham um papel importante na produção de café, contribuindo com sua expertise na agricultura e sua profunda conexão com a terra e a natureza. Essa colaboração entre os cafeicultores locais e as comunidades indígenas não apenas fortalece a produção, mas também promove a inclusão social e econômica das comunidades indígenas no setor do café.

Em resumo, o café canéfora, especialmente o Robusta Amazônico de Rondônia, está conquistando seu espaço no cenário de café especial, proporcionando uma ampla gama de sabores e características sensoriais únicas, amparado, principalmente, pelo registro da Indicação Geográfica, do tipo Denominação de Origem, Matas de Rondônia, a primeira IG de café canéfora sustentável do mundo. As diferentes abordagens de cultivo entre Rondônia e Espírito Santo refletem a adaptabilidade dessa variedade às diversas condições brasileiras, conferindo diferenciais que os tornam únicos. A colaboração entre diferentes comunidades e culturas enriquece ainda mais a história do café canéfora no Brasil, tornando-o uma parte essencial da paisagem do café especial global, e agregando valor também à região e ao País.

Futuro dos cafés canéfora e pesquisas

O futuro dos cafés canéfora é promissor e está intimamente ligado a pesquisas e inovações contínuas. À medida que a demanda por café canéfora de alta qualidade cresce, é fundamental explorar as oportunidades que essa espécie oferece e abordar os desafios associados.

Um estudo recente de Artêncio et al. (2023) destacou a importância das análises metabolômicas na compreensão das características únicas do café canéfora. A pesquisa revelou que as diferenças no perfil de sabor do café canéfora pode ser atribuída a fatores geográficos, como região de produção e práticas agrícolas específicas. Isso enfatiza a relevância de estudos que explorem as influências geográficas e culturais na produção de café canéfora, como destacado em nosso texto anterior.

Além disso, a influência da cafeína no amargor do café canéfora, como discutido anteriormente, é um tópico crucial que merece mais pesquisas. Portela et al. (2021) buscaram compreender como a cafeína afeta o perfil de sabor e como diferentes métodos de processamento podem influenciar seu conteúdo para aprimorar a qualidade desse café.

Ademais, a busca por valorização da origem, como o registro de indicação geográfica, é outra área de pesquisa que pode beneficiar o futuro dos cafés canéfora. As IG's tem potencial não apenas de proteger a região e agregar valor aos produtos, como garantem a autenticidade e a rastreabilidade, fortalecendo a conexão entre produtores e consumidores. Um estudo de Artêncio et al. (2023) explora como a origem do café afeta a percepção sensorial dos provadores profissionais. Eles descobriram que a informação de origem afetou significativamente a percepção sensorial dos participantes, alterando a intensidade das notas de acidez e sabor geral após a leitura da história relacionada à origem do café. Esses resultados enfatizam ainda mais o papel das informações de origem na experiência do café e na influência das expectativas dos consumidores.

No âmbito do marketing de cafés canéfora, estratégias inovadoras podem ser desenvolvidas para promover essa espécie. À medida que mais consumidores buscam experiências sensoriais únicas, destacar os sabores distintos do café canéfora e sua versatilidade na criação de *blends* únicos é fundamental. Além disso, o café canéfora no contexto de café especial, especialmente no Brasil e nas regiões de Rondônia e Espírito Santo, apresenta um cenário promissor e com muitas especificidades a serem exploradas pelo marketing. A produção de café canéfora de alta qualidade em Rondônia, com suas práticas agrícolas sustentáveis e colaboração com comunidades indígenas e inclusão de ações específicas para mulheres, destaca a importância da responsabilidade social e ambiental no setor cafeeiro. São diferenciais e informações relevantes que demandam estratégias eficientes de marketing para agregação de valor à toda cadeia.

Considerações finais

As tendências de consumo de cafés canéfora indicam que os consumidores estão cada vez mais interessados em explorar essa espécie. Com sua presença marcante de cafeína e perfis de sabores únicos, o café canéfora atende às preferências de muitos. À medida que mais pessoas descobrem e apreciam esses cafés, a pesquisa contínua se torna essencial para atender às crescentes expectativas de qualidade e sustentabilidade.

De forma geral, o futuro dos cafés canéfora está intrinsecamente ligado à pesquisa e inovação direcionando ações estratégicas de marketing. Compreender as nuances geográficas, perfis de sabor, influência da cafeína e oportunidades de marketing é fundamental para aprimorar a qualidade e a aceitação global desses cafés. Conforme o setor de café canéfora evolui, a colaboração entre produtores, pesquisadores e consumidores desempenhará um papel vital na promoção dessa espécie única e deliciosa.

Referências

- ARTÊNCIO, M.M., GIRALDI, J.M.E., OLIVEIRA, J.H.C. A cup of black coffee with GI, please! Evidence of geographical indication influence on a coffee tasting experiment. **Physiology and Behavior**, v.245, 113671. Mar. 2022a.
- ARTÊNCIO, M. M.; CASSAGO A. L. L.; GIRALDI, J. M. E.; PÁDUA, S. I. D.; COSTA, F. B. One step further: application of metabolomics techniques on the geographical indication (GI) registration process. **Business Process Management Journal**, v. 28, n. 4, p.1093–1116, aug. 2022b.
- ARTÊNCIO, M. M.; CASSAGO, A. L. L.; SILVA, R. N. da; CARVALHO, F. M.; COSTA, F. B. da; ROCHA, M T. L.; GIRALDI, J. M. E. The impact of coffee origin information on sensory and hedonic judgment of fine Amazonian robusta coffee. **Journal of Sensory Studies**, v. 38, n. 3, e12827, mar. 2023a.
- ARTÊNCIO, M. M.; CASSAGO, A. L. L.; SILVA, R. K.; GIRALDI, J. M. E.; COSTA, F. B. Untargeted metabolomic approach based on uhpl-esi-hrms to investigate metabolic profiles of different coffea species and terroir. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 33, p. 1251-1262, sep. 2023b.
- CARVALHO, F. M.; SPENCE, C. The shape of the cup influences aroma, taste, and hedonic judgements of specialty coffee. **Food Quality and Preference**, v. 68, p. 315-321, sep. 2018.
- CASSAGO, A. L. L.; ARTÊNCIO, M. M.; GIRALDI, J. M. E.; COSTA, F. B. Metabolomics as a marketing tool for geographical indication products: a literature review. **European**

Food Research and Technology, v. 247, p. 2143–2159, jun. 2021.

CASSAGO, A. L. L.; SOUZA, F. V. D.; ZOCCOLO, G. J.; COSTA, F. B. Metabolomics as a tool to discriminate species of the *Ananas* genus and assist in taxonomic identification.

Biochemical Systematics and Ecology, v. 100, 104380, feb. 2022.

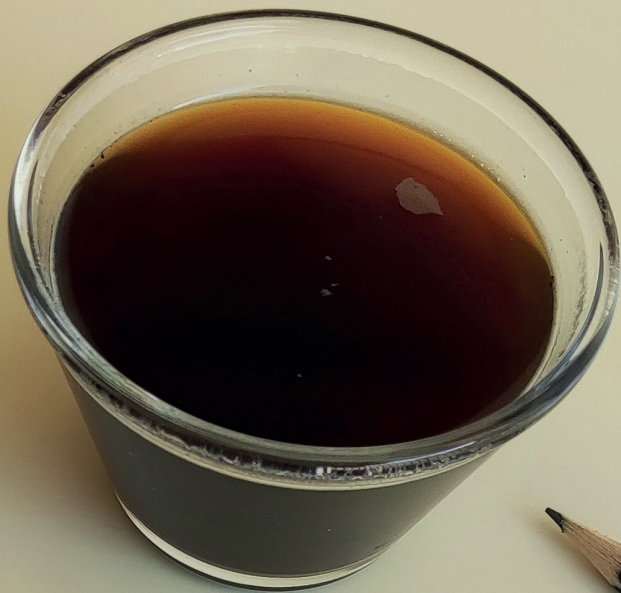
PERROIS C.; STRICKLER, S. R.; MATHIEU, G.; LEPELLEY, M.; BEDON, L.; MICHAUX, S.; HUSSON, J.; MUELLER, L.; PRIVAT, I. Differential regulation of caffeine metabolism in *Coffea arabica* (Arabica) and *Coffea canephora* (Robusta). **Planta**, v. 241, p. 179-191, sep. 2015.

PORTELA, C. S.; ALMEIDA, I. F.; MORI, A. L. B.; YAMASHITA, F.; BENASSI, M. T. Brewing conditions impact on the composition and characteristics of cold brew arabica and robusta coffee beverages. **LWT**, v. 143, 111090, may. 2021.

ROCCHETTI G.; BRACESCHI, G. P.; ODELLO, L.; BERTUZZI, T.; TREVISAN, M.; LUCINI, L. Identification of markers of sensory quality in ground coffee: an untargeted metabolomics approach. **Metabolomics**, v. 16, n. 127, p. 1-12, dec. 2020.

SPIELMANN, N.; CHARTERS, S. The dimensions of authenticity in terroir products.

International Journal of Wine Business Research, v. 25, n. 4, p. 310-324, nov. 2013.



Intensity	
0	absence
1	very low
2	low
3	middle or moderate
4	high
5	very high

EXPLORE
& ENJOY INSTANT
COFFEE
BRAZIL

[illegible]

Capítulo 9

Protocolo de degustação de cafés solúveis

*Aguinaldo José de Lima,
Eliana Relvas de Almeida*

Introdução

A Associação Brasileira da Indústria de Café Solúvel (ABICS), em cooperação com o Instituto Tecnológico de Alimentos (ITAL), desenvolveu uma metodologia para avaliação da qualidade do café solúvel que propõe um léxico sensorial e diversas categorias de qualidade. O desenvolvimento dessa metodologia, que teve início em 2019 e contou com a participação de especialistas de todas as empresas de café solúvel que operam no Brasil e consultores do Brasil e do exterior, e levou em consideração as principais marcas de café solúvel no mercado brasileiro e algumas estrangeiras. Essa metodologia inovadora e pioneira avalia a qualidade pela intensidade dos atributos e não por pontuações. Esse conceito permite que o consumidor selecione os cafés de acordo com sua preferência, incluindo os métodos de consumo. Dessa forma, o consumidor pode identificar quais produtos ou cafés são mais indicados para café puro, misturas com leite, cappuccinos, “drinks”, gastronomia.

Porque não se deve comparar café solúvel x torrado/moído?

O café solúvel não é igual ao torrado e moído em suas características físicas e sensoriais, apesar de buscarmos o sabor conhecido em nosso cérebro, eles são diferentes tecnicamente!! O café solúvel tem uma complexidade de sabores e aromas em virtude das condições de sua elaboração em seus diferentes processos: temperatura e pressão em que os grãos são submetidos para a transformação em pó (spray dried) ou grânulos (freeze dried). É importante ressaltar que utiliza-se apenas CAFÉ em grãos, ÁGUA, temperatura e pressão para realizar todos os processos.

Diferença entre processos do café solúvel e café torrado/moído

Apenas para uma maior compreensão ao compararmos os métodos de preparo, o café espresso é o que mais se aproxima do solúvel, em virtude da alta pressão, entretanto, podemos separar em três etapas:

- Umedecimento: nesta fase as partículas de café são preparadas para a extração dos sólidos solúveis;
- Extração: dos sólidos solúveis do café ocorrem rapidamente depois da absorção da água;
- Hidrólise: é a quebra dos carboidratos insolúveis em água em partículas menores que se tornam solúveis, e por isso acabam por fazerem parte do extrato.

Contudo, no café torrado e moído (T&M ou R&G) o processo finaliza na etapa da extração, e um café solúvel continua até a etapa da hidrólise, cujas temperaturas atingem aproximadamente 160°C até 175°C, sob pressão.

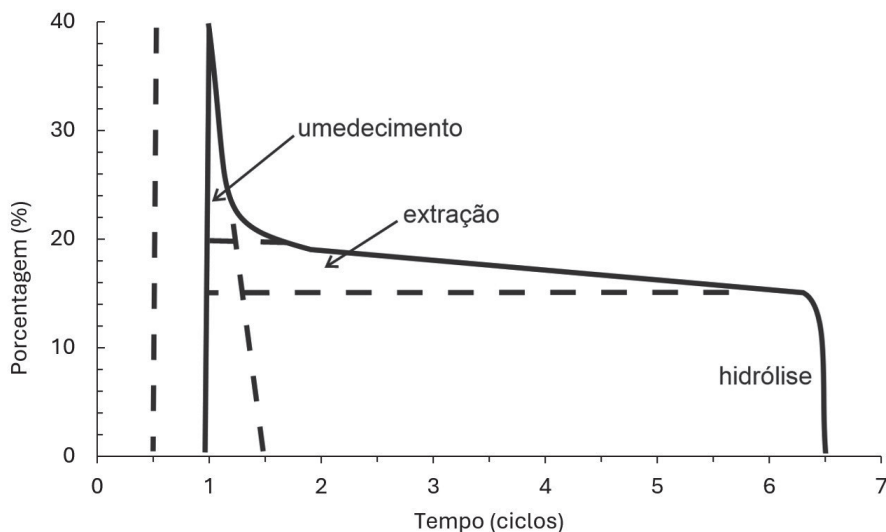


Figura 1. Gráfico do Perfil de Extração.

Além das três fases citadas acima, três fatores técnicos que diferenciam o café solúvel de um café torrado e moído regular:

- a) Colóides: um café torrado e moído tem uma porção maior de colóides / óleos extraídos do preparo. O café solúvel tem menos colóides na bebida.
- b) Aroma: quanto mais aromas reincorporados, maior semelhança entre os cafés solúveis e T&M; o café torrado é extremamente aromático e quando está sob alta temperatura e pressão estes aromas são mais sensíveis. Durante o processo de extração, estes aromas NATURAIS do próprio café podem ser capturados através do vapor de água e depois podem ser reincorporados no processo para serem mais parecidos com os R&G / T&M.
- c) Hidrólise: quanto mais intensa, maior o desvio de sabor do café.

Elaboração dos processos de café solúvel

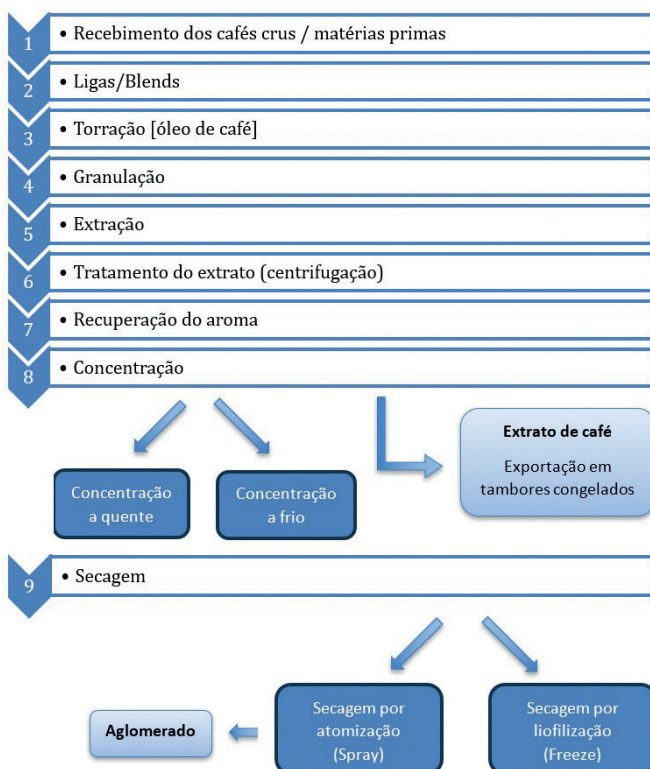


Figura 2. Fluxograma básico do processo de produção de café solúvel.

1. **Matéria-prima**

As duas Espécies de grãos usados na produção do café solúvel são:

- *Coffea Arábica*
- *Coffea Canephora*: Robusta e Conilon.

O que define a utilização de cada uma delas dependerá do perfil sensorial: aroma e sabor desejado.

2. **Blend**

Os cafés verdes são classificados por características físicas e de bebidas (em acordo com a Classificação Oficial Brasileira e a Instrução Normativa nº 8) além das seguintes análises de: Umidade, Ocratoxina A, matérias estranhas e impurezas e análise sensorial.

Posteriormente são elaborados os blends para serem torrados;

3. **Torra dos grãos**

O primeiro passo do processo de fabricação de café solúvel é a torrefação, que vai desenvolver as características de sabor e aroma desejados. Aqui os grãos são torrados desde cores claras até as mais escuras. Blends de cores claras e escuras, de cafés arábica com conilon também podem ser trabalhados. A determinação do ponto de torra define o perfil sensorial da bebida final (aroma e sabor). A verificação da cor é feita por equipamentos específicos para garantir uma leitura padronizada para cada lote de café torrado. Vale ressaltar que cor de torra na matéria-prima não está diretamente associada a cor do produto final, porque no café torrado define-se o perfil sensorial e no café solúvel o aspecto na tonalidade de cor do pó e grânulos.

3.1 **Processo do óleo de café**

Outro produto obtido no processo depois da torra é o óleo de café torrado que é produzido por meio da prensagem e filtração para posteriormente ser aplicado em vários produtos.



Figura 3. Óleo de café.

4. Granulação

O café torrado é quebrado em partes uniformes com intuito de produzir uma maior superfície de contato entre a água quente e o grão torrado e assim permitir uma extração apropriada de seus sólidos solúveis. Não é recomendado o uso de uma granulometria muito fina, pois tais partículas podem entupir os filtros de extrato na saída da coluna de extração (“percolator column”). Cada grão de café quebrado forma de quatro a cinco partes.

5. Extração

Logo após a granulação, vem a etapa de extração. A extração é a percolação de água (em alta temperatura e pressão) pelo café para a remoção das substâncias solúveis do grão por infusão. Esta é feita por colunas de aço inoxidável conectadas por tubos que permitem a passagem de uma coluna para a outra sucessivamente. Para entender essa etapa, basta imaginar filtros de café colocados um sobre o outro. Em cada filtro, há o café moído. Então adiciona-se água quente no primeiro filtro e esta vai percolando todos os outros filtros e no final temos um líquido bem escuro, chamado de extrato de café. A extração é similar a um espresso (com pressão e temperatura), onde existem partes do café que tem aromas e sabores distintos! A primeira, com mais açúcares até a última com menos componentes de aromas e sabores. Esse extrato nada mais é que água e sólidos solúveis de café. O líquido ainda tem muita água que será retirada na etapa posterior, a concentração. Quando necessário, o extrato pode ser centrifugado para retirada de sólidos insolúveis.



Figura 4. Desenho da coluna de extração.

6. Tratamento do extrato

O Extrato é tratado, centrifugado/filtrado antes de ir para a concentração, para evitar que partículas insolúveis continuem no processo.

7. Recuperação do aroma

Antes de enviar o extrato ao estágio de concentração se faz necessário o processamento em um recuperador de aromas. Nesta fase os componentes aromáticos do extrato são separados pela extração com vapor, os quais são condensados e armazenados em um tanque hermético. O extrato é enviado ao evaporador para aumentar a concentração de sólidos solúveis. Após atingir a concentração definida, reincorpora-se a fração aromática do próprio café ao produto que será enviado para a etapa de secagem.

8. Concentração

Na concentração retira-se uma parte da água contida no extrato do café até atingir concentrações de sólidos solúveis que permitam a etapa de secagem para obtenção do pó solúvel. O extrato de café está então pronto para ser seco. Ou ainda, esse extrato concentrado pode ser envasado em tambores então congelados para envio a alguns mercados consumidores como Japão, por exemplo.

Nessa etapa a concentração do extrato pode ser elevada até próximo de 60 % em sólidos solúveis para facilitar a secagem. Este processo pode ser realizado basicamente de duas formas: por aquecimento ou a frio por congelamento.

8.1 Concentração a quente (evaporação)

Durante a concentração a quente, aproximadamente metade da água existente no extrato é eliminada, aumentando assim a sua concentração. Nos concentradores a quente, a água contida no extrato é evaporada sob vácuo a uma temperatura inferior ao ponto de ebulição da água (pressão ambiente), evitando assim a perda excessiva de aromas do café.

8.2 Concentração a frio

A concentração a frio tem como base a cristalização de parte da água contida no extrato e remoção dos cristais de gelo eliminando cerca de 40% do conteúdo inicial de água. Com esse processo os componentes aromáticos são preservados, acentuando os aromas do café à bebida final.

8.3 Extrato de café

Após o processo de concentração, o extrato pode ser envasado em tambores os quais serão exportados congelados ou são enviados para a etapa de secagem.



Figura 5. Extrato de café.

9. Secagem

A secagem do extrato de café pode ser feita por 2 processos: por aquecimento (evaporação) – spray, ou por congelamento (sublimação) – freeze. Para melhor entendimento desta etapa do processo ... vamos lembrar do gráfico do ponto triplo da água.

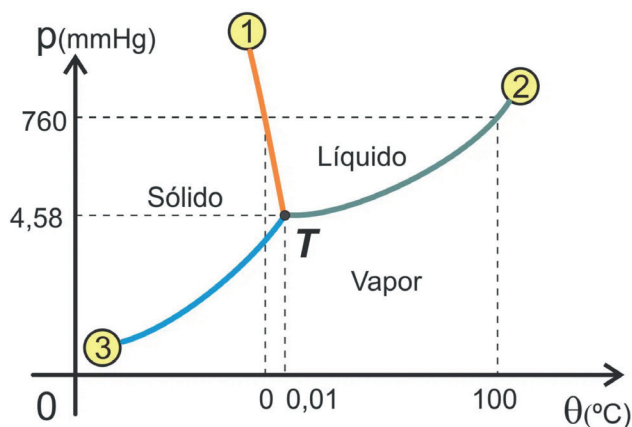


Figura 6. Diagrama de fases da água. [1] solidificação, [2] condensação, [3] sublimação.

A passagem da água do estado líquido para o de vapor na pressão atmosférica ocorre em torno de 100°C . Entretanto para a água que está no estado sólido passar para o gasoso SEM passar pelo estado líquido, só ocorre em baixa pressão, portanto a sublimação da água ocorre em baixa pressão e consequentemente baixa temperatura.

9.1 Spray dried (spray) aspersão

O extrato é enviado à torre de secagem onde é bombeado no topo da torre e paralelamente há injeção de ar quente (em torno de 200 °C ou mais para que se inicie a evaporação da água). O extrato é injetado em mini gotas formando pequenas esferas (Spray) e a água contida nessas partículas de extrato será evaporada durante sua queda pela torre. O pó seco é removido na parte inferior da torre. A temperatura final do pó é de 32 °C em média com 3% umidade.

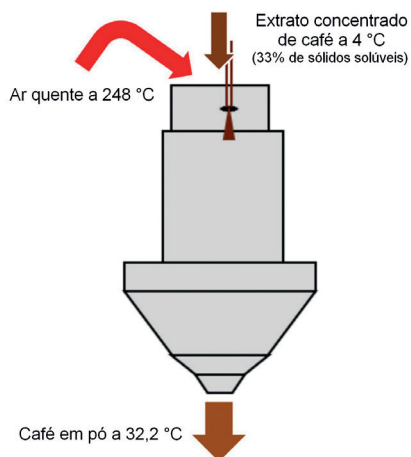


Figura 7. Perfil da Torre de Secagem.

Fonte: Sivetz e Desrosier (1979).



Foto extraída do site <https://iguacu.com.br>

Figura 8. Aspecto do pó - spray dried.

9.2 Secagem – Freeze Dried -Liofilizado

É o outro método de desidratação do café. O extrato após concentrado é congelado em uma câmara fria com 3 etapas: -5 °C, -20 °C a -50 °C fazendo com que o extrato mantenha as suas características.

O extrato congelado é triturado e granulado para que seja classificado por peneiras (definição do tamanho das partículas) e em seguida depositado numa bandeja. O produto granulado é então introduzido em uma câmara de vácuo onde é seco em baixas temperaturas, fazendo com que a água passe do estado sólido diretamente para o estado vapor por sublimação. A bandeja é descarregada liberando o produto já seco que é posteriormente peneirado em acordo com as especificações de granulometria específica.

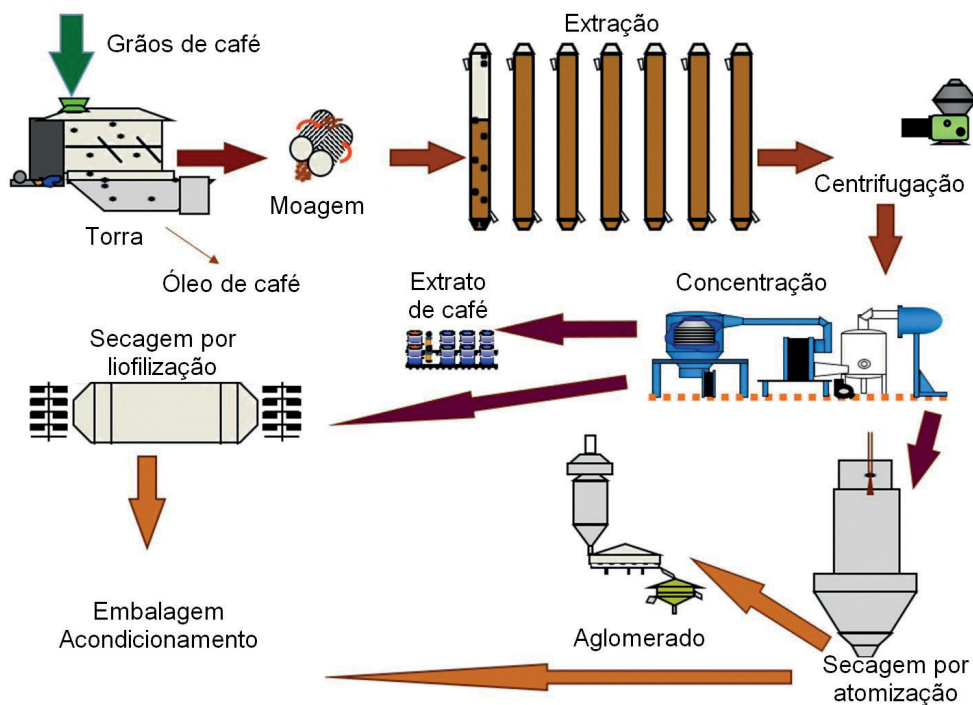


Foto extraída do site <https://iguacu.com.br>

Figura 9. Aspecto do cristal e grânulos do café freeze dried.

9.3 Secagem – aglomerado

Este processo consiste em moer o café spray em partículas mais finas e menores (similar a um talco), as quais são umedecidas, em contato com vapor, formando um produto granulado que posteriormente é passado através de peneiras para definição do tamanho de partículas para fins de especificação da granulometria.

Foto extraída do site <https://iguacu.com.br>**Figura 10.** Aspecto do pó aglomerado.**Figura 11.** Resumo do processo de café solúvel.

Análises realizadas nos produtos

A indústria de café solúvel tem uma preocupação grande em todas as etapas dos processos e vários testes e análises são realizadas para a manutenção constante da qualidade, desde a escolha do fornecedor da matéria-prima até o produto final e embarque.

Físico-químicas durante o processo: umidade, PH, sedimento, densidade, concentração (Grau Brix);

Produto final: ocratoxina A, umidade, cinzas, PH, acrilamida, carboidratos, aflatoxina, cafeína;

Microbiologia: bolores e leveduras, coliformes de origem fecal (*Escherichia coli*), salmonelas.

Finalização do processo

O processo de café solúvel é realizado apenas por dois ingredientes: café torrado e água. Por meio da física (temperatura e pressão) e tecnologia pode-se elaborar receitas e perfis totalmente diferentes ajustados de acordo com seu uso como ingrediente na indústria de bebidas e alimentos, como também para consumidores finais (Figura 12). A preocupação com a sustentabilidade ambiental e



Figura 12. Resumo do processo de café solúvel.

todo o uso do resíduo formado pela indústria é reutilizado por meio da biomassa e usado como combustível nas caldeiras. A água é tratada e devolvida ao meio ambiente em condições melhores do que foram retiradas e de acordo com as Normas estabelecidas por Órgãos Estaduais e Federais. Normalmente as análises físico-químicas sensoriais e microbiológicas são efetuadas nos laboratórios das próprias fábricas por possuírem equipamentos de última geração que são aferidos regularmente por instituições credenciadas junto aos Órgãos Estaduais e Federais. Estes são considerados um dos melhores do mundo.

Avaliação sensorial

Em virtude de todos os processos pelos quais estes produtos passam, foi elaborado uma metodologia com os principais atributos sensoriais apresentados nestes cafés para melhor compreensão e aplicação dos cafés solúveis adequadamente de acordo com o respectivo uso/consumo.

Os 15 atributos a serem avaliados são: doçura, acidez, amadeirado, floral, herbáceo, frutado, especiarias, nozes e castanhas, chocolate, mel, potência, adstringência, amargor, extração excessiva de café, corpo.

Após todas as etapas de processos os cafés apresentam diversos sabores e aromas e conforme mencionado anteriormente, qualquer café pode ser processado como solúvel. Isso por si só implica que os cafés solúveis terão qualidades diferentes. E a gama de qualidades do café solúvel pode ser tão ampla quanto a do café torrado e moído.

No entanto, ao contrário dos cafés torrados e moídos, que possuem sistemas de avaliação de qualidade amplamente reconhecidos, como o SCA Cupping Protocol, os produtos de café solúvel carecem de um sistema para avaliar a qualidade e comunicá-la da melhor maneira entre as empresas e os consumidores.

A qualidade dos cafés solúveis pode ser classificada com base na intensidade de vários atributos, desejáveis ou indesejáveis. Isso permite que os provadores atuem como provadores descritivos ao avaliar a intensidade de vários atributos de sabor, e a pontuação ou grau de qualidade do café será o resultado dos “pesos de desejabilidade” desses atributos. Isto traz uma vantagem adicional para os consumidores: este método se relaciona diretamente ao sabor encontrado no produto, e a qualidade pode ser facilmente comunicada em termos de sabores específicos.

A aplicação dessa avaliação de qualidade “objetiva” ou “descritiva” ao café solúvel tem várias vantagens: demonstra que há um consenso dentro da indústria do café solúvel sobre quais atributos são mais desejáveis do que outros; demonstra que as ferramentas modernas da ciência sensorial podem ser aplicadas na categoria de café solúvel para incentivar a diferenciação transparente de produtos e equipa a categoria com uma linguagem para falar aos consumidores sobre sabor e qualidade, de forma compreensível.

O primeiro passo foi a criação de um sistema de avaliação baseado nos aspectos descritivos do café solúvel e identificar os principais atributos de sabor do café solúvel. O segundo passo foi identificar as inter-relações entre os principais atributos de sabor e a qualidade percebida, para obter o “peso de desejabilidade” para cada atributo. A terceira etapa foi aplicar um método de avaliação para cafés solúveis, baseado na intensidade dos principais atributos de sabor.

Identificação de atributos sensoriais no café solúvel

A aplicação do Sorting detectou 15 atributos sensoriais importantes nos cafés solúveis, que resultou em três grupos sensorialmente distintos e com especificidades de cada um deles (Tabela 1 e 2).

Tabela 1. Escala de intensidade utilizada para atributos de sabor

Nível de intensidade	Descrição
0	Ausência
1	Muito baixa
2	Baixa
3	Média/moderada
4	Alta
5	Muito alta

Tabela 2. Coordenadas (pesos) dos atributos de sabor ao longo de F1 do ACP. O sinal foi invertido para tornar os atributos “desejáveis” positivos e “indesejáveis” negativos.

Atributo de sabor	Pontuação
Doçura	5.11
Acidez	5.00
Madeira	-5.02

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Atributo de sabor	Pontuação
Floral	5.08
Vegetal	4.98
Nozes	3.37
Especiarias	0.57
Frutado	4.99
Chocolate	2.86
Mel	4.78
Intensidade do sabor residual	-4.34
Adstringência	-4.93
Amargor	-5.14
Sabor de café extraído em excesso	-5.03
Corpo	0.00

Sistema de avaliação da qualidade do café solúvel

O Sistema de Avaliação da Qualidade do café solúvel possui diversas características:

- 1) Baseia-se nos estudos realizados pela ABICS e ITAL.
- 2) Um índice de qualidade para cada café solúvel é obtido. No entanto, a pontuação de qualidade não é uma classificação afetiva, baseada na opinião do provador, mas sim uma pontuação ponderada, baseada nas intensidades dos principais atributos discriminantes. Isso torna o índice de qualidade objetivo e replicável por qualquer painel treinado usando a mesma referência.
- 3) O índice de qualidade é usado principalmente para determinar o grau de qualidade ao longo da escala, embora também possa ser comunicado aos consumidores.
- 4) O peso de cada atributo foi determinado com base em sua coordenada no eixo F1 do Análise Componentes Principais. Isso significa que os atributos com maior peso são os principais impulsionadores da percepção de qualidade entre os provadores especialistas
- 5) Os atributos desejáveis e relevantes que um determinado café apresenta em intensidades média/moderada a muito alta também podem ser comunicados aos consumidores, com a certeza de que encontrarão esses atributos no produto.

O protocolo geral para a avaliação do café solúvel de acordo com esta metodologia está resumido abaixo:

- 1) A amostra deve ser avaliada por um grupo de três a quatro provadores treinados de café solúvel. Os provadores devem ter sido previamente treinados e calibrados na avaliação dos atributos do léxico, utilizando a escala de 0 a 5.
- 2) As amostras de café solúvel devem ser preparadas com 20 g de café solúvel por litro de água mineral fervente. A bebida deve ser mantida em uma garrafa térmica e servida nos copos dos diferentes provadores no momento da prova ou em xícaras e a avaliação deverá ser realizada com uso da colher de prova.
- 3) Os resultados dos provadores devem ser inseridos em uma planilha ou no app.
- 4) Os resultados de cada atributo são calculados em média e arredondados para o número inteiro mais próximo (Tabela 3).
- 5) A intensidade média de cada atributo deve ser multiplicada pelo seu peso, conforme tabela – esta é a pontuação de cada atributo. As pontuações de todos os atributos são somadas e 122 são somados ao resultado, de modo que a pontuação final seja sempre um número positivo e arredondado para o inteiro mais próximo.
- 6) O grau de qualidade do café é determinado com base em sua pontuação final de acordo com os seguintes critérios:
 - a) Pontuações de 0 a 102: *Café solúvel clássico*
 - b) Pontuações de 102 a 142: *Café solúvel premium*
 - c) Pontuações de 142 a 306: *Café solúvel excelente*

Tabela 3. Exemplo de qualificação. Os atributos deste café poderiam ser relatados como “Café solúvel diferenciado com doçura, acidez e sabor de nozes”, com base em seus atributos positivos com intensidade igual ou superior a três (com asterisco).

Atributo	Valor médio	Peso	Pontuação
Doçura	3*	5.11	15.33
Acidez	3*	5.00	14.99
Madeira	1	-5.02	-5.02

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Atributo	Valor médio	Peso	Pontuação
Floral	0	5.08	0.00
Vegetal	2	4.98	9.97
Nozes	3*	3.37	10.12
Especiarias	2	0.57	1.15
Frutado	2	4.99	9.99
Chocolate	2	2.86	5.71
Mel	0	4.78	0.00
Intensidade do sabor residual	2	-4.34	-8.68
Astringência	2	-4.93	-9.86
Amargor	2	-5.14	-10.28
Sabor de café extraído em excesso	3	-5.03	-15.08
Corpo	2	0.00	0.00
Somatória			18.33
Pontuação de qualidade (somando 122 e arredondando)			140
Grau:		Premium	

Relação entre atributos de sabor e qualidade do café solúvel

As três qualidades definidas pelo grupo para as categorias encontradas foram:

Cafés solúveis de excelência: doçura e acidez marcantes, com complexidade aromática intensa, pouco amargor e adstringência, presenças de notas de chocolate, frutadas e florais, com aroma e sabor suaves.

Cafés solúveis premium: acidez equilibrada, com presença de notas amadeiradas, amêndoas e especiarias, com leve sabor de extração excessiva, média potência no paladar, amargor e adstringência média

Cafés solúveis clássicos: baixa doçura e acidez, amargor e adstringência presentes, forte potência no paladar, bom corpo, com presença de sabor de extração mais excessiva, finalização longa e duradoura.

FICHA DE AVALIAÇÃO DE ANÁLISE SENSORIAL DE CAFÉ SOLÚVEL

Data	/	/
Provador		
Assinatura		

Intensidade	
0	ausência
1	muito baixa
2	baixa
3	média ou moderada
4	alta
5	muito alta

[illegible]

Figura 13. Ficha de Avaliação Sensorial de Café Solúvel.

Fonte: Associação Brasileira da Indústria de Café Solúvel (2024).

Preparo das amostras

a) Avaliação em xícaras (prova de xícara)

As amostras devem ser preparadas nas seguintes proporções:

- 3 g de pó para 150 ml de água fervente
- Preparar 3 xícaras de cada amostra
- Fazer a olfação dos aromas voláteis da amostra
- Iniciar as anotações
- Utilizar uma colher para a bebida
- Transportar o líquido para a colher que será levada à boca.
- Finalizar as avaliações

b) Avaliação em garrafas térmicas (prova de garrafa):

As amostras devem ser preparadas nas seguintes proporções:

- 18 g de pó para 900 ml de água fervente ou 20 g para 1000ml
- Preparar 1 L de bebida de cada amostra na garrafa térmica
- Utilizar um copo exclusivo para cada amostra
- Fazer a olfação dos aromas voláteis da amostra
- Iniciar as anotações
- Degustar o café
- Finalizar as avaliações

Usos e aplicabilidade dos cafés para o consumidor final

O café solúvel é muito utilizado nos preparos de pós para serem preparados apenas com água ou leite, conhecidos como: 3 x 1 ou 2 x 1. Sendo 3 x 1 composto por café solúvel, chocolate em pó e leite em pó. E o 2 x 1 é feito apenas por café solúvel e leite em pó.

Estes pós são comercializados para consumo de cappuccinos e cafés com leite a serem vendidos nas gôndolas de supermercados e muitas vezes são usados no food service como uma excelente e prática alternativa, tais como: hotéis, cabeleireiros, entre outros. Este produto geralmente tem uma validade mais longa e sua praticidade evita o desperdício.

Além deste formato em pó, o café solúvel também se apresenta em cápsulas chamadas de “multi-bebidas”, isto é, em máquinas que não preparam somente café, mas também cafés com leite, cappuccinos e moccaccinos. A combinação de vários ingredientes dentro da mesma cápsula, apresentando para o consumidor final uma xícara saborosa e nutritiva. Outros produtos também utilizam café solúvel como ingrediente: barrinhas de cereais e frutas secas, ou produtos funcionais para esportes.

Dicas de preparo do café solúvel

Para o consumidor final que deseja apreciar um café solúvel de qualidade, a recomendação das medidas caseiras é de: uma colher de chá para 50 ml de água fervente. Entretanto, esta medida pode variar em peso, em virtude da densidade do pó solúvel, que pode ser de 1 g a 2 g por colher de chá. Desta forma, a recomendação é de preparar uma xícara e avaliar o sabor e ajustar se for necessário.

1. Utilizar uma colher de chá como medida;
2. Aquecer a água até uns 85 °C, aproximadamente. Não há necessidade de ferver.
3. Feche muito bem o pote, pois a umidade é um inimigo do café solúvel, caso contrário o produto pode absorver umidade e mudar de cor, textura e sabor.
4. Depois de aberto, guarde na geladeira ou mesmo no freezer.
5. Para encontrar um sabor mais suave, dilua o café em água fria na xícara e mexa bem, depois acrescente a água fervente.

Com leite e bebidas vegetais:

Uma forma muito comum do consumo doméstico de café solúvel é com leite. Como geralmente consumimos cafés com leite em xícaras com volumes maiores, em torno de 150 ml a 200 ml, a quantidade de café solúvel também tende a aumentar, lembrando que este é um fator de gosto pessoal.

A recomendação é de duas colheres de chá de café solúvel para 150 ml de leite, que corresponde, em média, a 3 a 4 gramas por xícara, aproximadamente.

Outro fator importante é a solubilidade do produto, pois os cafés aglomerados tendem a ter uma solubilidade maior e mais rápida do que o freeze dried.

O mesmo desempenho ocorre com bebidas vegetais, como soja, amêndoas, arroz, castanhas e cada uma delas tem um sabor único que harmoniza com todos os cafés.

Aplicabilidade

O café solúvel é muito consumido com leite, mas sua aplicabilidade vai muito além, pois pode ser usado amplamente na gastronomia dentro da confeitaria como um ingrediente versátil em bolos, pudins, suspiros e onde a criatividade permitir.

E na mixologia principalmente em coquetéis gelados, onde a diluição poderá ser feita diretamente na água fria e ser utilizado em grandes volumes.

Outros ingredientes, além do leite de vaca, também harmonizam muito bem com o produto, tais como as bebidas vegetais: amêndoas, castanhas, arroz, em qualquer temperatura

E, justamente envolto em todas essas opções de criatividade, foi criada a marca abaixo, onde depois de todo o conhecimento e tecnologia que envolve este produto o barista pode se sentir livre para “Criar” a sua receita e “Curtir” este café com seus clientes e amigos.

Considerações finais

Os desafios da cadeia produtiva do café são imensos e em cada um deles nos deparamos com novidades e especificidades únicas, moldadas por realidades distintas e exclusivas. No universo do café solúvel é igualmente interessante, sedutor, tecnológico e com profissionais com altíssimo conhecimento.

Conhecer o universo do café solúvel nos encanta pela utilização de apenas dois ingredientes: água e café utilizando todas as leis da física: pressão e temperatura. Com estes fatores todos os aromas e sabores poderão ser encontrados nas xícaras distribuídas pelo mundo todo, do qual desde 1953 o Brasil é o maior exportador desde então.

É importante ter um outro olhar para este produto tão nacional e de tamanha complexidade!

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL. **Manual de café solúvel para baristas**. Disponível em: <https://abics.com.br/wp-content/uploads/2024/02/Manual-do-Barista-Cafe-soluvel-Letter-PORTUGUES-02-24.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2024.

SIVETZ, M.; DESROSIER, N.W. **Coffee Technology**. 1. ed. Westport, Connecticut: Avi Publishing Company, 1979. 736 p.



Capítulo 10

A indicação geográfica nos cafés canéforas brasileiros

*Patrícia Maria da Silva Barbosa,
Beatriz Junqueira*

Introdução

Pode-se dizer que o produto café está intimamente relacionado ao conceito e uso das indicações geográficas (IG), já que suas características intrínsecas de qualidade são atribuídas diretamente ao território onde é produzido. Esse vínculo se justifica porque, as indicações geográficas, direitos de propriedade industrial, possuem a função de distinguir produtos ou serviços, justamente da proteção de um nome geográfico representativo de uma origem geográfica determinada. No entanto, a qualidade vinculada à origem nas indicações geográficas pode extrapolar o caráter ambiental, podendo ser atribuída ao saber-fazer, à história e cultura locais, somadas aos fatores naturais.

O produto, nesse caso em estudo, o café, possui ligação essencial com o local onde é produzido, relacionando-se historicamente com as pessoas e o território. Esse relacionamento traduz-se no mercado pelo uso rotineiro e natural do nome geográfico associado à denominação do produto. No Brasil, o nome geográfico ou o gentílico associado ao produto é a denominação passível de registro como indicação geográfica. E, uma vez protegida, seu uso passa a ser exclusivo pelos produtores estabelecidos na área delimitada, que sigam as regras estipuladas pelo Caderno de Especificações Técnicas (CET) da indicação geográfica protegida e que se submetam ao controle para verificação do cumprimento de tais regras.

Em virtude desse poder de diferenciação associado à origem, a proteção às indicações geográficas se originou da necessidade de comprovar a autenticidade da origem geográfica para combater a concorrência desleal e as falsificações, concomitantemente tornando-se um instrumento de valorização dos produtos onde era encontrada. Isso porque permitiu que regiões promovessem suas qualidades específicas ligadas à sua história, cultura ou as características ambientais presentes naquela região (Barbosa; Valente, 2021).

Existe literatura abundante descrevendo como o uso de sinais distintivos pode criar uma relação de confiança entre o produtor e o consumidor, onde o produto ou serviço de melhor avaliação alcança preços superiores aos seus competidores. Um exemplo significativo são os casos de cafés premiados em concursos prestigiados. Nesse cenário, as características sensoriais cobiçadas capazes de gerar identidade única muitas vezes estão diretamente relacionadas aos princípios que regem as indicações geográficas.

Coincidentemente ou não, o primeiro pedido de registro nacional para indicação geográfica feito ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), autarquia responsável pelo registro desse direito de propriedade industrial, foi justamente associado ao produto café. Era o nome geográfico “Cerrado”, em 1998. Tal pedido era da espécie Denominação de Origem para café exclusivamente da espécie *Coffea arábica*. No entanto, essa solicitação não se tornou registro, pois na época não conseguiu atender a todos os requisitos obrigatórios para tal. Uma nova investida foi feita pelo mesmo grupamento no ano seguinte, dessa vez para o nome geográfico “Região do Cerrado Mineiro”, na espécie Indicação de Procedência e o registro foi concedido em 2005.

O primeiro pedido para cafés canéfora, da espécie *Coffea canephora* aconteceu apenas em 2020, ou seja, somente 22 anos depois. Espírito Santo foi o nome geográfico registrado para o café conilon na espécie Indicação de Procedência. E coincidentemente, ou não, no mesmo ano foi depositado o segundo pedido de registro para cafés dessa espécie, porém identificando como café robusta, na espécie Denominação de Origem, sendo Matas de Rondônia o nome geográfico reconhecido.

Intrigante observar que após esse ano excepcional, todos os novos onze pedidos depositados no INPI até maio de 2025 voltaram a ser exclusivamente para cafés arábica. No entanto, entende-se ser tal representação compatível com os números nacionais, considerando que os canéforas dos grupos Conilon e Robusta, respondem, aproximadamente, por 25% da produção do café do Brasil (Ferrão et al., 2020).

E nesse ponto é importante explicitar as diferenças principais entre cafés arábica e café canéfora, assim como as variedades “conilon” e “robusta¹” e ainda entre as espécies de indicações geográficas. Isso porque a espécie e a variedade, assim como as cultivares, estão intimamente relacionadas à qualidade da bebida produzida.

1. Café arábica é o nome vulgar e de uso comum para o nome científico da espécie *Coffea arábica*. Sua origem foi nas regiões de altitude elevada da Etiópia, sendo até hoje a altitude um fator determinante no cultivo. Tradicionalmente é um café que costuma produzir bebida mais fina, com sabor mais suave e menor teor de cafeína, sendo mais comumente associado aos cafés tradicionais.
2. “Canéfora” é o nome vulgar e de uso comum para o nome científico da espécie *Coffea canephora*, que abriga os genótipos dos grupos botânicos ‘Conilon’ e ‘Robusta’. É originária das planícies da África Central, dispensando assim a altitude necessária ao arábica. Tradicionalmente possuem sabor mais encorpado e intenso, as plantas são mais resistentes ao manejo e as doenças, sendo amplamente usados na produção de cafés “solúveis”. Também utilizado para confecção de misturas (*blends*) com café arábica, com a finalidade de diminuir a acidez e conceder mais corpo a bebida. Possui maior teor de cafeína e somente mais recentemente a indústria passou a ofertar produtos 100% canéfora no mercado de cafés de qualidade para os consumidores.
 - 1.1. O café canéfora da variedade Conilon é composto por plantas arbustivas, com ciclo de maturação mais precoce, maior tolerância à seca e maior suscetibilidade às doenças em relação ao Robusta.
 - 1.2. O café canéfora da variedade Robusta é formado por plantas multi-caules de alto vigor vegetativo com maior altura de planta e menor diâmetro da copa, com folhas e frutos de maior tamanho, maturação tardia, menor tolerância à seca e maior resistência a doenças em relação ao Conilon.
2. Segundo a legislação brasileira em vigor, (Brasil, 1996), as indicações geográficas dividem-se em indicação de Procedência (IP) e Denominação de Origem (DO).
 - 2.1. A indicação de procedência é a proteção do nome geográfico ou genérico que se tornou conhecido pela extração, produção ou fabricação de determinado produto ou prestação de determinado serviço (INPI, 2025a), centrando sua diferenciação por meio da notoriedade.
 - 2.2. A denominação de origem é a proteção do nome geográfico ou genérico que designa produto ou serviço cujas qualidades ou caracte-

rísticas se devam exclusiva ou essencialmente ao meio geográfico, incluindo fatores naturais e humanos (INPI, 2025a). As DOs diferem das IPs justamente por exigirem a comprovação de que existe uma relação de causa e efeito entre o meio geográfico (solo, relevo, clima, fauna, flora, entre outros) que foi desenvolvida por meio do saber fazer local que influencia a qualidade ou características do produto, o diferenciando de outros provenientes de regiões diferentes.

Por conta do acima exposto, percebe-se que assim como acontece com as espécies de café arábica e conilon, as indicações geográficas brasileiras são próximas, mas com diferenças significativamente substanciais que permitem que sejam estudadas em separado. No país, o Espírito Santo, é o estado que ocupa a posição de segundo maior produtor brasileiro de café, mas possui a primeira posição na produção de café canéfora da variedade conilon, correspondente, na média dos últimos anos, a de 70% da produção total do país (Marré; Fonseca, 2021).

Por sua vez, o café canéfora da variedade Robusta predomina em Rondônia. O registro para a Denominação de Origem Matas de Rondônia para identificar “café em grão robustas amazônicos” foi concedido em junho de 2021. Esse registro também é pioneiro já que foi a primeira dessa espécie de indicação geográfica e para essa variedade. O registro é parte integrante da estratégia de valorização dessa espécie de café que só recentemente está sendo considerada como apta a integrar o seletor e valorizado grupo dos chamados “cafés especiais”. Como colocado por Alves et al. (2023, p.160):

A riqueza e excentricidade da cafeicultura na Amazônia não pode ser explicada baseada em um fator único, possui muitas camadas. É um processo que envolve de forma holística o conceito de terroir: ambiente, saber fazer e genética. Do ponto de vista tecnológico e agrônomo, se pode dizer que o melhoramento, a clonagem, irrigação, novos arranjos espaciais, aliados a uma colheita cuidadosa e novos processamentos de pós-colheita, são a receita de sucesso dos Robustas Amazônicos.

Ao comparar a história das indicações geográficas no Brasil com a Europa, vemos que esse tipo de proteção ainda está alcançando a terceira década no nosso país, enquanto no velho continente esse direito existe já há alguns séculos. Esse pode ser considerado um dos motivos para que ainda sejam poucos os registros de indicações geográficas brasileiras, em especial para os cafés canéforas. Porém, ao mesmo tempo, concede o privilégio do pioneirismo às já reconhecidas “Espírito

Santo” e “Matas de Rondônia”. Pioneirismo em nível mundial conforme as buscas realizadas em maio de 2025 nos sites internacionais especializados e-Ambrosia e Glview que não localizaram nenhum registro compatível.

Outro pioneirismo que precisa ser destacado no Brasil é que o café é o primeiro produto a constituir uma plataforma na internet para congregar diferentes IGs. A Plataforma Origem Controlada Café lançada em 2024 é um sistema que já reunia 15 IGs brasileiras de café em maio de 2025, ou seja, a grande maioria das IGs já reconhecidas no INPI até então. Cabe destacar que as IGs em destaque nesse estudo “Espírito Santo” e “Matas de Rondônia” estão devidamente integradas as demais IGs destinadas ao café arábica nessa plataforma. Dividida em 4 módulos – controle, rastreabilidade, inteligência e comunicação – a Plataforma Origem Controlada Café visa garantir a origem e qualidade disponibilizando a avaliação de conformidade do produto, dados dos produtores e propriedades e etapas de produção. A integração de tais dados revela informações estratégicas sobre cada território sendo fonte para a governança das IGs e ainda funciona como interface para de comunicação do mercado produtor com o mercado consumidor, interno e externo.

Embora as indicações geográficas sejam consideradas de natureza declaratória no Brasil, ou seja, o direito é preexistente à concessão do registro, é o registro e o reconhecimento formal no INPI que concede os fins jurídicos de exclusividade de uso. No entanto, para que esse reconhecimento aconteça existe uma listagem de documentos obrigatórios que devem ser apresentados a fim de comprovar que todos os requisitos previstos na legislação em vigor no país (Brasil, 1996) foram contemplados.

Entre os citados documentos, dois se destacam para os objetivos do presente estudo que visa descrever o que está protegido por meio dos registros brasileiros de indicações geográficas de cafés canéforas. Pretende-se identificar e discutir quais são os pontos onde os registros são semelhantes e onde se desigalam. Portanto, o conteúdo dos documentos obrigatórios apresentados no pedido de registro das indicações geográficas, caderno de especificações técnicas e Instrumento oficial que delimita a área geográfica (IODG) são os principais documentos de consulta. Este entendimento justifica-se porque:

1. O caderno de especificações técnicas é o documento norteador da indicação geográfica e o cumprimento das suas disposições é um dos requisitos para o uso da indicação geográfica pelos produtores e prestadores

de serviço (INPI, 2025b). E de acordo com o art. 15 da Portaria INPI nº 4/22 (INPI, 2025b) os requisitos mínimos que devem constar no caderno de especificações técnicas são:

- a) Nome geográfico;
 - b) Descrição do produto ou serviço objeto da indicação geográfica;
 - c) Delimitação da área geográfica;
 - d) Descrição do processo de extração, produção ou fabricação do produto ou de prestação do serviço, para pedidos de registro de Denominação de Origem;
 - e) Descrição das qualidades ou características do produto ou serviço que se devam exclusiva ou essencialmente ao meio geográfico, incluindo os fatores naturais e humanos, e seu processo de obtenção ou prestação, para pedidos de registro de denominação de origem;
 - f) Descrição do mecanismo de controle sobre os produtores ou prestadores de serviços que tenham o direito ao uso da indicação geográfica, bem como sobre o produto ou serviço;
 - g) Condições e proibições de uso da indicação geográfica; e
 - h) Eventuais sanções aplicáveis.
2. Já o Instrumento oficial que delimita a área geográfica é o documento que define oficialmente qual o território em que devem estar estabelecidos os produtores ou prestadores de serviço que terão direito de utilização da indicação geográfica (INPI, 2023b). Considerando que a indicação geográfica é totalmente voltada para a origem geográfica delimitada, considera-se que esse é o centro da proteção.

Para atingir os objetivos descritos para esse estudo, à base de coleta dos dados foram os documentos disponibilizados no portal do INPI (INPI, 2025a). Somou-se ainda a revisão bibliográfica da matéria, utilizando-se a metodologia de estudo de caso (Yin, 1994). Inicialmente serão abordados os aspectos dos documentos registrados no INPI de cada uma das duas indicações geográficas de cafés canéforas reconhecidas, ou seja, “Espírito Santo” e “Matas de Rondônia”. Posteriormente será feita a comparação entre as informações encontradas, passando a análise

de como tais características podem servir como ferramentas de diferenciação no mercado e a possibilidade de agregação de valor. Por fim, serão feitas breves considerações sobre os principais pontos levantados, assim como serão destacados os principais desafios identificados.

A indicação de procedência Espírito Santo

A agricultura como atividade econômica no Espírito Santo teve o café presente desde seu primeiro ciclo no Brasil, tornando-se uma vocação do estado em termos econômicos e culturais. Seu cultivo remonta do século XIX pelas mãos de imigrantes estabelecidos nas terras capixabas em busca de melhores condições de vida. Atualmente, no ranking da produção cafeeira, o Espírito Santo é o segundo maior produtor brasileiro de café e o maior produtor do café conilon, com cerca de 70% da produção nacional. A cafeicultura do conilon do Espírito Santo ocupa lugar especial na história, cultura, paisagem e economia de mais de 80% dos municípios capixabas (Ferrão et al., 2017b). Sua produção está estabelecida predominantemente numa estrutura fundiária de base familiar. Segundo Marré e Fonseca (2021, p.101):

Desde a sua introdução em território capixaba, até os dias atuais, a trajetória do café conilon está especialmente ligada a diversos fatores, entre os quais: a iniciativa do governante do Espírito Santo à época (1912); a persistência dos pioneiros na atividade e o empreendedorismo das lideranças rurais; o apoio do segmento industrial; o conjunto de tecnologias e inovações geradas pela pesquisa pública e privada; a integração de órgãos e instituições públicas e privadas; os serviços de assistência técnica e extensão; e, principalmente, o talento, a vocação e o perfil empreendedor dos cafeicultores capixabas.

Em relação ao registro da indicação de procedência Espírito Santo para o café conilon, o pedido foi depositado em janeiro de 2020 e o registro concedido em maio do ano seguinte, 2021 (Figura 1). Entre os critérios para o registro de indicação geográfica não existe a obrigatoriedade de inclusão de representação gráfica, nem do nome do produto. No entanto, ambos estão presentes na indicação de procedência em discussão. Entende-se que tal opção evidencia o interesse da coletividade em fortalecer ainda mais a associação direta do território à variedade. Ou seja, pode ser considerado parte da estratégia de valorização do território e do café a ela vinculado.



Figura 1. Representação gráfica da indicação de procedência “Espírito Santo”.

Fonte: Caderno de especificações técnicas da indicação de procedência “Espírito Santo” (2021).

O substituto processual responsável pela gestão e controle da IG é a Federação dos Cafés do Estado do Espírito Santo - Fecafés. As cooperativas Cafesul, Cooabriel, Coopeavi e Coopbac capitanearam o trabalho e juntas constituíram a já citada Fecafés. Destaca-se que o substituto processual não é o titular (dono) da IG e sim, aquele que foi considerado legítimo para requerer o registro no INPI por ser representativo da coletividade que possui o direito de usar a indicação geográfica.

A área de abrangência da indicação geográfica corresponde aos limites geopolíticos de todo o estado do Espírito Santo, como demonstrado na Figura 2:

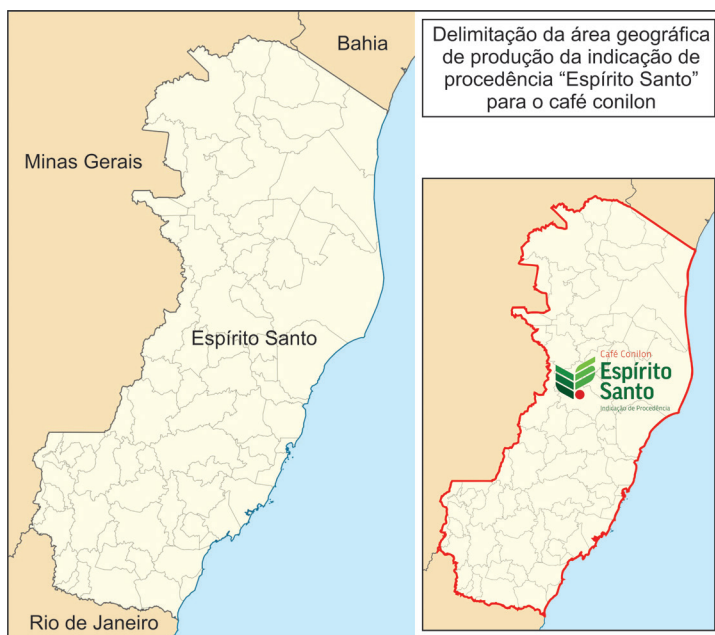


Figura 2. Mapa da delimitação da área geográfica da indicação de procedência “Espírito Santo” para o café conilon, 2021.

Os trabalhos realizados para a estruturação da indicação geográfica e consequente envio da documentação ao INPI se deu com a organização de uma governança no estado composta por diversos órgãos e pela representação dos produtores. Para isso foi criado um comitê gestor coordenado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) tendo como parceiros a Secretaria da Agricultura e Pesca do Estado do Espírito Santo (Seag), o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), a Embrapa Café, o Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), o Sindicato e Organização das Cooperativas Brasileiras do Espírito Santo (OCB – ES), o Ministério da Agricultura (Mapa), o Centro de Desenvolvimento Tecnológico do Café (Cetcaf), o Sicoob – ES, com consultoria do Instituto de Inovação e Tecnologias Sustentáveis (Inovates), e também pela Federação dos Cafés do Estado do Espírito Santo (Fecafés).

Segundo consta na ficha técnica de registro da indicação geográfica (Brasil, 2021, p.2) tem-se:

Especificações e características:

O produto da Indicação de Procedência “ESPÍRITO SANTO” é o café conilon, da espécie *Coffea Canephora*, nas seguintes condições: em grãos verde (café cru); industrializado na condição de torrado e/ou torrado e moído; e café solúvel. O café conilon da IP Espírito Santo apresenta 2,2% de cafeína (quase o dobro do café arábica) e possui sabor e aroma mais amargos e marcantes, com 3% a 7% de açúcares, bem como menor acidez. Em relação à produtividade, o café conilon tem uma capacidade de produção muito maior que o café arábica, além de possuir grãos menores, com a polpa menos espessa. O café conilon do Espírito Santo deve apresentar pontuação mínima de 78 na metodologia Fine Robusta Coffee Standards and Protocols, desenvolvida pela Coffee Quality Institute (CQI) e Ugandan Coffee Development Authority (UCDA).

Relação com área geográfica:

O Brasil é o maior produtor mundial de café, responsável por 30% do mercado internacional, e o segundo maior mercado consumidor, atrás somente dos Estados Unidos. No país, o Espírito Santo é referência nacional e mundial no desenvolvimento da cafeicultura do café conilon, que foi iniciada no estado ainda em 1912, com a introdução das primeiras mudas e sementes do produto. No entanto, o cultivo do café conilon apresentou grande expansão somente a partir da década de 1960, em razão da crise cafeeira que levou à erradicação de grande parte da lavoura estadual, que era constituída predominantemente por café arábica. Na última década, houve uma evolução importante nos padrões de qualidade do café conilon do Espírito Santo, fruto do trabalho de conscientização sobre as boas práticas agrícolas nos cafezais, promovido pelas instituições públicas e privadas ligadas ao setor rural estadual. O café conilon é cultivado principalmente em regiões com temperaturas mais elevadas, tendo em média variações entre 22 °C e

26 °C, e também em altitudes menores, chegando até 600 m. As altitudes mais baixas fazem com que o café conilon seja mais encorpado e apresente sabor achocolatado e amendoado, enquanto nas altitudes mais elevadas o café apresenta características mais florais e frutadas, que conferem ao produto perfis sensoriais mais complexos. O café conilon é o principal produto agrícola do Espírito Santo, sendo responsável pela geração da maior parte da renda e dos empregos do meio rural na maioria deles. Atualmente, o estado possui uma área de aproximadamente 300.000 ha ocupada com a produção de café conilon e uma produção de 10 milhões sacas/ano, o que confere ao Espírito Santo o título de maior produtor nacional de café conilon.

Estrutura de controle:

O Conselho Regulador será constituído pelos associados da Fecafés que representam as partes do segmento do produto e também por membros que representam as instituições de pesquisa, extensão e/ou ensino, nomeados pelas respectivas instituições conselheiras.

No caderno de especificações técnicas, documento exigido por ocasião do registro, consta em seu artigo 10 as condições específicas para uso da IP para o café conilon, em que destacamos:

- O usuário deve apresentar, por meio de termo de compromisso, que conhece e cumpre com as legislações brasileiras, principalmente no que tange às questões ambientais, sociais e trabalhistas;
- O conselho regulador procederá o controle nas áreas de produção por meio de auditorias; o café será submetido a avaliações organolépticas (análises físicas e sensoriais) com amostras que deverão ser entregues pelos produtores;
- Os cafés industrializados torrados e moídos deverão ser produzidos por meio do beneficiamento que tenha obedecido as regras estabelecidas no regulamento da IG;
- O café aprovado deverá ser armazenado em sacarias regulamentadas pelo conselho regulador, utilizando a identificação do sinal distintivo da IP e, por fim, os locais de armazenamento deverão ser credenciados ou certificados pela federação.

Sobre a análise sensorial a amostra de café deverá apresentar os seguintes resultados: livre de mofo (visual e olfativo), livre de gosto de fermentação (ardido) e fumaça (fogo direto). E na avaliação física: umidade entre 11% e 12,5%, máximo

de 0,5% de impurezas extrínsecas, peneira mínima de 13% com no máximo de 5% de vazamento e classificação física no mínimo Café TIPO 6 (Tabela COB - Classificação Oficial Brasileira). Ademais, os laudos de aprovação do selo deverão ser emitidos com a aprovação de no mínimo dois degustadores cadastrados pelo conselho regulador, sendo que um deles deverá possuir certificado de R-Grader (metodologia *Fine Robusta Coffee Standards and Protocols*).

As classificações física e sensorial devem ser feitas por laboratórios credenciados pela federação, assim como a equipe de degustadores.

Denominação de origem Matas de Rondônia

O café chegou no estado de Rondônia na década de 1970, por meio das sementes de arábica imigradas junto com os produtores paranaenses, mineiros e capixabas. Fiorott e Sturm (2015) apontam que, com a observação empírica foi possível identificar que era vantajoso substituir as lavouras de arábica pelas de canéfora dos grupos ‘Conilon’ e ‘Robusta’. Isso porque elas apresentavam maior rusticidade e se adaptavam melhor às condições climáticas locais.

Marcolan e Espindula (2015, p. 13) descrevem:

Genótipos do grupo ‘Conilon’, foram introduzidos em Rondônia, inicialmente, por sementes trazidas por cafeicultores capixabas, e, posteriormente, pela Embrapa Rondônia com sementes trazidas do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária (Emcapa). Os genótipos do grupo ‘Robusta’ foram introduzidos pela Embrapa Rondônia por meio de sementes oriundas principalmente do IAC. Por fim, os híbridos naturais surgiram por meio de cruzamentos entre plantas dos dois grupos tanto nos campos experimentais da Embrapa quanto em lavouras comerciais no Estado.

Fiorott e Sturm (2015, p.427) complementam que “No decorrer desse período, o café canéfora foi discriminado e sempre desvalorizado, sendo rotulado como uma bebida neutra, sem sabor e destinado somente para a fabricação do café solúvel”. No entanto, a implantação de cultivares melhorados com a aplicação de pesquisas desenvolvidas a mais de 50 anos na região permitiu o desenvolvimento e adequação aos fatores que influenciam na produtividade de grãos e na qualidade da bebida, associada a uma cafeicultura eficiente, competitiva e ambientalmente correta na região. Alves et al. (2023) descrevem:

Os Robustas Amazônicos representam uma cafeicultura que se desenvolveu e evoluiu em um ambiente único e sob uma pressão de seleção singular. São híbridos das

variedades botânicas conilon e robusta. Mas, preservam, de forma predominante, as características dos robustas. Como toda essa 'Gênese' se deu na Amazônia, foi importante deixar isso claro, no registro da alcunha desses cafés. [...] Esse conjunto de mudanças deu origem a um tipo de grão que a cadeia de transformação do café ainda não conhecia. [...]

Os mesmos autores apontam que o estado de Rondônia é o maior produtor de café da Amazônia, quinto maior produtor de café do país e ocupa o segundo lugar na produção da espécie canéfora. Conforme o Instrumento oficial que delimita a área (IODG) da denominação de origem “Matas de Rondônia” (2021), a variedade botânica Robusta e seus híbridos intervarietais são a identidade dos cafezais rondonienses (Instrumento Oficial de Delimitação Geográfica, 2021). Esta, portanto é a explicação para que o registro para a denominação de origem “Matas de Rondônia” tenha sido solicitado para identificar justamente “café em grão robustas amazônicos”. Inclusive, a explicitação da variedade foi incluída na representação gráfica protegida da denominação de origem (Figura 3). Ou seja, o mesmo procedimento adotado na indicação de procedência Espírito Santo. A solicitação do reconhecimento foi feita pelos Cafeicultores Associados da Região Matas de Rondônia (Caferon) em março de 2020 e reconhecida em junho de 2021.



Figura 3. Representação gráfica da denominação de origem Matas de Rondônia.

Fonte: Cadernos de Especificações Técnicas das Indicações Geográficas reconhecidas pelo INPI, 2018.

A área da Denominação de Origem Matas de Rondônia está localizada entre os paralelos 10° e 14° Sul e os meridianos 60° e 64° Oeste (Figura 4). Abrange a totalidade dos territórios dos seguintes municípios do estado de Rondônia: Alta

Floresta d'Oeste, Alto Alegre dos Parecis, Alvorada d'Oeste, Cacoal, Castanheiras, Espigão d'Oeste, Ministro Andreazza, Nova Brasilândia d'Oeste, Novo Horizonte do Oeste, Primavera de Rondônia, Rolim de Moura, Santa Luzia D'Oeste, São Felipe d'Oeste, São Miguel do Guaporé, Seringueiras. Fatores históricos, da constituição genética, práticas de cultivo e seleção de clones foram utilizados para a definição da área a ser protegida (Instrumento Oficial de Delimitação Geográfica, 2021).

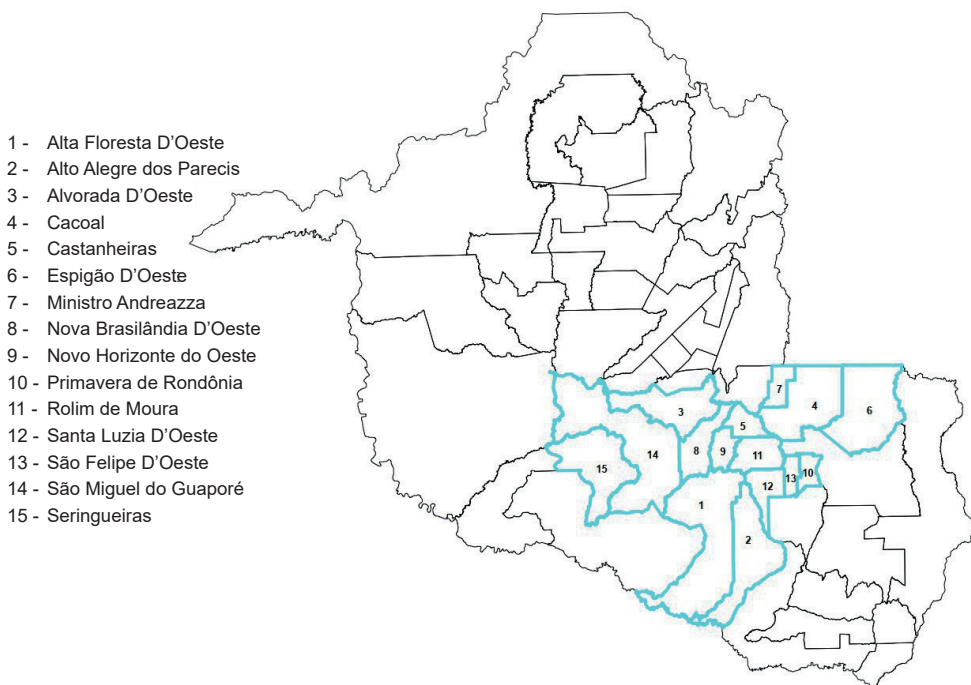


Figura 4. Mapa da delimitação da área geográfica da denominação de origem Matas de Rondônia.

Segundo a Ficha Técnica disponibilizada no Portal do INPI (Brasil, 2021, p. 2):

Os cafés da Denominação de Origem Matas de Rondônia são produzidos exclusivamente a partir de cultivares de cafés da espécie *Coffea canephora*. A base genética das plantas dessa espécie é de natureza híbrida a partir de clones resultantes do cruzamento entre as variedades Conilon e Robusta selecionadas ao longo de anos de forma empírica pelos próprios produtores locais. A consequência desse cruzamento foi um café diferenciado, que passou a ser chamado de Robustas Amazônicos. O perfil sensorial do café produzido na região é caracterizado pela presença dos descritores: doce, chocola-

te, amadeirado, frutado, especiaria, raiz e herbal. Trata-se de uma nova ótica sensorial com paleta específica e característica dos cafés canéfora.

O café da DO Matas de Rondônia deve ter pontuação mínima de 80 pontos segundo a metodologia da SCA – Specialty Coffee Association, o que atesta sua qualidade.

A cadeia produtiva do café nas Matas de Rondônia inclui produtores indígenas, familiares, orgânicos e empresariais com foco na produção sustentável. A Região localiza-se numa faixa de transição entre os domínios morfoclimáticos Amazônico e Cerrado e, sob suas influências, é determinado o seu clima: possui condições climáticas típicas da região de temperatura normalmente elevada e uniforme ao longo do ano.

A quantidade e distribuição da precipitação e a umidade dividem o ano em duas estações bem definidas: estação chuvosa entre os meses de outubro e abril, e estação seca com chuvas escassas entre os meses de junho e agosto. As plantações de café encontram-se implantadas em solos da ordem de latossolos, argilossolos e nitrossolos, profundos e drenados, com boa capacidade de armazenamento de água, situados em paisagem de relevos de média e baixa declividade, facilitando a adoção de mecanização.

Tais condições propiciam um ciclo de maturação do café do tipo intermediário a tardio.

As condições ambientais influenciam nas condições específicas de manejo e demonstram o saber fazer local adquirido ao longo do tempo. Por exemplo, a fim de evitar a umidade maior existente em outros períodos e que estimula fermentações indesejadas, foram criados procedimentos como a colheita ser realizada apenas na estação seca, quando os frutos verdes forem no máximo em 15% na planta, e ainda evitar que os cafés fiquem acondicionados em sacas ou amontoados na lavoura por mais de 6 horas. Por outro lado, as limitações do solo são contornadas com técnicas específicas de controle da erosão e correções do solo.

A diferenciação de outras regiões cafeeiras do Brasil, pelas condições edafoclimáticas típicas da Amazônia, alia-se ao fator primordial que é a base genética das plantas, de natureza híbrida a partir de clones selecionados ao longo de anos pelos produtores locais, que têm em sua história o vínculo com a seleção de materiais genéticos superiores e o saber fazer técnico. A combinação das condições edafoclimáticas, genética, ambiente e manejo, realizada por cafeicultores de inúmeros perfis, familiar, indígenas, orgânicos e empresarial, os tornaram protagonistas das ações de desenvolvimento e extensão rural que originaram um café único, de características singulares de produção e qualidade da bebida.

Assim, o café robusta amazônico apresenta alto grau de adaptabilidade às condições da região das Matas de Rondônia, resultando em características diferenciadas do produto local quando comparada às demais regiões produtoras.

Aspectos comparativos entre as duas indicações geográficas

Os dados disponíveis nas Revistas da Propriedade Industrial das concessões das indicações geográficas disponíveis no Portal do INPI permitiram elaborar o quadro comparativo das características importantes comuns aos dois registros (Tabela 1).

Tabela 1. Quadro comparativo entre a indicação de procedência Espírito Santo e a denominação de origem Matas de Rondônia.

Fonte: Cadernos de Especificações Técnicas das Indicações Geográficas reconhecidas pelo INPI, 2018.

Item	Espírito Santo	Matas de Rondônia
Área delimitada	Limites geopolíticos do estado do Espírito Santo	15 municípios do estado de Rondônia.
Produto	Café Conilon	Café Robustas amazônicos
Descrição	Café em grão verde (café cru), industrializado na condição de torrado e/ou moído, café solúvel	Café com pontuação mínima de 80 pontos na metodologia SCA.
Estrutura de controle	Conselho Regulador sem determinação de número de membros	Conselho Regulador com 8 membros efetivos
Condições específicas de uso da IG	Termo de Compromisso Submeter-se a auditoria Avaliação organoléptica Avaliação sensorial Pontuação mínima de 78 pontos na metodologia <i>Fine Robusta Coffee Standards and protocols</i> Armazenamento em sacarias e locais regulamentados	Cadastramento no sistema de gerenciamento Termo de Compromisso Registro no Cadastro Ambiental Rural Pontuação mínima de 80 pontos na metodologia <i>Specialty Coffee Association</i> . Cadastro no Currículo de Sustentabilidade da Plataforma Global do Café Submeter-se a auditorias Armazenamento em sacarias e locais regulamentados
Perfil sensorial do café	Sabor e aroma mais amargos e marcantes, de 3% a 7% de açúcares e menor acidez*	Doce, chocolate, amadeirado, frutado, especiaria, raiz e herbal

Considerando que a delimitação geográfica é fator essencial para uma in-

dicação geográfica ser protegida, este foi definido como o primeiro item comparativo para compor a Tabela 1. E uma diferença notável é encontrada já nesse quesito. Enquanto a indicação de procedência “Espírito Santo” abrange os limites geopolíticos do estado do Espírito Santo, temos que na denominação de origem Matas de Rondônia apenas 15 municípios do estado de Rondônia foram definidos como a área delimitada. Considerando que Rondônia possui 52 municípios, temos que, apenas cerca de 29% do estado foi considerado apto a ser protegido pela denominação de origem.

Destaca-se que no caso da indicação de procedência a delimitação geográfica deve respeitar os limites geográficos da área que se tornou conhecida, enquanto na denominação de origem, o parâmetro são os limites onde os fatores naturais e humanos influenciam nas qualidades ou características específicas do produto. Não há como definir que a área de denominação de origem deva sempre ser menor que uma área de indicação de procedência. Isto porque existem vários fatores que influenciam na definição da delimitação, então a comparação aqui apresentada não é voltada para comparação numérica e sim para a exemplificação do conceito de que não há obrigatoriedade da área delimitada coincidir com os limites político-administrativos de um determinado território. Ou seja, seria possível o nome geográfico do estado ser protegido mesmo que a área delimitada não fosse exatamente os limites político-administrativos. Isso porque, como exposto anteriormente, a área deve seguir os critérios objetivos da espécie a ser protegida. A área pode ser menor ou até mesmo maior que o limite político-administrativo, desde que seja devidamente justificado, ou seja, poderia haver a indicação geográfica com o nome do estado Espírito Santo, com área maior ou menor que o estado em si, desde que as devidas fundamentações para tal fossem apresentadas.

Ao passarmos ao ponto seguinte da Tabela 1 cabe esclarecer o que justifica a separação entre “produto” e “descrição do produto”. Conforme o Manual de Indicações Geográficas, item 2.6.1, o produto é o resultado de um processo de extração, produção ou fabricação, sendo o bem obtido por meio de uma atividade, o fruto de um processo natural associado à operação humana. Já a descrição do produto, conforme o item 7.1.2 Caderno de especificações técnicas, b, deve-se expor mais detalhadamente o produto atrelado à indicação geográfica, destacando as particularidades, os atributos e os diferenciais, se houver, em relação aos produtos externos à IG.

Exposto isso, vemos na Tabela 1 que as indicações geográficas em exame,

optaram por descrever seus produtos de forma diferente. O art. 2º do caderno de especificação técnicas da indicação de procedência Espírito Santo descreve que as formas de comercialização do produto, incluindo fatores de beneficiamento, enquanto a denominação de origem Matas de Rondônia artigo 2.3 do seu caderno de especificação técnicas apresenta características sensoriais. Tem-se então que tais descrições são compatíveis com a espécie de indicação geográfica protegida, já que o requisito de qualidade é exigido apenas na denominação de origem, segundo a legislação em vigor.

Com relação as Estruturas de controle, a Tabela 1 demonstra um comportamento diferente entre as indicações geográficas estudadas. A indicação de procedência Espírito Santo determina no art. 12 do caderno de especificação técnicas que o Conselho Regulador será constituído pelos associados da FECAFÉS que representam as partes do segmento do produto, eleitos em Assembleia da FECAFÉS e também por membros que representam as instituições de pesquisa, extensão e/ou ensino, nomeados pelas respectivas instituições conselheiras. No entanto, não determina o número de membros ou a porcentagem de participação de cada tipo de membro na composição do Conselho.

Por sua vez, a denominação de origem Matas de Rondônia determinou que seu Conselho regulador será composto pelo Presidente e pelo Vice-presidente da Caferon e por seis membros efetivos, indicados pela Diretoria, com mandato indeterminado, podendo ser ou não associados. Determina ainda quais entidades parceiras atuarão na operacionalidade dos requisitos exigidos pelo caderno de especificação técnicas com o objetivo de garantir a confiança no cumprimento, aplicação e controle das normas estabelecidas por meio de auditorias.

No tocante as condições específicas de uso da IG, que serão verificadas pelas citadas estruturadas de controle temos pontos em comum tais como a obrigação de assinatura de um termo de compromisso, de submissão a auditorias, embora ambos não determinem a frequência dessas auditorias e ainda a obrigação de armazenamento em sacarias e locais regulamentados. Vale destacar este último item tendo em vista que o tratamento após a colheita é um fator muitas vezes determinante da qualidade do produto, em diferentes aspectos e graus de importância dependendo do produto. E no caso do café o pós colheita é diretamente relacionado a qualidade da bebida gerada, conforme ampla literatura. Portanto, é um ponto que vale a pena ser devidamente controlado.

Porém, nesse mesmo item existem duas importantes diferenças entre as

indicações geográficas. A primeira é a menção explícita em Matas de Rondônia da obrigatoriedade do produtor se Cadastrar no Currículo de Sustentabilidade da Plataforma Global do Café. Dessa forma, fica evidente o compromisso dessa denominação de origem com critérios de sustentabilidade. É importante esclarecer, que embora esteja se tornando um requisito cada vez mais comum em todos os segmentos produtivos, tal adoção não é elemento obrigatório para a concessão do registro. E, assim sendo, por ser uma adoção voluntária, torna o compromisso ainda mais significativo e interessante de ser mencionado. Tal previsão não foi localizada na indicação de procedência.

A outra diferença, notável de ser apontada é com relação as metodologias de avaliação organoléptica e sensorial adotadas. Enquanto Espírito Santo adotou a pontuação mínima de 78 pontos na metodologia *Fine Robusta Coffee Standards and Protocols* Matas de Rondônia adotou a metodologia da *Specialty Coffee Association*, com pontuação mínima de 80 pontos.

Como demonstrado pela Tabela 1, existem diferentes metodologias para a avaliação sensorial do café que buscam avaliar os atributos relacionados com a bebida produzida a partir do grão. Historicamente o mercado de café definia café especial e de qualidade apenas para a espécie arábica. O protocolo de degustação desenvolvido pela Associação Americana de Cafés especiais (SCA – *Specialty Coffee Association*), adotado por Matas de Rondônia é um método mundialmente aceito, tradicionalmente voltado para o café arábica. No Brasil a SCA é representada pela Associação Brasileira de Cafés Especiais (BSCA) e pelo Instituto de Qualidade do Café (CQI - *Coffee Quality Institute*). Apenas recentemente a BSCA ampliou seu portfólio de certificação para o café canéfora, variedades robusta e conilon no Brasil, além de manter a espécie arábica. Quatro diferentes modalidades estão sendo praticadas: Boas Práticas, Fazenda Certificada, Qualidade no *Blend* e Auditorias.

Apenas em 2010 foi lançado pela Organização Internacional do Café (OIC) o Protocolo de Degustação de Robustas Finos (*Fine Robusta Coffee Standards and protocols*). Fiorott e Sturm (2015) informam que, embora apenas os cafés do grupo ‘Robusta’ estejam mencionados no nome desse protocolo, ele foi desenvolvido com o propósito de avaliar ambos os grupos, os quais são geralmente generalizados como *Coffea canephora*. Machado Filho et al. (2020) corroboram informando que no exterior, a espécie *Coffea canephora* é comumente chamada Robusta, mas no Brasil o nome Conilon tornou-se mais comum na região maior produtora, que é o Espírito Santo. O protocolo, fruto de parceria entre o CQI e *Ugandan Coffee Development Authority* (UCDA) foi adotado mundialmente com fins de facilitar a

negociação de cafés de forma estruturada e transparente. Compreende a avaliação de 10 importantes atributos sensoriais relacionados ao sabor e qualidade da bebida com enfoque sobretudo, em suas propriedades físicas, químicas e sensoriais (Ferrão et al. (2020); Comério, 2020).

Infelizmente, não foi possível identificar diretamente com os substitutos processuais das indicações geográficas estudadas sobre as opções de metodologias feitas. No entanto, o trabalho de Ferrão et al. (2020, p. 116) e Comério (2020, p. 116) permite inferir os motivos da escolha da indicação de procedência, pois informam:

'Existem no estado do Espírito Santo, uma rede de centros de classificação instalados em parceria entre o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), prefeituras municipais e cooperativas. Esses centros têm como objetivo classificar física e sensorialmente o café, contudo somente uma pequena parte de suas salas dedicam-se à classificação do Conilon. No próprio Incaper, desde 2018 há uma Unidade de Referência em Qualidade de Cafés, no município de Linhares, atualmente maior produtor de Conilon do País, onde são promovidos cursos e concursos de qualidade, para difundir melhor a identidade do café Conilon de qualidade. A iniciativa vem contribuindo significativamente para incentivar a produção de café de melhor qualidade no Espírito Santo.'

Para finalizar a comparação, cumpre destacar que as informações sobre o perfil sensorial do café da indicação de procedência Espírito Santo estão presentes na Ficha Técnica disponível e não no caderno de especificações técnicas. Já para a denominação de origem Matas de Rondônia o perfil sensorial está presente no caderno de especificações técnicas. Por ser esse um fator importante para a caracterização do produto, considera-se que o perfil sensorial deveria ser incluído na descrição do produto.

Considerações finais

O café canéfora está pouco a pouco ascendendo a uma nova realidade de mercado. Para atingir os objetivos de qualidade superior, diversos são os fatores influenciadores. Alguns excedem as tradicionais práticas agrícolas ligadas do plantio aos pós-colheita e estão se destacando cada vez mais os fatores culturais, assim como ambientais e sociais envolvidos na origem produtora de tais cafés. Nesse contexto, as indicações geográficas podem funcionar como importante ferramenta de informação desses atributos extrínsecos valorizados.

A cada ano tem havido ampliação na produção dos canéforas no mundo. O Brasil se apresenta como território promissor nesse crescimento, tanto em escala, quanto em diferenciação. Os dados localizados, comparados e aqui discutidos demonstram como o potencial de diferenciação pode de fato ser praticado e protegido. Corroboram com esse inovador posicionamento dos canéforas que estão focando na proteção dos seus atributos de extrínsecos aliados a qualidade decorrente da origem, conforme discutido neste trabalho.

Como antes mencionado, a história das indicações geográficas no Brasil ainda é recente podendo ser esse considerado um dos motivos para que ainda sejam poucos os registros de indicações geográficas brasileiras, em especial para os cafés canéforas. Porém, ao mesmo tempo, que existem desafios, existem potenciais. E este contexto concede o privilégio do pioneirismo as já reconhecidas “Espírito Santo” e “Matas de Rondônia”. Há que se aguardar se o desenvolvimento dessas pioneiras gerará uma nova e frondosa cultura de produção e consumo especializado.

Referências

ALVES, E. A.; SILVA, K. R.; ROCHA, R. B. Matas de Rondônia para Robustas Amazônicas - Primeira Denominação de Origem para Cafés Canéfora no Mundo. In: VIEIRA, A. C. P.; LOCATELLI, L.; BARBOSA, P. M. S.; MEDEIROS, M. (ed.). **Propriedade Intelectual, Desenvolvimento e Inovação: perspectivas futuras**. Ponta Grossa, PR: Aya, 2023. p. 160-170.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial**. Lei n.º 9.279, de 14 de maio de 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9279.htm. Acesso em: 27 fev. 2025.

BARBOSA, P. M. S.; VALENTE, M. E. R. Considerações sobre sinais distintivos de uso coletivo: Indicações Geográficas, Marcas Coletivas e a possibilidade de valorização de uma coletividade. **Incaper em Revista**, v. 11-12, p. 61-78, jan. 2020/dez. 2021.

INPI. **Cadernos de Especificações Técnicas das Indicações Geográficas reconhecidas pelo INPI, 2018**. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/indicacoes-geograficas/cadernos-de-especificacoes-tecnicas-das-indicacoes-geograficas>. Acesso em: 01 out. 2024.

INPI. Portaria/INPI/PR n.º 04, de 12 de janeiro de 2022a. **Estabelece as condições para o registro das Indicações Geográficas, dispõe sobre a recepção e o processamento de pedidos e petições e sobre o Manual de Indicações Geográficas**. Disponível em:

<https://www.gov.br/inpi/pt-br/central-de-conteudo/legislacao/arquivos/documentos/2022pr-04-estabelece-as-condicoes-para-o-registro-das-indicacoes-geograficas-dispoe-sobre-a-recepcao-e-o-processamento-de-pedidos-e-peticoes-e-sobre-o.pdf> Acesso em: 27 fev. 2025.

INPI. **Ficha Técnica de Registro de Indicação Geográfica, 2021**. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/indicacoes-geograficas/fichas-tecnicas-de-indicacoes-geograficas>. Acesso em: 27 fev. 2025.

INPI. **Portal do Instituto Nacional da Propriedade Industrial, 2025a**. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br>. Acesso em: 10 mar. 2025.

INPI. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. **Pedidos de Indicação Geográfica no Brasil**. [Rio de Janeiro]: Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. 2025b. Acesso em: 10 mar. 2025.

FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; VOLPI, P. S.; FONSECA, A. F. A.; VERDIN FILHO, A. C.; COMÉRIO, M. Cultivares de café Conilon e robusta. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. **Informe Agropecuário**. Cafés Conilon e Robusta: potencialidades e desafios, Belo Horizonte, v.41, n.309, 2020 p.17-25. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1139173/1/cultivares-conilon-robusta-ferrao.pdf> Acesso em: 20 mai. 2025.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. **Café Conilon**. 2. ed. rev. e atual. Vitória, ES: Incaper, 2017. 784 p.

FIOROTT, A. S.; STURM, G. M. Café canephora: em busca de qualidade e reconhecimento. In: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. (ed.). **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p.425-431.

MACHADO FILHO, J. A.; FONSECA, A. F. A.; VERDIN FILHO, A. C.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; COSTA, P. R. **Qualidade e classificação do café Conilon**. Informe Agropecuário, v. 41, n. 309, 2020.

MARRÉ, W. B.; FONSECA, A. F. A. Indicação de procedência (IP) “Espírito Santo” para o café conilon (*Coffea canephora*). **Incaper em Revista**, Vitória, v. 11 e 12, p. 99-107, jan. 2020/dez. 2021.

YIN, R. K. **Pesquisa Estudo de Caso - Desenho e Métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1994. 173 p.

Parceria



Apoio

