

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 agronômicas 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 agronômicas. 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 espectrofométrico. 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)	
		1,88 a 3,30	Acre et al. (2024)	
		1,93	Portela et al. (2021)	
	Robusta	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)	
		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)	
		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)	
		3,9	Jeszka et al. (2017)	
	Sem identificação	Não há dados		
	Híbridos§	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, $p \leq 0,05$). Médias seguidas de letras maiúsculas, diferentes na mesma linha, indicam diferença significativa entre genótipos (Tukey, $p \leq 0,05$).

Fonte: próprios autores.

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, $p \leq 0,05$).

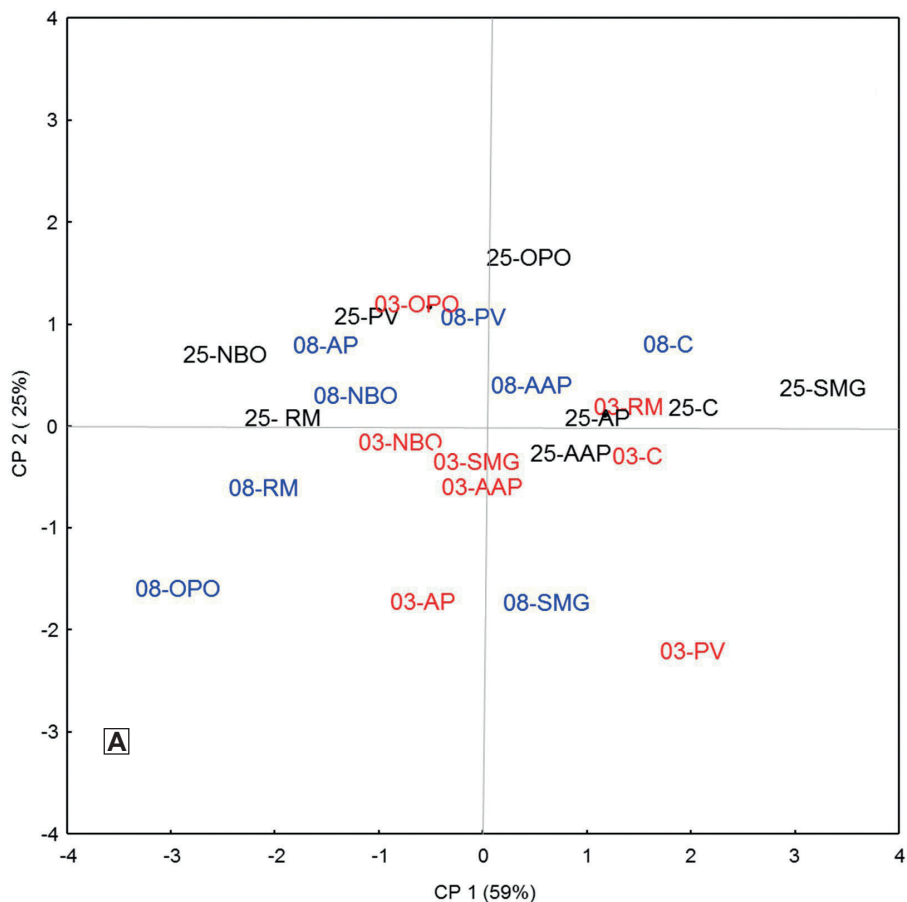
A capacidade redutora variou na faixa de 3,8 g a 4,9 g ácido gálico 100 g⁻¹ (Tabela 7) e para a capacidade de sequestro de radicais livres ABTS, observou-se valores entre 9,5 e 12 g TEAC 100 g⁻¹ (Tabela 8). Quando cultivados nos ambientes de Ouro Preto do Oeste, os três genótipos apresentaram atividade 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.



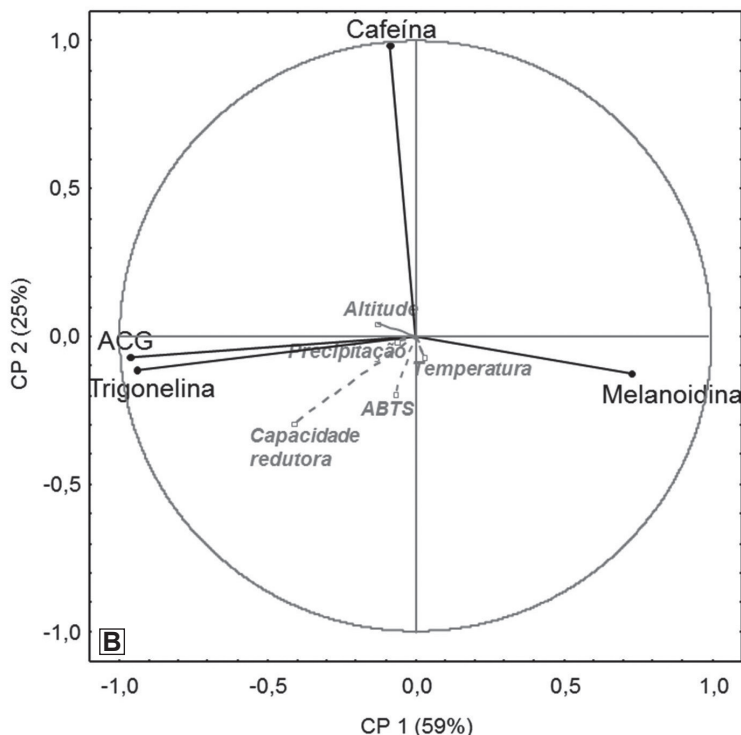


Figura 1. Análise de componentes principais considerando a composição química de cafés canéfora híbridos intervarietais oriundos de diferentes ambientes de cultivo em Rondônia: gráfico de amostras (A) e projeção das variáveis (B). Gráfico de amostras - Locais identificados pelas iniciais: Alto Alegre 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: Caufes, 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: Caufes, 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.

RUFÍAN-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.

RUFÍAN-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.