CabeUNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO CONSUMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

ANTONIO MARQUES DOS SANTOS

AVALIAÇÃO QUÍMICA COM ÊNFASE EM COMPOSTOS BIOATIVOS DE CAFÉS ARÁBICA DO SERTÃO DO PAJEÚ - PE

RECIFE
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO CONSUMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

ANTONIO MARQUES DOS SANTOS

AVALIAÇÃO QUÍMICA COM ÊNFASE EM COMPOSTOS BIOATIVOS DE CAFÉS ARÁBICA DO SERTÃO DO PAJEÚ - PE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Perrone Moreira
Coorientadora: Profa. Drª. Luciana Leite de Andrade Lima Arruda

RECIFE
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237a Santos, Antonio Marques dos
Avaliação química com ênfase em compostos bioativos de cafés arábica do Sertão do Pajeú-PE / Antonio Marques dos Santos. - 2023.
73 f. : il.

Orientador: Daniel Perrone Moreira.
Coorientadora: Luciana Leite de Andrade Lima Arruda.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Recife, 2023.

1. cafeína. 2. trigonelina. 3. ácidos clorogênicos. 4. café brasileiro. 5. análise multivariada. I. Moreira, Daniel Perrone, orient. II. Arruda, Luciana Leite de Andrade Lima, coorient. III. Título

CDD 664

ANTONIO MARQUES DOS SANTOS

AVALIAÇÃO QUÍMICA COM ÊNFASE EM COMPOSTOS BIOATIVOS DE CAFÉS ARÁBICA DO SERTÃO DO PAJEÚ/PE

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos e aprovada em 06/02/2023, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da UFRPE, em sua forma final.

Prof. Dr. Daniel Perrone Moreira – Presidente/Orientador

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Profª Drª Suzana Pedroza da Silva – Membro externa

Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – UFAPE

Profª Drª Claudia Rezende – Membro externa

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Dedico este trabalho àquela que me apoiou em todos os momentos e acreditou nos meus sonhos até quando eu custava a acreditar. A que sempre me diz: "sou sua fã número 1", minha mãe.

RESUMO

O café, em suas mais diversas formas, é apreciado por milhões de pessoas em todo o mundo. Atualmente, mais de 100 espécies dentro do gênero *Coffea* são catalogadas, sendo a *C. arabica* a mais explorada. A qualidade dos grãos verdes de café está ligada a fatores como: condições de cultivo, clima e processamento pós-colheita. Os grãos possuem um conjunto complexo de componentes químicos, e alguns dos mais influentes são os alcaloides (cafeína e trigonelina), e os compostos fenólicos, em especial os ácidos clorogênicos, que são os principais responsáveis pela atividade antioxidante da bebida de café. Dentro do contexto regional, Triunfo, município brasileiro localizado no Sertão do Pajeú, Pernambuco, tem se destacado no cenário cafeicultor do estado pela produção de café arábica. Nesse cenário, esta pesquisa objetivou a caracterização do perfil de compostos químicos bioativos e atividade antioxidante de amostras de grãos verdes de café arábica, oriundas do Sertão do Pajeú (PE), e sua comparação com amostras de outras quatro regiões produtoras do Brasil, sob condições de cultivo e tratamento pós-colheita similares. Análises cromatográficas e espectrofotométricas foram utilizadas para caracterização das amostras provenientes de regiões produtoras de Pernambuco (Sertão do Pajeú), Minas Gerais (Sul de Minas), Bahia (Chapada Diamantina), Espírito Santo (Montanhas) e Paraná (Norte Pioneiro), totalizando 35 amostras de café verde. Os dados foram submetidos à análise multivariada para observar possíveis influências das condições edafoclimáticas específicas de cada região na composição química e atividade antioxidante do café. Os teores de trigonelina e a atividade antioxidante demonstram ter sido influenciados pelas condições de cultivo, em especial a altitude e a temperatura média regionais. O Sertão do Pajeú/PE se destacou como a região cujas amostras apresentaram altos valores de atividade antioxidante, sendo esse parâmetro o principal para a distinção do café dessa região em comparação com as demais estudadas.

Palavras-chave: cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos, café brasileiro, bioma caatinga, análise multivariada, cromatografia líquida.

ABSTRACT

Coffee, in its most diverse forms, is enjoyed by millions of people around the world. Currently, more than 100 species within the genus *Coffea* are catalogued, with *C. arabica* being the most exploited. The quality of green coffee beans is linked to factors such as: growing conditions, climate, and post-harvest processing. The beans have a complex set of chemical components, and some of the most influential are alkaloids (caffeine and trigonelline), and phenolic compounds, especially chlorogenic acids, which are mainly responsible for the antioxidant activity of the coffee beverage. Within the regional context, Triunfo, a Brazilian municipality located in the Sertão do Pajeú, Pernambuco, has stood out in the coffee growing scenario of the state for the production of Arabica coffee. In this scenario, this research aimed to characterize the profile of bioactive chemical compounds and antioxidant activity of samples of green arabica coffee beans, from the Sertão do Pajeú (PE), and their comparison with samples from four other producing regions of Brazil, under cultivation conditions and similar post-harvest treatment. Chromatographic and spectrophotometric analyses were used to characterize the samples from the producing regions of Pernambuco (Sertão do Pajeú), Minas Gerais (Sul de Minas), Bahia (Chapada Diamantina), Espírito Santo (Montanhas) and Paraná (Norte Pioneiro), totaling 35 green coffee samples. The data were submitted to multivariate analysis to observe possible influences of the specific edaphoclimatic conditions of each region on the chemical composition and antioxidant activity of coffee. The trigonelline contents and the antioxidant activity seem to have been influenced by the cultivation conditions, in particular the regional altitude and average temperature. The Sertão do Pajeú/PE stood out as the region whose samples showed high values of antioxidant activity, this parameter being the main one for distinguishing coffee from this region compared to the others studied.

Keywords: caffeine, trigonelline, chlorogenic acids, Brazilian coffee, Caatinga biome, multivariate analysis, liquid chromatography.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação externa e interna de um fruto do café maduro **14**

Figura 2 - Grãos de *Coffea arabica*, beneficiados, com resquícios de película prateada. **14**

Figura 3 - Secagem de frutos, em terreiro comum (A) e em terreiro suspenso (B) **15**

Figura 4 - Grãos de café arábica imersos em tanques de fermentação **16**

Figura 5 - Frutos de café, em ponto cereja, do Sítio Lagoa Mariano, Triunfo/PE..... **24**

Figura 6 - Grãos de *Coffea arabica* verdes e beneficiados **26**

Figura 7 - Fórmula química estrutural da cafeína **28**

Figura 8 - Fórmula química estrutural da trigonelina. **29**

Figura 9 - Estruturas químicas dos principais ácidos clorogênicos presentes no café, incluindo os ácidos cafeoilquínicos (CQA), dicafeoilquínicos (diCQA), feruloilquínicos (FQA) e cumaruloilquínicos (*p*-CoQA)..... **31**

Figura 10 - Mapa com a localização geográfica das cinco regiões de coleta de amostras de café verde **34**

Figura 11 - Teor de trigonelina correspondente às regiões analisadas..... **54**

Figura 12 - Quadro de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas..... **56**

Figura 13 - Gráfico biplot da Análise de Componentes Principais (PCA), indicando o agrupamento de amostras de cafés de acordo com as regiões: Sertão do Pajeú (PE), em vermelho; Norte Pioneiro (PR), em azul e Chapada Diamantina (BA), em verde..... **57**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teor de compostos encontrados em grãos de *Coffea arabica* beneficiados, crus, em g/100 g **27**

Tabela 2 - Dados individuais, correspondentes às amostras das regiões participantes. **35**

Tabela 3 - Teores de trigonelina e cafeína das amostras individuais (mg/100 g de base úmida). **45**

Tabela 4 - Teores de ácidos clorogênicos das amostras individuais de café verde (mg/100 g base úmida)..... **48**

Tabela 5 - Valores de pH e de atividade antioxidante (Folin-Ciocalteu e DPPH$^{\bullet}$) das amostras de café verde. **51**

Tabela 6 - Valores médios correspondentes às amostras agrupadas por região..... **53**

SUMÁRIO

1. Introdução **9**
2. Problema de pesquisa **11**
1.1 Problema de pesquisa **11**
2.2 Hipótese de pesquisa. **11**
3. Objetivo **12**
3.2 Objetivo geral **12**
3.2 Objetivos específicos **12**
4. Revisão de literatura **13**
4.1 Café **13**
4.2 Processamento **14**
4.3 Qualidade dos grãos de café **16**
4.4 Café no Brasil **17**
4.5 Mercado brasileiro de café comercial **17**
4.6 Cafés de qualidade no Brasil **18**
4.7 Algumas regiões cafeicultoras do Brasil **20**
4.7.1 Sul de Minas (MG) **20**
4.7.2 Montanhas (ES) **21**
4.7.3 Chapada Diamantina (BA) **22**
4.7.4 Norte Pioneiro (PR) **23**
4.7.5 Sertão do Pajeú (PE) **24**
4.8 Composição química do café verde **26**
4.8.1 Cafeína **27**
4.8.2 Trigonelina **39**
4.8.3 Ácidos clorogênicos **30**
5. Materiais e métodos **32**

5.1 Amostras **32**
5.2 Local de processamento **37**
5.3 Granulometria **37**
5.4 Extração das amostras **37**
5.5 Determinação de pH **37**
5.6 Determinação de atividade antioxidante: ensaio de Folin-Ciocalteu **38**
5.7 Determinação de atividade antioxidante: ensaio de DPPH **38**
5.8 Determinação de cafeína e trigonelina **38**
5.9 Determinação de ácidos clorogênicos **38**
5.10 Análise Estatística **39**
6. Artigo original para publicação 40
7. Introdução 41
8. Materiais e Métodos 42
8.1 Amostras **42**
8.2 Granulometria **42**
8.3 Extração das amostras **43**
8.4 Determinação de pH **43**
8.5 Determinação de atividade antioxidante: ensaio de Folin-Ciocalteu **43**
8.6 Determinação de atividade antioxidante: ensaio de DPPH **43**
8.7 Determinação de cafeína e trigonelina **44**
8.8 Determinação de ácidos clorogênicos **44**
8.9 Análise estatística **44**
9. Resultados 44
9.1 Trigonelina e cafeína **44**
9.2 Ácidos clorogênicos **47**
9.3 pH e atividade antioxidante **50**
9.4 Comparação regional e análise de correlação **52**
9.5 Avaliação da regionalidade por meio da Análise de Componentes Principais **57**

10. Conclusão 58

REFERÊNCIAS **59**

1. Introdução

O café, em suas mais diversas formas, é apreciado por milhões de pessoas em todo o mundo e sua bebida é obtida a partir de sementes torradas de árvores pertencentes à família botânica Rubiaceae (BAE et al., 2014). Mais de 100 espécies dentro do gênero *Coffea* são catalogadas, embora apenas *Coffea arabica*, *C. canephora* e *C. liberica* apresentem potencial comercial (FERREIRA et al., 2019). O café arábica apresenta maior cultivo mundial, viabilidade econômica e superioridade sensorial na qualidade do café, elaborando uma bebida mais leve ao palato, de maior complexidade aromática e com menor concentração de cafeína (HERRERA e LAMBOT, 2017).

Considerando a produção mundial de café, o Brasil é o maior produtor e exportador (EMBRAPA, 2019), responsável por aproximadamente 50% da produção de grãos em escala global, sendo 73% de sua produção de cafés arábicas e 27% de cafés robusta (USDA, 2019). Entretanto, o Brasil ainda não se destaca fortemente na produção de cafés de alta qualidade, ficando atrás de países como a Colômbia, a Costa Rica e a Etiópia, que são reconhecidos por cafés de excelência, mesmo possuindo territórios de produção significativamente menores (SÓRIO, 2015; OIC, 2019).

Tradicionalmente, o café é uma planta cultivada em regiões tropicais (WINSTON et. al, 2005) e, em termos climáticos, a espécie arábica tem desenvolvimento comercial com qualidade em altitudes superiores a 1000 m acima do nível do mar, temperatura média entre 18 ºC e 24 ºC e precipitações acima de 1500 mm/ano (FRANCA e OLIVEIRA, 2019).

A qualidade dos grãos de café está fortemente ligada ao conjunto complexo de compostos químicos, sendo alguns relevantes por também apresentarem bioatividade (FARAH, et al 2006). Neste contexto, alguns dos compostos mais influentes são os alcaloides (cafeína e trigonelina), os fenólicos (ácidos clorogênicos e ácidos hidroxicinâmicos), os lipídeos, além dos ácidos orgânicos (oxálico e cítrico) e sacarose (AFFONSO, 2017).

A variabilidade genética, associada a interações com o ambiente de cultivo, também apresenta forte influência na composição química dos grãos de café (MALTA; CHAGAS, 2009). Barbosa e colaboradores (2012), em estudo da relação entre composição química e condições de cultivo e etapas de processamento, com mais de 30 produtores de Minas Gerais, conseguiram observar elevados teores de cafeína, trigonelina e ácido 5-cafeoilquínico em amostras cultivadas em grandes altitudes e índices pluviométricos acima de 1000 mm anuais.

Considerando esses parâmetros, a Serra de Baixa Verde, no Sertão do Pajeú, em Pernambuco, pode ser considerada de alto potencial produtivo, pelas suas condições edafoclimáticas. A cafeicultura dessa região desenvolveu-se na zona rural do município de

Triunfo-PE, porém com o aumento da demanda e os bons resultados, a produção já ultrapassa os limites geográficos do município e atinge cidades circunvizinhas, como Serra Talhada-PE, ainda sem demarcações cartográficas. Sendo importante ressaltar que esta microrregião se encontra delimitada dentro da macrorregião conhecida como Sertão do Pajeú, pertencente ao bioma Caatinga. Considerando a singularidade edafoclimática da Caatinga e sua influência na composição química do café, essa pesquisa tem como objetivo caracterizar o café produzido comercialmente no município de Triunfo/PE, bem como identificar suas potencialidades em relação aos compostos químicos bioativos, em comparação com outras regiões do Brasil, que possuem cafeicultura consolidada comercialmente.

2. Problema da pesquisa e hipótese

2.2 Problema de pesquisa

As condições edafoclimáticas específicas do bioma Caatinga predominantes no Sertão do Pajeú, em Pernambuco, associadas à altitude, proporcionam diferenças nos teores de compostos bioativos no café arábica produzido, quando comparada a outras regiões do Brasil?

2.3 Hipótese

Os teores de compostos bioativos dos grãos de café arábica oriundos do Sertão do Pajeú/PE, cultivados em condições edafoclimáticas características da Caatinga, se equiparam aos grãos de outras regiões produtoras de café do Brasil.

3. Objetivos

3.1 Objetivo geral

Avaliar o perfil de compostos químicos bioativos em grãos verdes de café arábica, produzido em altitude e nas condições edafoclimáticas do bioma Caatinga do Sertão do Pajeú – PE, comparando com outras regiões produtoras do Brasil.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar os teores de cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos em amostras de grãos verdes de café arábica, cultivados no Sertão do Pajeú-PE, e nos estados de Minas Gerais, Bahia, Paraná e Espírito Santo;
- Determinar a atividade antioxidante, por meio de dois ensaios distintos, em amostras de grãos verdes de café arábica, cultivados no Sertão do Pajeú-PE, e nos estados de Minas Gerais, Bahia, Paraná e Espírito Santo;
- Identificar possíveis marcadores de tipicidade do café arábica do Sertão do Pajeú/PE, quando comparado com cafés arábicas provenientes de outras regiões produtoras do Brasil;
- Inferir, a partir da análise multivariada, a possível influência das condições edafoclimáticas das regiões produtoras de café arábica dos estados de Pernambuco, Minas Gerais, Bahia, Paraná e Espírito Santo.

4. Revisão da literatura

Nesta seção, serão abordados os principais temas relativos ao desenvolvimento do estudo, tais como a origem do café, as características edafoclimáticas influentes em sua produção e perfil químico, o processamento pós-colheita, as principais regiões produtoras do Brasil e a composição bioativa contida nos grãos verdes de café arábica.

4.1 Café

A planta do café é relatada como sendo natural do continente africano, mais especificamente dos estipes da Etiópia, e que seu nome foi inspirado na região montanhosa de Cafa. O cafeeiro pertence à família Rubiaceae, do gênero *Coffea*, de subgênero *Eucoffea*, e se caracteriza como um arbusto perene, de ciclo bianual de cultivo, e com aproximadamente 3 metros de altura. A família possui mais de cem espécies catalogadas, entretanto, apenas *C. arabica*, *C. canephora* e *C. liberica* apresentam potencial comercial (FERREIRA et al., 2019) e as duas primeiras maior rentabilidade. O café arábica (*C. arabica*) e o café conilon (*C. canephora*) representam 70% e 30% da produção mundial, respectivamente (ZAIDAN, 2015; ŞEMEN et al., 2017).

Comumente, a propagação dos cafeeiros ocorre por estaquia e tem início em estufas, quando as plantas adquirem resistência. Em seguida, as estacas com crescimento vegetativo, são transferidas para a área de plantação efetiva e, em média, após cinco anos, os cafeeiros produzem frutos em escala comercial. Os formatos dos frutos do café, tanto da espécie arábica quanto canéfora, são similares, sendo redondos e carnosos (DEDECCA, 1957; GOULARTI et al., 2007).

O fruto é composto por camadas (Figura 1), que se iniciam na casca (exocarpo), camada mais externa que durante o processo de amadurecimento transita entre as cores verde, amarelo e vermelho, sendo em sua maioria o vermelho intenso (ponto “cereja”) indicativo da fase final do desenvolvimento e momento ideal de colheita (PATUI et al., 2014). A polpa (mesocarpo), a segunda camada do fruto, é descrita também como mucilagem, uma camada suculenta e esbranquiçada, rica em sacarose e água, que recobre o endocarpo, as duas sementes do café, conhecidas popularmente como grãos (PATUI et al., 2014). As sementes possuem uma fina película prateada, o espermoderma, que protege as sementes de café contra enzimas digestivas do intestino de animais frugívoros (DEDECCA, 1957; BORÉM et al., 2008; PATUI et al., 2014).

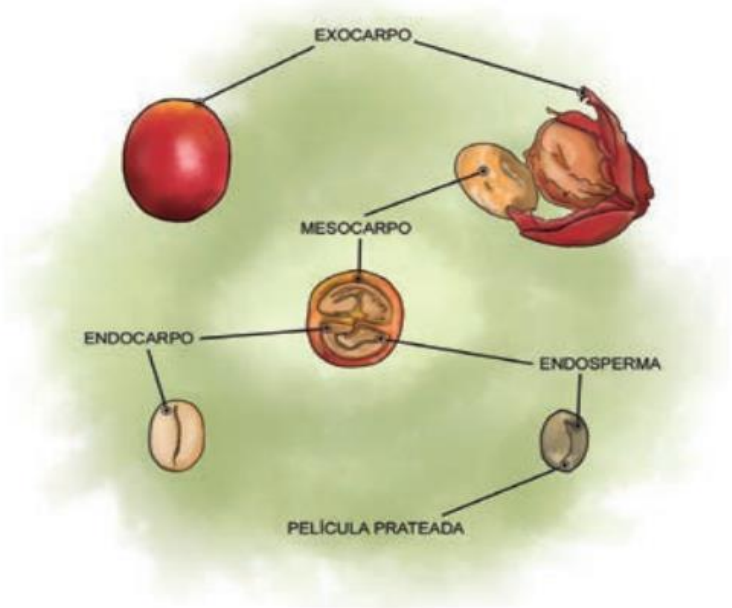

Figura 1. Representação externa e interna de um fruto do café maduro. Fonte: SENAR, 2017.

A Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA) regulariza o produto café por meio da Portaria nº de 1978, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA): sendo o café cru, na forma de grão, a semente que foi beneficiada oriunda do fruto devidamente maduro de diversas espécies do gênero *Coffea*, principalmente: *C. arabica* (FIGURA 2), *Coffea l.* e *C. canephora*.

Figura 2. Grãos de *C. arabica*, beneficiados, com resquícios de película prateada. Fonte: MESQUITA, *et al.* 2016.

4.2 Processamento

O fruto maduro, após colhido, passa por um processamento que envolve uma série de operações unitárias, com distintos propósitos, e tem grande importância nas atividades da indústria do café (MURTHY e NAIDU, 2012). Os grãos são devidamente separados e lavados, seguindo para a fase de remoção da polpa e separação das sementes ou secagem dos grãos, a fim de torná-

los adequados à torra e moagem, para extração da bebida. O café brasileiro pode ser despolpado por duas vias de processamento principais: via seca e via úmida (BORÉM, 2014; PAIVA, 2010).

A secagem natural ou por via seca é realizada na cereja do café ainda com casca, sendo o fruto lavado e dispostos em "terreiros" ou mesas suspensas, sob incidência direta da radiação solar. Neste sistema, os frutos ficam expostos ao ambiente durante o dia e a noite são protegidos (MESQUITA et al., 2016). Cabe ressaltar que, este tipo de processo é bastante empregado em regiões com maior incidência de radiação solar e de ventos, fatores que intensificam a secagem do mesocarpo do fruto. A vantagem do processamento via seca é que os frutos são secos na sua forma íntegra, imediatamente após a colheita, em terreiro aberto (Figura 3A), terreiro suspenso (Figura 3B) ou em secador mecânico, podendo haver variações no emprego do método de acordo com o produtor e o produto que se almeja (BORÉM, 2014; PAIVA, 2010).

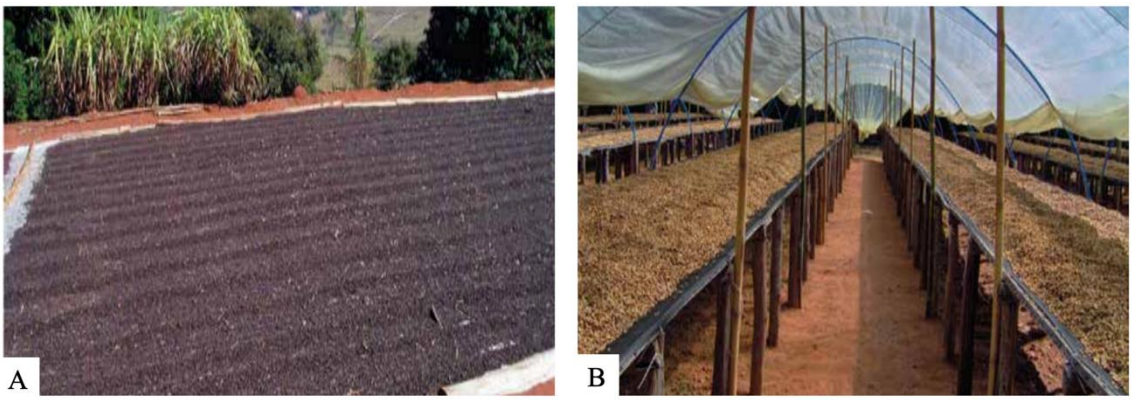

Figura 3. Secagem de frutos, em terreiro comum (A) e em terreiro suspenso (B). Fonte: MESQUITA, *et al.* 2016.

Em média, após 30 dias ocorre a finalização do processo de secagem, momento em que o café atinge de 12% a 10,5% de umidade, os grãos são beneficiados, ou seja, são desmucilados completamente, liberando as sementes que serão torradas e utilizadas para produção da bebida (MESQUITA et al., 2016). O processamento via seca origina grãos de café que são capazes de produzir bebidas encorpadas, mais adstringentes e menos ácidas (CHALFOUN e FERNANDES, 2013; BORÉM, 2014).

No preparo por via úmida, o mesocarpo do fruto do cafeeiro, que recobre a semente, é removido após o processo de lavagem e separação. Esta etapa é realizada com frutos em diferentes estádios de maturação, sendo destinados ao despolpador para remoção da casca e polpa. Em seguida, todos os grãos inteiros são imersos em tanques de fermentação (Figura 4) (MURTHY et al., 2011). O processo induzido de fermentação pode variar de 6 a 72 h, dependendo das condições estabelecidas no desenvolvimento da microflora natural dos grãos e do intuito do produtor (BRANDO E BRANDO, 2014).

Figura 4. Grãos de café arábica imersos em tanques de fermentação. Fonte: MESQUITA, *et al., 2016.*

Após o processo de fermentação, os grãos são drenados e novamente lavados para remover todo resíduo gerado na etapa de fermentação, evitando principalmente a formação de compostos indesejáveis como os ácidos butírico e propiônico, que influenciam negativamente na qualidade dos cafés (MURTHY et al., 2011). Em seguida, ocorre a drenagem dos grãos, partindo para a etapa de secagem, podendo ser realizada por meio de secador mecânico ou de forma natural em terreiro aberto, similar ao processo por via seca (BRANDO e BRANDO, 2014). A despolpa via úmida proporciona características sensoriais que são definidas como bebida suave, de corpo leve e elevada acidez (CHALFOUN e FERNANDES, 2013).

4.3 Qualidade dos grãos de café crus

Os parâmetros físicos e sensoriais dos grãos de café verde são avaliados de acordo com a Associação Americana de Cafés Especiais – SCAA (*Specialty Coffee Association of America*). No Brasil, está representada pela BSCA (*Brazil Specialty Coffee Association*), que segue as mesmas diretrizes da SCAA, e que promove o Concurso de Qualidade Cafés do Brasil – *Cup of Excellence* (CoE). A análise física avalia o grão cru, por meio de amostras referentes ao lote de produção e podem ser classificadas diretamente pelo produtor, por corretores de café, cooperativas, intermediários ou compradores (TSUKUI, 2017).

Os critérios de classificação da qualidade dos grãos de café, estão ligados às propriedades físicas particulares e são levados em consideração os defeitos intrínsecos, que são considerados os grãos de café imperfeitos, com aspectos diferentes dos grãos sadios e os defeitos extrínsecos, que são as impurezas que podem ser encontradas em uma amostra de café, junto ao lote (SENAR, 2017).

A seleção visa eliminar os grãos de coloração preta opaca, com tons de marrom escuro, com aspecto brilhante e enrugado, contendo orifícios limpos ou sujos, em forma de concha, quebrados ou esmagados. Assim como remover resíduos vegetais não oriundos do produto, a exemplo de grãos ou sementes de outras espécies e corpos estranhos de quaisquer naturezas, como pedras ou torrões de diferentes tamanhos, resultantes do processo de varrição do café ou de fragmentos vindos do terreiro (SENAR, 2017).

Após essa seleção prévia, os grãos são alocados em peneiras empilhadas, de diferentes granulometrias, sendo separados pelos seus tamanhos e garantindo a uniformidade do grão a ser torrado. Após os grãos serem torrados, eles seguem para a metodologia de classificação da SCAA para que seja realizada a prova de xícara, na qual avaliadores treinados descrevem os aspectos em relação à bebida do café, a fim de avaliar se a mesma pode levar a classificação de especial, com notas acima de 80 pontos (BSCA, 2017).

4.4 Café no Brasil

O ciclo do café no Brasil está intimamente ligado ao desenvolvimento agrícola e econômico do país, que se iniciou ainda no século XVIII. O Brasil recebeu os primeiros grãos de café em suas terras em meados de 1727, trazidos pelo militar luso-brasileiro Francisco Mello Palheta, vindos da Guiana Francesa (TAUNAY, 1939). A princípio, os grãos ficaram restritos à região norte do país, mais precisamente em Belém/PA. Ao longo dos anos, os grãos foram estendendo-se para as demais regiões, possibilitando a abertura de estradas e portos para o escoamento dos mesmos (MARTINS, 2012).

Com a expansão para o restante do país, as regiões sudeste e sul se beneficiaram de fatores climáticos e ambientais favoráveis aos cafezais comerciais. A partir de então, o café brasileiro passou a ter demanda nacional e, posteriormente, internacional, fazendo com que o cultivo do cafeeiro se torne atraente para a economia do país (MARTINS, 2012).

A produção de café no Brasil é bastante favorecida em relação às condições de cultivo, como clima e solo. Segundo dados da Associação Brasileira de Cafés - ABIC (2017), o país é considerado o maior produtor de grãos crus no mundo, seguido do Vietnã, Colômbia e Indonésia. As espécies de maior produção comercial são os cafés arábica (*Coffea arabica L.*) e robusta (*C. canephora*), com 78% e 22% da produção brasileira, respectivamente, entre os anos de 2018 e 2020, e dentre os Estados brasileiros mais produtivos se destacam Minas Gerais, seguido de São Paulo, Espírito Santo, Bahia e Paraná (CONAB, 2020).

4.5 Mercado brasileiro de café comercial

Dados da Organização Internacional de Cafés (2017) relatam que cerca de setenta e cinco

países possuem lavouras de café em plena produção, cabe ressaltar que alguns países produzem apenas uma espécie, sendo *C. arabica* ou *C. robusta*, enquanto outros, como o Brasil, optam por produzir ambas as espécies (FARINHOTO, 2012). A elevada produção e demanda do mercado do café torna esta *commodity* uma das mais relevantes para a agricultura mundial e nacional (OLIVEIRA-NETO et al., 2016), sendo o quinto produto alimentício agrícola mais amplamente produzido e comercializado (BAGYARAJ et al., 2015). Além disso, café é a segunda bebida mais consumida no mundo, atrás apenas da água potável (STELMACH et al., 2015).

Neste cenário, o Brasil produz e exporta a maior quantidade de grãos de café do mundo (*C. arabica e C. canephora*). Os resultados preliminares, da safra 2022, estimaram que os produtores brasileiros de café finalizariam o ano com 50,38 milhões de sacas produzidas, correspondendo a mais de 30% da produção mundial de café (ICO, 2022; BRASIL, 2022). Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), o Brasil apresenta cerca de 287 mil produtores, predominando pequenos e médios, em aproximadamente 1.900 municípios, que fazem parte de associações e cooperativas, distribuídas em 15 estados: Acre, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rondônia, e São Paulo (BRASIL, 2018). Destes estados, 98,10% da produção nacional está concentrada nos estados de Minas Gerais (51,6%), Espírito Santo (24,7%), São Paulo (9,4%), Bahia (5,4%), Rondônia (4,0%) e Paraná (3,0%) (BRASIL, 2020). Ainda, de acordo com o levantamento da CONAB (2022), a área destinada à cafeicultura nacional em 2022, foi de 2,24 milhões de hectares, sendo 1,84 milhão de hectares para lavouras em produção e 402 mil hectares de área em formação.

Pela relevância, a cafeicultura brasileira tem participação ativa no crescimento econômico do país, em especial nas principais regiões produtoras e está diretamente ligada à geração de mais de dez milhões de empregos diretos e indiretos no país. Ademais, este grande percentual da produção mundial de grãos de café apresentado pelo Brasil está associado, principalmente, com a diversidade das condições climáticas, amplo território e condições ambientais de cultivo (BRASIL, 2018).

4.6 Cafés de qualidade no Brasil

Na última década do século XX, os apreciadores de café passaram a buscar produtos com maior valor agregado, diferenciados pela especialidade e sustentabilidade, quebrando a lógica da concorrência por preços dos cafés *commodities*, ampliando as oportunidades de emprego e renda, fazendo emergir um novo nicho de mercado (FEUERSTEIN, 2007; PONTE, 2002). O movimento incentivou a indústria cafeeira e grandes empresas torrefadoras a assumirem o papel de agentes coordenadores da cadeia e a partir disso, a dinâmica gerada provocou mudanças na agroindústria

do café (DAVIRON; PONTE, 2005; MAYER; GEREFFI, 2010; REHBEIN; SCHULER, 2015), e os reflexos foram políticos, mercadológicos e são fortemente sentidos até o presente momento.

Até o fim da década de 1990 o Brasil possuía uma imagem negativa de produtor de café de "baixa qualidade", mas em grandes volumes, capaz de suprir a demanda interna e externa. Em 1999, um concurso, o *Cup of Excellence*, teve sua primeira edição brasileira realizada, na Universidade Federal de Lavras-MG, envolvendo produtores, agrônomos, pesquisadores e a gestão pública, a fim de definir estruturas do mercado de cafés de qualidade, considerados especiais, além de contribuir para dar voz a pequenos produtores e suas regiões. Este concurso de cafés foi, de longe, o pontapé para que os integrantes desta cadeia no Brasil, daquela época, começassem a seguir os passos de produtores globais de grãos de excelência (UFL, 2019).

A partir do concurso de qualidade, distintas regiões começaram a se desenvolver e se organizar para produzir grãos especiais, entendendo cada vez mais as especificidades de sua localidade e *terroir*. Os produtores começaram a buscar seus padrões de cultivo e, conjuntamente, tivemos o desenvolvimento de regiões como o Cerrado Mineiro, a região da Serra da Mantiqueira de Minas Gerais, as montanhas do Espírito Santo, e a Chapada Diamantina, da Bahia, que despontaram e hoje são reconhecidas pelo excelente desempenho tanto na *Cup of Excellence Brazil* como nas edições internacionais.

O crescimento deste nicho foi exponencial e o grande saldo das modificações acontecidas àquela época pôde ser somado à estrutura organizacional e política, capazes de auxiliar as regiões produtoras no desenvolvimento de suas capacidades e competências, gerando bons resultados (ICAFE, 2015).

Segundo levantamento recente, o Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo (EMBRAPA, 2019), responsável por aproximadamente 50% da produção de grãos em escala global, sendo 73% de sua produção interna de cafés arábicas e 27% de cafés robusta (USDA, 2019). Entretanto, o Brasil ainda não se destaca fortemente na produção de cafés de alta qualidade, ficando para trás em comparação com alguns países, como por exemplo a Colômbia, Costa Rica e Etiópia, que são reconhecidos por cafés de excelência, mesmo possuindo territórios de produção significativamente menores (SÓRIO, 2015; OIC, 2019).

Em contrapartida, a demanda e o consumo de cafés especiais têm crescido cerca de 19% ao ano, no país, e revela uma nova tendência na cafeicultura nacional. Este crescimento e nicho de mercado com potencial, têm chamado a atenção de produtores do país inteiro, que estão renovando a produção de cafés convencionais para a produção de cafés especiais, de acordo com a ABIC (2018).

Acredita-se que o consumo interno tem aumentado em virtude de uma maior conscientização do consumidor em relação aos atributos sensoriais e de segurança da bebida,

realizada através do marketing, expansão das cafeterias especializadas, campanhas educativas (BARACAT, 2020) e principalmente da realização de amplos estudos quali-quantitativos a respeito dos componentes dos cafés de várias regiões do país. Neste mercado, com crescente apelo pela qualidade e sustentabilidade, é ascendente o papel da dispersão de informação à medida que cresce o interesse dos consumidores, para comunicar o diferencial dos cafés brasileiros (VAN RIJSBERGEN et al., 2016).

4.7 Algumas regiões cafeicultoras do Brasil

4.7.1 Sul de Minas Gerais (MG)

O Estado de Minas Gerais é o maior produtor de café do Brasil, com participação de 48,4% do total nacional. O parque cafeeiro mineiro é composto por 463 municípios produtores, que ocupam 1,2 milhão de hectares de lavouras. A espécie de café predominante no estado é a arábica, ressaltando que 67,7% da área cultivada de café arábica em plena atividade no Brasil está localizada em Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2021).

Minas Gerais tem sua produção anual estimada em 30 milhões de sacas (CONAB, 2021). Esta demanda fez da cultura cafeeira o principal pilar da agricultura e economia local, uma vez que o café é protagonista nas exportações do agronegócio mineiro, respondendo por 42,4% da pauta (MINAS GERAIS, 2021). O estado divide seu território de produção em cinco regiões, sendo elas: Chapada de Minas, Matas de Minas, Cerrado Mineiro, Mantiqueira de Minas e Sul de Minas, sendo esta última a de maior destaque. Esta divisão se faz necessária devido à sua grandeza territorial e variação ambiental, que impacta diretamente em diferenças de composição química e, consequentemente, organolépticas dos grãos de café produzidos (SILVEIRA, 2015).

As regiões mineiras têm suas características edafoclimáticas específicas, acarretando cafés com uma grande variedade de aromas e sabores (SILVEIRA, 2015). Os principais municípios produtores do Estado são: Patrocínio (Alto Paranaíba), Campos Gerais (Sul de Minas), Três Pontas (Sul de Minas), Ibiraci (Sul de Minas) e Manhuaçu (Zona da Mata), Varginha (Sul de Minas) e Guaxupé – cidade sede da maior cooperativa de grãos de cafés do Brasil, a renomada Cooperativa Regional de Cafeicultores de Guaxupé - Cooxupé (MINAS GERAIS, 2021).

A região Sul de Minas abrange 30% dos municípios que produzem café, com produção de aproximadamente 53,1% do total dos grãos produzido no estado (MINAS GERAIS, 2021). Esta região tem como vantagens competitivas a herança cultural em produzir café e uma região de Mata Atlântica bem preservada, que contribui com sombreamento para grande parte da produção, gerando grãos de maior complexidade sensorial. Os cafés são cultivados em áreas com altitude média entre 800 a 1.250 metros, relevo montanhoso e condição climática com temperatura anual entre 20 ºC e 24 ºC, além do processamento pós-colheita via seca, para maioria dos grãos

(COUTINHO, 2016; MINAS GERAIS, 2021).

4.7.2 Montanhas (ES)

O Espírito Santo é o terceiro maior produtor de arábica do Brasil, atrás apenas dos estados de Minas Gerais e São Paulo, sendo o café arábica a principal fonte de renda em 80% das propriedades rurais capixabas localizadas em terras frias e montanhosas (CONAB, 2019). Segundo a CONAB (2021), existem cerca de 160 mil hectares de café arábica em produção no Espírito Santo, em 48 municípios, com 53 mil famílias na atividade. Além disso, o Estado é o principal produtor de café *Conillon* do Brasil. O estado possui várias áreas montanhosas e de relevos diversificados, o que proporciona diferenças entre as características edafoclimáticas, com distinções entre as áreas de produção de cafés, que divide o estado em quatro regiões de produção: Noroeste, Centro-Serrana, Sul-Caparaó e Montanhas (PINTO et al., 2012; MATIELLO et al., 2016)

O café arábica é cultivado, principalmente, na região conhecida como Montanhas do Espírito Santo, favorecida pela alta umidade e boa incidência solar, a região produz cerca de 4,387 milhões de sacas anualmente (CONAB, 2021; INCAPER, 2020). Além disso, a maioria das lavouras da região possui remanescentes da Mata Atlântica preservada em seu entorno, fazendo sombreamentos voluntários dos cafeeiros e contribuindo para melhorar a qualidade sensorial do café (DE MUNER, 2012; FORNAZIER et al., 2019).

Os maiores produtores capixabas de café arábica são os municípios de: Brejetuba, Iúna, Vargem Alta, Ibatiba, Muniz Freire, Irupi, Afonso Cláudio, Domingos Martins, Ibitirama, Castelo, Mimoso do Sul e Santa Teresa – todos eles são municípios localizados na região Montanhas. As cultivares mais bem adaptadas às características de *terroir* e, por este motivo, mais utilizadas são *Catuaí, Topázio, Acauã e Arara* (INCAPER, 2020; TRISTÃO et al., 2020). Dos municípios produtores, um grande destaque em qualidade e demanda é Domingos Martins, com significativa produção de grãos arábica. O local possui precipitação pluviométrica média anual de aproximadamente 1200 mm, temperatura média anual de 18 °C a 22 °C, altitude que pode chegar a 1.400 m e está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Jucu Braço Norte (INCAPER. 2019).

Recentemente, o Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) concedeu o selo de Indicação Geográfica (IG) aos cafés arábicas produzidos em Montanhas do Espírito Santo, na categoria de Denominação de Origem (DO). A IG de Denominação de Origem contempla os grãos arábicas produzidos nos municípios de Domingos Martins, Afonso Cláudio, Alfredo Chaves, Brejetuba, Castelo, Conceição do Castelo, Iconha, Itaguaçu, Itarana, Marechal Floriano, Rio Novo do Sul, Santa Maria de Jetibá, Santa Teresa, Santa Leopoldina, Vargem Alta e Venda Nova do Imigrante (ESPÍRITO SANTO, 2021).

Ademais, a cultura cafeeira do estado é bem fortalecida e possui, também, Indicação Geográfica (IG), para todo o café conilon produzido internamente, na categoria de Indicação de Procedência (IP), fornecida pelo INPI. Trata-se da primeira IG do Brasil que abrange a produção de conilon em um estado inteiro, representando um alcance inédito no país (INCAPER, 2021).

4.7.3 Chapada Diamantina (BA)

A Bahia é o quarto maior produtor de café do Brasil, com área cultivada de 98,6 mil hectares e produção de 3,64 milhões de sacas de café beneficiados, na safra de 2021 (CONAB, 2022). O Estado possui três grandes áreas produtoras de grãos, sendo elas: Atlântico (sul da Bahia), Planalto (centro-sul e centro-norte da Bahia) e Cerrado (extremo oeste da Bahia).

Entre as três macrorregiões, o Planalto se evidencia por cultivar exclusivamente grãos arábica e deter a maior área produtiva de café no Estado, abrangendo lavouras de café em três microrregiões: Chapada Diamantina, Vitória da Conquista e Brejões (CONAB, 2022). Considerando as microrregiões, a Chapada Diamantina abrange o município de Piatã-BA, maior representante da microrregião, favorecida pelo clima ameno, precipitação acima de 1.000 mm anuais e altitudes entre 1.100 m e 1.400 m, com cultivo predominante das cultivares *Catuaí e Mundo Novo* (CONAB, 2022). Além disso, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020), o município de Piatã possui 19.322 hectares destinados à cultura do café.

Os cafés da Chapada Diamantina são reconhecidos pelos grãos de alta qualidade, certificados com diversos prêmios em concursos nacionais e internacionais. A exemplo de 2014 quando fazendas da região receberam as três primeiras colocações no concurso da Associação Brasileira de Cafés Especiais; de 2017, ano que venceram o 14º Concurso Nacional de Qualidade do Café da ABIC; e de 2018, ano que ficaram em 5º lugar, no concurso internacional de cafés de alta qualidade e excelência, o *Cup of Excellence*.

Estes resultados se devem principalmente aos padrões de complexidade química, intrínsecos às espécies *Coffea arabica*, fatores bióticos e abióticos da região e melhorias nas técnicas de plantio e torra, que ocorreram nas últimas duas décadas (UESB, 2019). Considerando todos os avanços, a Universidade Estadual do Oeste da Bahia, em 2019, solicitou ao INPI a Indicação Geográfica (IG) para os cafés da Chapada Diamantina, a fim de garantir por certificação o reconhecimento local e, consequentemente, maior valor e alcance no mercado, impactando diretamente na base de produção. Em pesquisa com cafés dessa região, Santos et al. (2020) afirmam que os extratos aquosos dos cafés comerciais da Chapada Diamantina possuem composição química rica em lipídios, ácidos orgânicos e cafeoilquínicos, superiores e capazes de notabilizar a região frente às características apresentadas por amostras de São Paulo e Minas Gerais.

4.7.4 Norte Pioneiro (PR)

O Paraná é um dos estados mais representativos de produção de grãos arábicas no Brasil, responsável por uma produção anual em torno de 3,0 a 4,5% do montante nacional, correspondendo a cerca de 2,5 milhões de sacas (CONAB, 2019). Esta variação advém da ocorrência de perdas da colheita, que podem ser ocasionadas pelas alterações climáticas que impactam diretamente no desenvolvimento da planta e dos frutos, como geadas, grandes volumes de chuva e temperatura muito baixas, comuns na região (CONAB, 2014).

A região norte do Paraná é a mais expressiva em produção e qualidade, conhecida como o Norte Pioneiro, concentrando cerca de 60% da produção estadual (TSUKUI, 2017). Devido ao solo vulcânico e clima subtropical, o Norte Pioneiro tem grande potencial para a produção de cafés especiais. Além disso, esta região apresenta temperatura média anual entre 19° e 22°C, índice pluviométrico acima de 1000 mm anuais, em altitudes acima de 800 m (SEBRAE PR, 2018; IAPAR, 2020). Estas condições edafoclimáticas são consideradas ideais para os cafés da espécie arábica por proporcionar completa maturação do fruto, contribuindo para que o café da região apresente atributos sensoriais de tipicidade e qualidade (BERTRAND et al., 2012).

O Norte Pioneiro dispõe de fortes cooperativas, institutos agronômicos de pesquisa e ainda produtores empenhados para que o crescimento da cafeicultura seja forte e constante, a exemplo da Associação de Cafés Especiais do Norte Pioneiro do Paraná (ACENPP), a Cooperativa de Cafés Especiais e Certificados do Norte Pioneiro do Paraná (COCENPP) e a Associação das Mulheres do Café do Norte Pioneiro do Paraná (AMUCAFÉ), abrangendo 45 municípios e contando com a participação ativa de aproximadamente 300 produtores (G1, 2017). Os principais municípios dessa região produtora de café são Jacarezinho, Ribeirão Claro, Carlópolis, Ibaiti, Abatiá, Joaquim Távora, Pinhalão, Santo Antônio da Platina (IAPAR, 2020).

Sendo importante ressaltar que, em 2012, o Norte Pioneiro recebeu o certificado de Indicação Geográfica e Procedência (IGP), pelo Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI), fornecendo o reconhecimento da identidade e da qualidade de produção empregada aos grãos (INPI, 2015). Além disso, grande parte dos produtores locais são auxiliados por instituições de pesquisa do estado, como o Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), que funciona como suporte às tecnologias e adaptações do manejo para a manutenção do padrão de qualidade dos grãos produzidos (IAPAR, 2019).

4.7.5 Sertão do Pajeú (PE)

Triunfo é um município pernambucano, localizado na macrorregião conhecida como Sertão do Pajeú, e popularmente chamada de “Rainha do Café Sertanejo”. Dentre os municípios

de Pernambuco, é o segundo em produção de café arábica, com destaque para a cultivar *Typica*, com cerca de 70 hectares de produção com colheita direta, tendo produzido 25 toneladas de café no ano safra 2020-2021 (IBGE, 2021).

Esse município, localizado próximo ao cume da Serra da Baixa Verde, se destaca pelo clima tropical de altitude bem estabilizado, com temperatura média anual 21,0 °C, elevada umidade relativa e verões mais chuvosos que o inverno. Esses fatores permitem que haja luz solar aliada à presença de umidade expressiva, fatores considerados importantes para a qualidade dos frutos do café (Figura 5). Além disso, o município conta com outras vantagens para cafeicultura: precipitação pluviométrica média anual de 1082 mm ao ano; altitude de 1010 m acima do nível do mar; aquífero natural subterrâneo que, com correto manejo de irrigação, pode suprir as necessidades hídricas; solo vermelho com composição de minerais necessária ao bom desempenho das plantas; e cultivo com sombreamento, pela presença de árvores nativas da Mata Atlântica, principalmente a "tamboril", árvore de grande porte comum em todo o município (CLIMATE DATA ORG, 2019; FERRAZ, 2018; PREFEITURA DE TRIUNFO, 2017).

Figura 5. Frutos de café, em ponto cereja, do Sítio Lagoa Mariano, Triunfo/PE. Fonte: Acervo *Kaffe, Torrefação e Treinamentos* ®

Para além do cultivo comercial, a agricultura familiar predominante no Sertão do Pajeú, mais especificamente na região abrangida por Triunfo, possui como tradição os cafezais com mais de dois séculos de história (GONÇALVES E VITAL, 2019). Estima-se que cerca de 70% das propriedades agrícolas do Município possuíam pequenos cafezais até o início dos anos 1990. Entretanto, a região foi fortemente atingida por um período de seca, em 1993, e as plantações sofreram com déficit hídrico bastante acentuado, situação que se agravou e se estendeu até meados de 1999, com registros de cafezais completamente extintos no setor oeste no município de Triunfo

(DUARTE, 2001). Este referido período de declínio produtivo fez Triunfo necessitar de incentivos para que sua potencialidade fosse retomada. A partir da década de 2000, foi iniciado um movimento pelos produtores de café, a cidade ganhou novamente a visibilidade merecida, conquistando inclusive o apoio da gestão pública (GONÇALVES; VITAL, 2019).

Com a consolidação desse movimento, a produção cafeeira de Triunfo teve como base a agricultura familiar, que corresponde a 90% da área de cultivo do café, com atuação dos produtores rurais, desde o cooperativismo até projetos de base de produção individual (PERNAMBUCO, 2021). Os agricultores de café do Sertão do Pajeú ainda estão se adaptando à nova realidade de mercado dos cafés especiais, visando grãos mais uniformes e com composição química que possa garantir qualidade e tipicidade sensorial, buscando também automação para as etapas do processamento pós-colheita (GONÇALVES; VITAL, 2019).

Cabe ressaltar, que alguns produtores estabeleceram a produção de café orgânico ou agroecológico, entretanto, ainda sem selo de autenticação. As cultivares arábica mais encontradas nessa região são *Catuaí amarelo, Catuaí vermelho e Typica*, com destaque para esta última (PREFEITURA DE TRIUNFO, 2017). O processo de beneficiamento empregado, de forma geral, é realizado por via seca, alocado em terreiro suspenso e prioriza a necessidade de exposição ao sol durante todo o processo, até o momento adequado para a despolpa. Em seguida, os grãos são armazenados em local seco e arejado, em sacas de estopa revestidas internamente, tendo como produto final um grão bem mais valorizado e que possui as características físico-químicas ideais para a elaboração de bebidas finas, segundo os relatos dos próprios produtores.

Na demarcação cartográfica da cidade, as áreas de produção ativas são divididas em sítios, que abrangem diversos espaços em toda extensão territorial. Na área central, encontra-se o Sítio do Convento São Boaventura, também conhecido como a Sede. Fora deste espaço, estão as comunidades rurais do leste com os Sítios Fortaleza, Espírito Santo, Santa Luzia e Santa Maria; e, ao Oeste do município os Sítios Coroas, Santo Antônio e Brejinho, que representam alguns produtores de maior destaque (FERRAZ, 2018).

Na busca de potencializar a cafeicultura no município de Triunfo, em 2017, a gestão municipal deu início a um projeto de modernização da produção de café já existente em parceria com a Secretaria da Agricultura, Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural, o SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas) e os produtores rurais de café (DANTAS, 2018). O principal objetivo desse projeto foi a qualificação dos produtores e melhoria das técnicas de cultivo e processamento pós-colheita. Além disso, foi estudado o potencial do clima, da altitude e do solo fértil da região no favorecimento da produção de grão com excelência de qualidade e quantidade para suprir um mercado consumidor em expansão (GONÇALVES; VITAL, 2019). Dando continuidade ao projeto de qualificação, em 2018, um convênio de cooperação técnico-

científica foi instituído entre o SEBRAE/PE, a Universidade Federal Rural de Pernambuco, o Instituto Agronômico de Pernambuco e a Secretaria de Agricultura, Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural de Triunfo, com o objetivo de padronizar o sistema de produção, protocolos pós-colheita e qualidade dos grãos de café. Em 2020, foi criada a Associação de Cafeicultores de Triunfo-PE (ASCOF-PE), que direciona os investimentos e realiza a comunicação dos produtores com o poder público e instituições de pesquisa (PREFEITURA DE TRIUNFO, 2021).

Além disso, um evento anual, o "Festival do Café de Triunfo-PE" tem como objetivo potencializar o comércio do café local. Este evento é realizado por uma parceria entre a Prefeitura de Triunfo, a Associação de Cafeicultores de Triunfo (ASCOF), Governo de Pernambuco, através da Secretaria do Trabalho, Emprego e Qualificação, SEBRAE, e o *Kaffe Torrefação e Treinamentos*®, para apresentação dos resultados da última safra, visando a conquista de empresários do setor e novos consumidores (SEBRAE, 2021).

Todas essas ações reforçam a importância da produção de cafés como fator imprescindível para o desenvolvimento do município de Triunfo/PE e arredores por promover a manutenção da agricultura familiar e de pequeno porte e de estabelecimentos rurais, garantindo empregos diretos e indiretos, renda e qualidade de vida à população vinculada à agricultura.

4.8 Composição química do café verde

Os grãos de café verde ou simplesmente café verde são os grãos maduros que passaram pelo processo de beneficiamento, mas que não foram torrados. Esta denominação é decorrente da cor esverdeada que os grãos apresentam antes do processo de torra (Figura 6), se tornando marrons após a torrefação (AGELDIN, 2021).

Figura 6. Grãos de *Coffea arabica* verdes e beneficiados. Fonte: RICE, 2023.

O grão de café antes da torrefação apresenta em sua composição diversos compostos bioativos benéficos à saúde humana (Tabela 1). Dentre estes bioativos, a cafeína, a trigonelina e os ácidos clorogênicos, são os mais importantes, pela relevância e potencial de estimulação metabólica. Além destes o café verde apresenta compostos como os ácidos fenólicos, aldeídos, carboidratos, lipídeos e proteínas, também responsáveis por ações benéficas no organismo humano (MOREIRA, et al. 2000; MOREIRA, et al. 2015), que contribuem com a qualidade sensorial do grão, agregando características de aroma e sabor ao café torrado, em função da degradação da maioria deles (PEREIRA et al., 2010).

Tabela 1. Teor de compostos químicos encontrados em grãos de *Coffea arabica* beneficiados, crus, em g/100 g.

Compostos	**Teor (%)**
Cafeína	0,8 – 1,4
Trigonelina	0,6 – 1,2
Aminoácidos Livres	0,2 – 0,8
Monossacarídeos (glicose, frutose e galactose)	0,2 – 0,5
Oligossacarídeos (sacarose >90%)	6,0 – 9,0
Ácidos não-voláteis (ácido cítrico, málico e quínico)	2,0 – 2,9
Ácidos clorogênicos (ácido 5-cafeoilquínico)	3,0 – 5,6

Fonte: A. Illy, E. Illy, R. Macrae and M. Petracco, 2004. Adaptado.

As diferentes composições químicas observadas em grãos de café verde podem ser responsáveis por características discriminatórias que diferenciam a origem geográfica dos grãos, a cultivar, e as condições de cultivo, ambientais e processamento pós-colheita, funcionando como marcadores de tipicidade (CLARKE, 2003).

4.8.1 Cafeína

A cafeína - 1,3,7-trimetilxantina ($C_8H_{10}N_4O_2$), é um alcaloide purínico (Figura 7) pertencente ao grupo das metilxantinas (TOLEDO et al., 2017), sendo um metabólito secundário presente naturalmente em variadas espécies de frutos, sementes e folhas, a exemplo dos grãos de café crus e torrados (*Coffea sp*.), folhas de chá-verde (*Camilla sinensis*), cacau (*Theobroma cocoa*), no guaraná (*Paullinia cupana*) e na erva-mate (*Ilex paraguayensis*) (AQUINO et al., 2004;

GEBEYEHU e BIKILA, 2015; TURNBULL et al., 2017). Este alcaloide caracteriza-se por ser um pó branco, cristalino, de sabor fortemente amargo, sem aroma e de aspecto brilhante, que nas plantas possuem função de defesa contras insetos e animais predadores (TOLEDO et al., 2017).

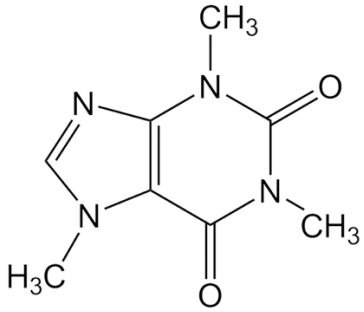

Figura 7. Fórmula química estrutural da cafeína. Fonte: DE MARIA; MOREIRA, 2007.

Assim, a elevada concentração de cafeína nos grãos de café e o consumo mundial de café levaram a diversos estudos da substância psicoativa mais consumida em todo mundo, relacionadas principalmente aos seus efeitos no metabolismo humano. Dentre estes efeitos podem ser destacados: estímulo no sistema nervoso central, com potencial para o aumento do estado de alerta, redução de fadiga e aumento da capacidade de realizar tarefas que demandem atenção (FREDHOLM et al., 1999; GUERRA, et al. 2000), atividades antioxidantes (MARIA e GOMIDE, 2019), anti-inflamatória e diurética (PUBCHEM, 2021). Além disso, estudos já relacionam o consumo diário de café com a prevenção e retardo da progressão de doenças degenerativas não transmissíveis, como o *Parkinson* (ASCHERIO et al., 2001; NOYCE, 2012; CHEN e SCHWARZSCHILD, 2020; KARUPPAGOUNDER, et al., 2021), e esquizofrenia (HUANG e SPERLÁGH, 2021).

Entretanto, é importante salientar que a influência deste composto no metabolismo humano está diretamente condicionada a fatores endógenos e ao estilo de vida (GUERRA, BERNARDO e GUTIÉRREZ, 2000). Em relatos científicos, a ingestão moderada de cafeína por adultos saudáveis em um nível de dose de até 400 mg por dia não está associada a efeitos adversos (WIERZEJSKA, 2012; MARIA e GOMIDE, 2019).

O conteúdo de cafeína, quando falamos de café é uma variável, dependente do tipo de grão (arábica ou robusta), da correlação entre a planta e solos nitrogenados, uma vez que a cafeína é um composto que contém nitrogênio; das altitudes de cultivo, que influenciam o grau de insolação nas plantas; grau de maturação do fruto, além do processo de torra aplicado aos grãos crus, podendo representar até 1,2% dos grãos de *Coffea arabica* e 2,2% dos grãos de *Coffea robusta* verdes (ASHIHARA, 2006; DALMOLIN, 2007; GEBREKIDAN et al. 2019). Cabe ressaltar que a cafeína também contribui para o amargor característico da bebida, pois é um composto naturalmente amargo e suas concentrações mais altas podem levar a um café desequilibrado

sensorialmente (TRUGO; MACRAE, 1984).

4.8.2 Trigonelina

A trigonelina (FIGURA 8) é um alcaloide, hidrossolúvel, termossensível, de interesse em diversos estudos analíticos que envolvem grãos de café, pelas suas conhecidas propriedades antioxidantes naturais e seus produtos derivados (FROST-MEYER, 2012). Naturalmente, o grão cru de café pode possuir de 0,6% a 1,2% de trigonelina em sua forma íntegra (MARIA e GOMIDE, 2019).

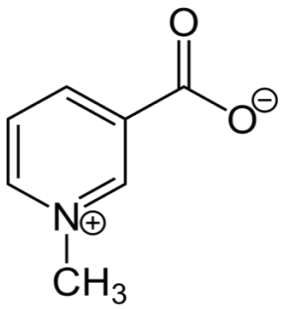

Figura 8. Fórmula química estrutural da trigonelina. Fonte: WIKIPEDIA, 2022.

No café o interesse majoritário está relacionado a sua degradação durante a torrefação, uma vez que cerca de 60% do teor inicial de trigonelina decompõe-se a aproximadamente 160 ºC, com formação de dióxido de carbono, água e outras classes de compostos orgânicos (SHAO X, et al., 2019). Dentre as classes de compostos orgânicos formados durante a pirólise temos as piridinas, que auxiliam em aspectos aromáticos do café (notas de doce, terroso e caramelo) e gustativos, a exemplo do gosto amargo, da adstringência e do sabor de torrado, da bebida extraída dos grãos torrados (ILLY & VIANI, 1995).

Além disso, ocorre o processo de conversão da trigonelina em ácido nicotínico, composto precursor do complexo vitamínico B, que atua sobre receptores específicos diminuindo a liberação de ácidos graxos do tecido adiposo (MAZZAFERA, 1991). Assim, alguns estudos apresentam a trigonelina como composto de funções neuroprotetoras, contribuindo na função da memória cerebral em camundongos modelo afetados pela doença de Alzheimer (NIKBAKHT, et al., 2019; FARID, et al., 2020); e, demonstrando efeitos hipoglicêmicos, com diminuição de danos renais, causados pela sobrecarga de insulina no sangue, em ratos diabéticos (SHAO X, et al., 2019).

Além disso, seu teor está diretamente relacionado a fatores ambientais, principalmente ao processo de maturação lenta das bagas de café, que acontece quando o cultivo é realizado em grandes altitudes e associado a pluviometria elevada, permitindo por sua vez, que as frutas produzam e acumulem mais metabólitos importantes, a exemplo da trigonelina (LAVIOLA, et al., 2007; GEBREKIDAN et al. 2019; WORKU, et al, 2023). Ainda, a trigonelina é uma *N*-metil

betaína, importante para o sabor e aroma do café (MOREIRA; TRUGO; DE MARIA, 2000), e contribui para o aroma por meio da formação de produtos de degradação, agregando aroma de torra à bebida (GEBREKIDAN et al. 2019).

4.8.3 Ácidos clorogênicos

Os ácidos clorogênicos são formados por um conjunto complexo de ácidos fenólicos, uma ampla categoria de metabólitos secundários de origem vegetal. São naturalmente encontrados nos grãos arábicas, podendo variar de 6% a 12% da composição do grão ainda cru (FARAH; DONANGELO, 2006) e seus níveis de concentração nos grãos estão ligados à espécie de café, condições climáticas e estágio de maturação dos grãos, que diminuem à medida que o fruto amadurece (MAZZAFERA, 1999; MORI et al. 2001).

A aplicação de calor intenso degrada os ácidos clorogênicos, de modo que as quantidades remanescentes nos grãos de café torrado variam de 0,5% a 7%, dependendo do tipo de grão, do processo e da intensidade da torra, este aquecimento tem influência na formação de compostos derivados, resultantes principalmente da reação de *Maillard* (FARAH e DONANGELO, 2006).

Estes ácidos são destacados por sua ação antioxidante, que está relacionada a estrutura química aromática das moléculas componentes, que são formadas pela esterificação do ácido quínico com um dos ácidos trans-cinâmicos: cafeico, ferúlico, sinápico ou *p*-cumárico (CLIFFORD, 1989). Os ácidos clorogênicos podem ser classificados de acordo com o número, tipo e posição dos resíduos acila, sendo eles: mono ésteres (ácidos cafeoilquínicos, CQA; cumaroilquínicos, pCoQA e feruloilquínicos, FQA); di ésteres (diCQA), tri ésteres (triCQA) e tetra ésteres (tetraCQA) e ainda ésteres mistos dos ácidos cafeico e ferúlico (ácidos cafeiol-feruloilquínicos, CFQA). Os mais comuns e conhecidos são os monos ésteres do ácido cafeoilquínico, principalmente o ácido 5-cafeoilquínico (5-CQA) (FARAH; DONANGELO, 2006).

O ácido 5-cafeoilquínico é um composto fenólico, termolábil, hidrossolúvel, reconhecido pelas suas propriedades antioxidantes (MURTHY e NAIDU, 2012; SEGHETO, et. al, 2018; LI et. al, 2020; HAMED et al., 2020), efeitos anti-inflamatórios e antialérgicos (CAMPA et al., 2012; ZHENG et al, 2021), sendo de grande relevância para estudos que verificam compostos bioativos dos grãos e da bebida do café (MARCUCCI, 2013).

A principal fonte de ácidos clorogênicos e, consequentemente, 5-CQA na dieta ocidental é o café (CLIFFORD, 2000). Consumidores da bebida podem ter uma ingestão diária de até 1 g de ácidos clorogênicos, uma vez que 200 mL de café podem conter de 70 a 350 mg dos mesmos. O organismo humano não apresenta mecanismos específicos para o acúmulo ou retenção dos

compostos fenólicos a curto prazo, estes são reconhecidos e tratados como os xenobióticos, sendo metabolizados de forma a serem rapidamente excretados após cumprimento de suas funções (OLIVEIRA e BASTOS, 2011).

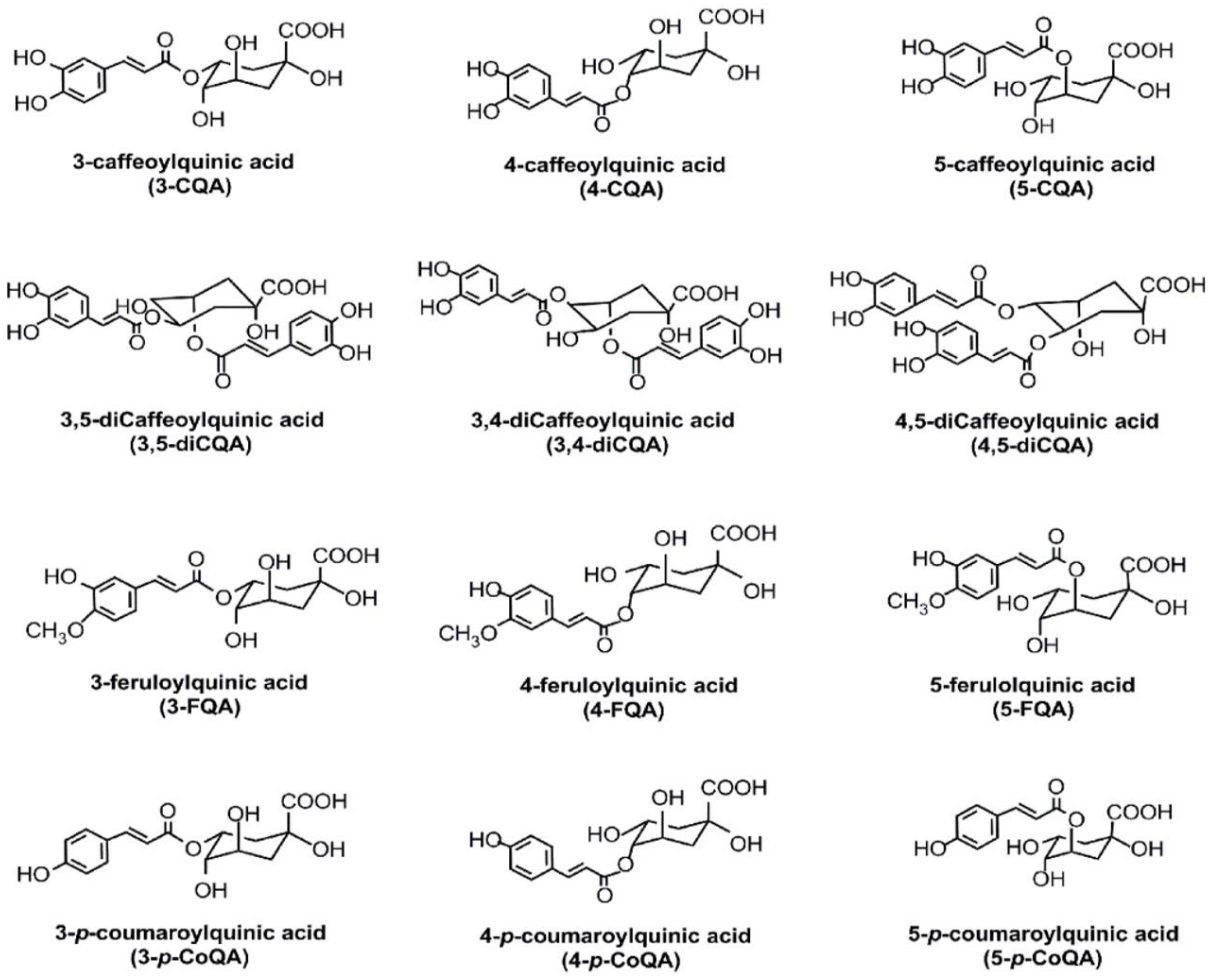

Figura 9. Estruturas químicas dos principais ácidos clorogênicos presentes nos grãos de café, incluindo os ácidos cafeoilquínicos (CQA), dicafeoilquínicos (diCQA), feruloilquínicos (FQA) e cumaruloilquínicos (*p*-CoQA). Fonte: LIANG; KITTS, 2015.

Estudos de Ribeiro et al. (2016) relatam que o ácido 3-cafeoilquínico (3-CQA), assim como a trigonelina, sofrem influência positiva quando o café é cultivado em altitudes acima de 1200 m. Os cafés cultivados abaixo de 1200 m, mesmo com declive voltado inteiramente para o sol, têm uma tendência em grãos de café cru com níveis mais baixos desses metabólitos.

Além disso, sensorialmente, os ácidos clorogênicos são grandes contribuintes da pigmentação em tons de marrom escuro do café, formação de aromas de torra e adstringência, assim como sua degradação térmica, ocorrida durante o processo de torra, resulta em lactonas, substâncias fenólicas que contribuem para a amargor (TRUGO; MACRAE, 1984; FARAH et al., 2006).

5. Materiais e Métodos

5.1 Amostras de cafés

As amostras de grãos verdes de cafés arábicas foram adquiridas por meio de colaboração com Cooperativas instaladas nos estados de interesse, seguindo um protocolo base, visando uma padronização dos grãos. A prioridade foram regiões de produção de cafés arábicas relatadas como áreas consolidadas, pela qualidade, quantidade de sacas produzidas e, em especial, com certificação do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Para busca, foram utilizadas a base de dados semestrais do CONAB, relatórios anuais das Secretarias de Agricultura referentes a cada Estado, dados de Indicação Geográfica e Denominação de Origem, do INPI e listas de classificação e premiações da *Brazilian Specialty Coffee Association*.

Tendo como referencial as amostras do Sertão do Pajeú/PE, todas as demais foram solicitadas seguindo os preceitos: safra de 2021, grãos arábica, diferentes produtores de uma mesma região, plantações sombreadas, cultivadas em condições ambientais e climáticas minimamente similares à região de referência, processadas por via seca e beneficiadas (próximo a data de embalagem e envio). Cabe ressaltar que foram coletadas informações individualizadas a respeito das amostras, uma vez que foram ofertadas por diferentes produtores.

Amostras de quatro estados, além das do Sertão do Pajeú/PE foram recebidas, sendo fornecidas pela:

- Associação de Cafeicultores de Triunfo/PE (Ascof/PE), amostras do Sertão do Pajeú/PE. Sendo 11 amostras, de 9 diferentes produtores – Município de Triunfo/PE (7º50’02.6”S e 38º06’28.0”O), a colheita foi realizada junho a agosto de 2021, com beneficiamento ente setembro e outubro de 2021.
- Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé/MG (Cooxupé), amostras do Sul de Minas Gerais/MG. Sendo 9 amostras, de 9 diferentes produtores - Município de Guaxupé/MG (21°18′13″S e 46°42′31″O), a colheita foi realizada de maio a setembro de 2021, com beneficiamento entre setembro e dezembro de 2021.
- Cooperativa de Cafés Especiais e Agropecuária de Piatã/BA (Coopiatã), amostras da Chapada Diamantina/BA. Sendo 5 amostras, de 5 diferentes produtores - Município de Piatã (13°02'55.5"S e 41°46′6″O), a colheita foi realizada de junho a outubro de 2021, com beneficiamento entre setembro e novembro de 2021.
- Associação das Mulheres do Café do Norte Pioneiro do Paraná (Amucafé), amostras do Norte Pioneiro/PR. Sendo 5 amostras, de 5 diferentes produtores - Município de Joaquim Távora/PR (23°29'36"S e 49°54'25"O), a colheita foi realizada de junho a setembro de 2021, com beneficiamento entre setembro e outubro de 2021.
- Fazenda Camocim (*Camocim Group*), amostras da região de Montanhas do Espírito

Santo/ES. Sendo 5 amostras, de 5 diferentes produtores - Município de Domingos Martins/ES (20º21’50” S e 40°39′35”O), a colheita foi realizada de junho a setembro de 2021, com beneficiamento entre setembro e novembro de 2021.

A Figura 10 apresenta um mapa com a localização geográfica das regiões de coleta de amostras de café. Todas as amostras foram recebidas em lote, separadas individualmente, sendo imediatamente acondicionadas em local seco e arejado, em embalagens de polipropileno. A identificação das amostras, bem como dados de geolocalização, altitude e condições edafoclimáticas são apresentados na tabela 2.

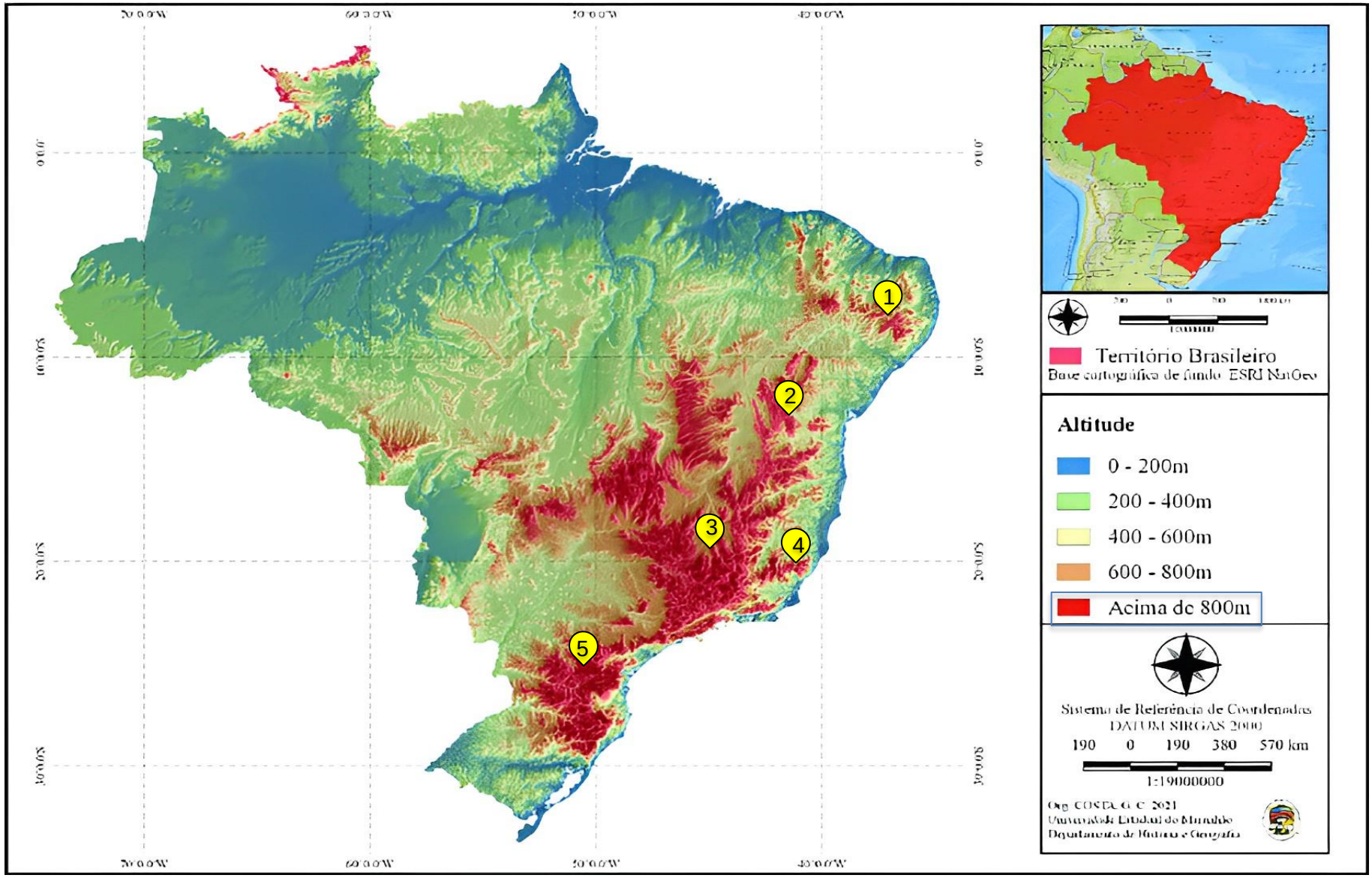

Figura 10. Mapa com a localização geográfica das cinco regiões de coleta de amostras de café verde. Sertão do Pajeú/PE: 1, Chapada Diamantina/BA: 2, Sul de Minas/MG: 3, Montanhas/ES: 4 e Norte Pioneiro/PR: 5. Fonte: COSTA *et al.*, 2022.

Tabela 2. Informações de identificação individuais, como variedade, altitude e condições edafoclimáticas de cultivo, correspondentes às amostras de café verde obtidas nas cinco regiões participantes.

Amostra	Variedade	Altitude (m)	Dados meteorológicos (entre janeiro e outubro de 2021)[1]			
			Pluviosidade total (mm)	Umidade relativa média (%)	Insolação média (h/dia)	Temperatura média (ºC)
Sertão do Pajeú (PE)						
SP/PE-01	*Typica*	1060				
SP/PE-02	*Catuaí vermelho*	1060				
SP/PE-03	*Catuaí amarelo*	1060				
SP/PE-04	*Typica*	950				
SP/PE-05	*Typica*	950				
SP/PE-06	*Typica*	950	514	76,4	7,7	23,7
SP/PE-07	*Typica*	1010				
SP/PE-08	*Catuaí vermelho*	950				
SP/PE-09	*Catuaí Amarelo*	950				
SP/PE-10	*Typica*	1100				
SP/PE-11	*Typica*	950				
Sul de Minas (MG)						
SM/MG-01	*Icatu*	1266				
SM/MG-02	*Topázio*	1242				
SM/MG-03	*Arara*	935				
SM/MG-04	*Catuaí amarelo*	1058				
SM/MG-05	*Catuaí vermelho*	1040	1306	70,9	8,4	20,2
SM/MG-06	*Icatu*	1030				
SM/MG-07	*Mundo novo*	1154				
SM/MG-08	*Bourbon*	1165				
SM/MG-09	*Arara*	1150				
Chapada Diamantina (BA)						
CD/BA-01	*Catuaí 144*	1223				
CD/BA-02	*Catuaí 144*	1223	514	76,4	6,2	19,4
CD/BA-03	*Catuaí 144*	1380				

CD/BA-04	*Catuaí 144*	1240				
CD/BA-05	*Catuaí vermelho*	1260				
			Norte Pioneiro (PR)			
NP/PR-01	*IPR-100*	1200				
NP/PR-02	*Catuaí amarelo*	1280				
NP/PR-03	*IPR-100*	1180	1148	80,8	5,9	19,8
NP/PR-04	*Obatã*	1200				
NP/PR-05	*IPR-107*	1220				
			Montanhas (ES)			
M/ES-01	*Catuaí açú*	1250				
M/ES-02	*Bourbon amarelo*	1250				
M/ES-03	*Catuaí 44 vermelho*	1250	971	76,4	7,8	20,4
M/ES-04	*Icatu amarelo*	1250				
M/ES-05	*Caturra amarelo*	1250				

[1]Dados Histórico Anuais - 2021, do Instituto Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura e Pecuária.
SP/PE: Sertão do Pajeú/PE, SM/MG: Sul de Minas/MG, CD/BA: Chapada Diamantina/BA, NP/PR: Norte Pioneiro/PR e M/ES: Montanhas/ES.

5.2 Local de processamento

As análises de cromatografia líquida de alta eficiência e espectrofotometria foram realizadas nos Laboratórios de Análises Físico-químicas de Alimentos, no Departamento de Ciências do Consumo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco – *Campus Sede* e no Laboratório de Bioprocessos, Prédio de Engenharia de Alimentos, do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Federal de Pernambuco – *Campus Sede*.

5.3 Granulometria

A moagem do café verde ocorreu em moedor Mahlköing GmbH & Co. KG 22047 Hamburg, modelo EK43, em granulometria média-fina, para filtrados, abertura de lâmina 10~11 do aparelho, e foi realizada no *Kaffe Torrefação e Treinamento e Loja Ltda* ®. Após a moagem as amostras foram padronizadas quanto a granulometria, utilizando um agitador eletromagnético de peneiras Bertel, equipado com as peneiras de aberturas 1,7 mm (10 Mesh), 1,18 mm (14 Mesh) e 850 μm (20 Mesh), empilhadas da maior abertura para a menor, sendo utilizado café moído retido na peneira de 20 Mesh (partículas < 850 e $\geq 1{,}18$mm).

A padronização granulométrica foi realizada no Laboratórios de Análises Físico-químicas de Alimentos do Departamento de Ciências do Consumo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco – *Campus Sede*. As amostras foram acondicionadas, individualmente, em sacos de polipropileno e mantidas sob refrigeração até o momento das análises.

5.4 Extração das amostras

Em um béquer de 100 mL foram adicionados 0,2 g de café verde moído, aos quais foram acrescentados 50 mL de água quente, a aproximadamente 90 ºC. Após agitação, a suspensão permaneceu em repouso, durante 10 min. O conteúdo foi transferido para um balão volumétrico de 100 mL, com lavagens sucessivas com água destilada. O balão foi avolumado com água e o conteúdo do resultante foi filtrado em papel de filtro qualitativo, 84/92 g/m3 e, posteriormente, filtrado a 0,22 μm.

O procedimento foi realizado individualmente, o conteúdo transferido para vial, seguindo para as análises cromatográficas (MONTEIRO; TRUGO, 2005 - modificado).

5.5 Determinação de pH

Para a determinação do pH foi utilizado o extrato aquoso, em pHmetro digital. O medidor de pH MYLABOR MY140®, foi calibrado a temperatura ambiente com soluções padrão com pH 7,0 e 9,0 (AOAC, 1990).

5.6 Determinação de atividade antioxidante: ensaio de Folin-Ciocalteu

A concentração de polifenóis totais foi determinada, em uma alíquota de 0,25 mL, realizadas em três replicatas provenientes do mesmo extrato aquoso, utilizando o reagente fenólico Folin-Ciocalteu, estabilizada por 3 minutos e interrompida com solução saturada de carbonato de sódio. A absorbância foi determinada a 725 nm, em espectrofotômetro UV/VIS EDUTEC® com variação de comprimento de onda de 190-1100 nm. Os resultados foram expressos em µg de ácido gálico por 100 mL da amostra, utilizando curva de calibração por regressão linear (y = 0,1332x-0,0153, r^2 = 0,9966) (GIOVANELLI; BURATTI, 2009).

5.7 Determinação de atividade antioxidante: ensaio de DPPH

A atividade antioxidante foi determinada no extrato aquoso por meio do percentual de inibição do radical $DPPH^{\bullet}$. Alíquotas, em três replicatas, do mesmo extrato aquoso de café foram diluídas para reação com solução metanólica de $DPPH^{\bullet}$ (6x10-5 M), por 30 minutos e na ausência de luz, seguida por medida de absorbância 517 nm e cálculo do percentual de inibição (PORGALI; BÜYÜKTUNCEL, 2012).

$$\% \text{ de Inibição} = [(A_{DPPH} - A_{café}) / A_{DPPH}] \times 100$$

Onde, A_{DPPH} : absorbância da solução de $DPPH^{\bullet}$ e metanol,

$A_{café}$: absorbância da amostra.

5.8 Determinação de cafeína e trigonelina

A identificação e quantificação da trigonelina e cafeína foram realizadas por cromatografia líquida de alta eficiência com detector de absorção molecular UV/Vis e coluna analítica Acclaim® 120 Dionex C-18 (250 x 4,6 mm, 5 µm), em análise única. Foi utilizada injeção isocrática, tendo como fase móvel água:metanol (70:30 v/v), fluxo 0,6 mL/min, temperatura de coluna de 36 ºC e comprimentos de onda de 265 nm para trigonelina e 272 nm para cafeína (MONTEIRO; TRUGO, 2005 - modificado). Curva de calibração com padronização externa foram utilizadas para quantificação trigonelina (y=32,385x+11,016, r^2=0,993) e cafeína (y=69,936x+121,55, r^2=0,9983), com faixa de linearidade de 1,88 a 144,0 µg.mL1.

5.9 Determinação de ácidos clorogênicos

A identificação e quantificação de ácidos clorogênicos foram realizadas por cromatografia líquida de alta eficiência, com detector de absorção molecular UV/Vis e coluna analítica Acclaim® 120 Dionex C-18 (250 x 4,6 mm, 5 µm), em análise única. Foi utilizada injeção isocrática, tendo como fase móvel água:metanol (70:30 v/v), fluxo 0,6 mL/min^{-1}, temperatura de coluna de 36 ºC e comprimento de onda de 325 nm (TRUGO, 1984 - modificado). Curva de

calibração com padronização externa foi utilizada para quantificação (y=103,28x+485,64, r^2=0,998), com faixa de linearidade de 10,0 a 100,0 µg.mL^{-1}. Os valores finais foram corrigidos pelos respectivos coeficientes de extinção molar (TRUGO, 1984).

5.10 Análise estatística

As cinco regiões exploradas, foram avaliadas através de agrupamentos, inicialmente submetidos à análise de variância (ANOVA), associado ao teste *Tukey*, a 5% de significância. Os resultados foram expressos como média com desvio-padrão.

A discriminação das amostras agrupadas foi realizada por análise de correlação e por meio da análise de componentes principais (PCA) com base nas interações entre as variáveis estudadas e a influência entre os componentes principais dos grãos arábica; os agrupamentos foram feitos de acordo com as regiões e composições químicas, utilizando o software *GraphPad Prism*®.

ARTIGO ORIGINAL PARA PUBLICAÇÃO

COMPOSIÇÃO BIOATIVA DE GRÃOS VERDES DE CAFÉ ARÁBICA DE DIFERENTES REGIÕES BRASILEIRAS

Resumo

O café, em suas mais diversas formas, é apreciado por milhões de pessoas em todo o mundo. Atualmente, mais de 100 espécies dentro do gênero *Coffea* são catalogadas, sendo a *C. arabica* a mais explorada. A qualidade dos grãos verdes de café está ligada a fatores como: condições de cultivo, clima e processamento pós-colheita. Os grãos possuem um conjunto complexo de componentes químicos, e alguns dos mais influentes são os alcaloides (cafeína e trigonelina), e os compostos fenólicos, em especial os ácidos clorogênicos, que são os principais responsáveis pela atividade antioxidante da bebida de café. Dentro do contexto regional, Triunfo, município brasileiro localizado no Sertão do Pajeú, Pernambuco, tem se destacado no cenário cafeicultor do estado pela produção de café arábica. Nesse cenário, esta pesquisa objetivou a caracterização do perfil de compostos químicos bioativos e atividade antioxidante de amostras de grãos verdes de café arábica, oriundas do Sertão do Pajeú (PE), e sua comparação com amostras de outras quatro regiões produtoras do Brasil, sob condições de cultivo e tratamento pós-colheita similares. Análises cromatográficas e espectrofotométricas foram utilizadas para caracterização das amostras provenientes de regiões produtoras de Pernambuco (Sertão do Pajeú), Minas Gerais (Sul de Minas), Bahia (Chapada Diamantina), Espírito Santo (Montanhas) e Paraná (Norte Pioneiro), totalizando 35 amostras de café verde. Os dados foram submetidos à análise multivariada para observar possíveis influências das condições edafoclimáticas específicas de cada região na composição química e atividade antioxidante do café. Os teores de trigonelina e a atividade antioxidante parecem ter sido influenciados pelas condições de cultivo, em especial a altitude e a temperatura média regionais. O Sertão do Pajeú/PE se destacou como a região cujas amostras apresentaram altos valores de atividade antioxidante, sendo esse parâmetro o principal para a distinção do café dessa região em comparação com as demais estudadas.

Palavras-chave: cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos, café brasileiro, bioma caatinga, análise multivariada, cromatografia líquida.

Abstract

Coffee, in its most diverse forms, is enjoyed by millions of people around the world. Currently, more than 100 species within the genus *Coffea* are catalogued, with *C. arabica* being the most

exploited. The quality of green coffee beans is linked to factors such as: growing conditions, climate, and post-harvest processing. The beans have a complex set of chemical components, and some of the most influential are alkaloids (caffeine and trigonelline), and phenolic compounds, especially chlorogenic acids, which are mainly responsible for the antioxidant activity of the coffee beverage. Within the regional context, Triunfo, a Brazilian municipality located in the Sertão do Pajeú, Pernambuco, has stood out in the coffee growing scenario of the state for the production of Arabica coffee. In this scenario, this research aimed to characterize the profile of bioactive chemical compounds and antioxidant activity of samples of green arabica coffee beans, from the Sertão do Pajeú (PE), and their comparison with samples from four other producing regions of Brazil, under cultivation conditions and similar post-harvest treatment. Chromatographic and spectrophotometric analyses were used to characterize the samples from the producing regions of Pernambuco (Sertão do Pajeú), Minas Gerais (Sul de Minas), Bahia (Chapada Diamantina), Espírito Santo (Montanhas) and Paraná (Norte Pioneiro), totaling 35 green coffee samples. The data were submitted to multivariate analysis to observe possible influences of the specific edaphoclimatic conditions of each region on the chemical composition and antioxidant activity of coffee. The trigonelline contents and the antioxidant activity seem to have been influenced by the cultivation conditions, in particular the regional altitude and average temperature. The Sertão do Pajeú/PE stood out as the region whose samples showed high values of antioxidant activity, this parameter being the main one for distinguishing coffee from this region compared to the others studied.

Keywords: caffeine, trigonelline, chlorogenic acids, Brazilian coffee, Caatinga biome, multivariate analysis, liquid chromatography.

1. Introdução

O café, é a segunda bebida mais consumida no mundo. Provém de sementes torradas do fruto do cafeeiro, árvores pertencentes à família botânica Rubiaceae (BAEet al., 2014). Mais de 100 espécies dentro do gênero *Coffea* são catalogadas, sendo a *C. arabica* a mais vantajosa economicamente (HERRERA e LAMBOT, 2017).

Tradicionalmente, o café é uma planta cultivada em regiões tropicais (WINSTON et al., 2005) e a espécie *arabica* evolui de forma eficiente em altitudes superiores a 1000 m, temperatura média entre 18 ºC e 24 ºC e precipitações pluviométricas acima de 1000 mm/ano (FRANCA e OLIVEIRA, 2019). Levando em consideração esses fatores, alguns estados brasileiros se destacam no mercado de cafés especiais, como Minas Gerais, Espírito Santo, Paraná e Bahia (AFFONSO, 2017).

Dentro deste contexto, a zona rural do município pernambucano de Triunfo, localizado no bioma Caatinga, mesorregião do Sertão do Pajeú, é o segundo maior produtor de café arábica do estado de Pernambuco, e apresenta condições climáticas e altitude que favorecem a cafeicultura, possuindo um clima tropical, temperatura média anual de 21,0 °C, precipitação média anual de 1082 mm, além de estar a uma altitude de 1010 m (CLIMATE DATA ORG, 2019). Tais características, tornam a região uma latente potência no cenário da cafeicultura de Pernambuco e do Brasil, em relação a produção de cafés arábicas.

Para investigar a qualidade do café, devem ser levados em consideração os fatores edafoclimáticos do local de produção, a espécie, a cultivar e o sistema de secagem, uma vez que interações com o ambiente de cultivo interferem quantitativamente em alguns componentes químicos dos grãos de café (MALTA; CHAGAS, 2009). Esses compostos incluem cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos (CGA), que reagem a todas as etapas do processamento do café (KATHURIMA et al., 2010). Além disso, a cafeína, a trigonelina e em especial os ácidos clorogênicos (CGA) nos grãos verdes são pesquisados pelos efeitos benéficos à saúde, como efeitos anti-inflamatórios, antiobesidade, observados em estudos in vivo com animais e humanos (TAJIK, et al., 2017; MACHEIRNER, et al. 2019).

Neste contexto, o objetivo deste artigo é investigar se os teores de cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos encontrados nos grãos de café arábica, oriundos de Triunfo – PE, podem ser comparados a grãos de outras regiões produtoras de café do Brasil, tendo em vista a similaridade de qualidade das condições de cultivo e colheita empregadas.

2. Material e Métodos

2.1 Amostras

As amostras de grãos verdes de cafés arábica foram adquiridas por meio de colaboração com cooperativas instaladas nos estados de Pernambuco, Minas Gerais, Bahia, Paraná e Espírito Santo. A prioridade foram amostras de regiões do Brasil com certificação do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), safra 2021, com processamento via seca, de produtores diferentes da uma mesma região. Totalizando 35 amostras, sendo: 11 - Sertão do Pajeú/PE, 9 - Sul de Minas/MG, 5 - Chapada Diamantina/BA, 5 - Norte Pioneiro/PR, 5 - Montanhas/ES.

2.2 Granulometria

A moagem do café verde ocorreu em moedor Mahlköing GmbH & Co. KG 22047 Hamburg, modelo EK43, em granulometria média-fina, para filtrados, abertura de lâmina 10~11 do aparelho, e foi realizada no *Kaffe Torrefação e Treinamento e Loja Ltda* ®. A padronização de granulometria, foi realizada utilizando um agitador eletromagnético de peneiras Bertel,

equipado com as peneiras de aberturas 1,7 mm (10 Mesh), 1,18 mm (14 Mesh) e 850 μm (20 Mesh), empilhadas da maior abertura para a menor, sendo utilizado café moído retido na peneira de 20 Mesh (partículas < 850 e ≥ 1,18mm). As amostras foram acondicionadas, individualmente, em sacos de polipropileno e mantidas sob refrigeração até o momento das análises.

2.3 Extração das amostras

Em um béquer de 100 mL foram adicionados 0,2 g de café verde moído, aos quais foram acrescentados 50 mL de água quente, a aproximadamente 90 ºC. Após agitação, a suspensão permaneceu em repouso, durante 10 min. O conteúdo foi transferido para um balão volumétrico de 100 mL, com lavagens sucessivas com água destilada. O balão foi avolumado com água e o conteúdo do resultante foi filtrado em papel de filtro qualitativo, 84/92 g/m^3 e, posteriormente, filtrado a 0,22 μm.

O procedimento foi realizado individualmente, o conteúdo transferido para vial, seguindo para as análises cromatográficas (MONTEIRO; TRUGO, 2005 - modificado).

2.4 Determinação de pH

Para a determinação do pH foi utilizado o extrato aquoso, em pHmetro digital. O medidor de pH MYLABOR MY140®, foi calibrado a temperatura ambiente com soluções padrão com pH 7,0 e 9,0 (AOAC, 1990).

2.5 Determinação de atividade antioxidante: ensaio de DPPH

A concentração de polifenóis totais foi determinada, em uma alíquota de 0,25 mL, realizadas em três replicatas provenientes do mesmo extrato aquoso, utilizando o reagente fenólico Folin-Ciocalteu, estabilizada por 3 minutos e interrompida com solução saturada de carbonato de sódio. A absorbância foi determinada a 725 nm, em espectrofotômetro UV/VIS EDUTEC® com variação de comprimento de onda de 190-1100 nm. Os resultados foram expressos em μg de ácido gálico por 100 mL da amostra, utilizando curva de calibração por regressão linear ($y = 0,1332x - 0,0153$, $r^2 = 0,9966$) (GIOVANELLI; BURATTI, 2009).

2.6 Determinação de atividade antioxidante: ensaio de DPPH

A atividade antioxidante foi determinada no extrato aquoso por meio do percentual de inibição do radical $DPPH^{\bullet}$. Alíquotas, em três replicatas, do mesmo extrato aquoso de café foram diluídas para reação com solução metanólica de $DPPH^{\bullet}$ ($6x10^{-5}$ M), por 30 minutos e na ausência de luz, seguida por medida de absorbância 517 nm e cálculo do percentual de inibição (PORGALI; BÜYÜKTUNCEL, 2012).

$$\% \text{ de Inibição} = [(A_{DPPH} - A_{café}) / A_{DPPH}] \times 100$$

Onde, A_{DPPH}: absorbância da solução de $DPPH^{\bullet}$ e metanol,

$A_{café}$: absorbância da amostra.

2.7 Determinação de cafeína e trigonelina

A identificação e quantificação da trigonelina e cafeína foram realizadas por cromatografia líquida de alta eficiência com detector de absorção molecular UV/Vis e coluna analítica Acclaim® 120 Dionex C-18 (250 x 4,6 mm, 5 µm). Foi utilizada injeção isocrática, tendo como fase móvel água:metanol (70:30 v/v), fluxo 0,6 mL/min, temperatura de coluna de 36 ºC e comprimentos de onda de 265 nm para trigonelina e 272 nm para cafeína (MONTEIRO; TRUGO, 2005 - modificado). Curva de calibração com padronização externa foram utilizadas para quantificação trigonelina (y=32,385x+11,016, r^2=0,993) e cafeína (y=69,936x+121,55, r^2=0,9983), com faixa de linearidade de 1,88 a 144,0 µg.mL1.

2.8 Determinação de ácidos clorogênicos

A identificação e quantificação de ácidos clorogênicos foram realizadas por cromatografia líquida de alta eficiência, com detector de absorção molecular UV/Vis e coluna analítica Acclaim® 120 Dionex C-18 (250 x 4,6 mm, 5 µm). Foi utilizada injeção isocrática, tendo como fase móvel água:metanol (70:30 v/v), fluxo 0,6 mL/min, temperatura de coluna de 36 ºC e comprimento de onda de 325 nm (TRUGO, 1984 - modificado). Curva de calibração com padronização externa foi utilizada para quantificação (y=103,28x+485,64, r^2=0,998), com faixa de linearidade de 10,0 a 100,0 µg/mL. Os valores finais foram corrigidos pelos respectivos coeficientes de extinção molar (TRUGO, 1984).

2.9 Análise estatística

As cinco regiões exploradas, foram avaliadas através de agrupamentos, inicialmente submetidos à análise de variância (ANOVA), associado ao teste *Tukey*, a 5% de significância. Os resultados foram expressos como média com desvio-padrão.

A discriminação das amostras agrupadas foi realizada por análise de correlação e por meio da análise de componentes principais (PCA) com base nas interações entre as variáveis estudadas e a influência entre os componentes principais dos grãos arábica; os agrupamentos foram feitos de acordo com as regiões e composições químicas, utilizando o software *GraphPad Prism*®.

3. Resultados e Discussão

3.1 Trigonelina e cafeína

Na tabela 3, são apresentados os teores de trigonelina e cafeína, correspondentes às amostras individuais de cada região estudada.

Tabela 1. Teores de trigonelina e cafeína das amostras individuais (g/100 g de base úmida).

Amostra	Trigonelina	Cafeína
Sertão do Pajeú (PE)		
SP/PE-01	0,92	1,48
SP/PE-02	0,45	0,83
SP/PE-03	0,77	1,23
SP/PE-04	0,68	0,84
SP/PE-05	0,63	0,58
SP/PE-06	0,08	1,08
SP/PE-07	0,05	1,23
SP/PE-08	0,72	1,35
SP/PE-09	0,13	1,21
SP/PE-10	0,60	0,86
SP/PE-11	0,50	0,98
Sul de Minas (MG)		
SM/MG-01	0,77	1,22
SM/MG-02	0,72	1,11
SM/MG-03	0,83	1,39
SM/MG-04	0,76	1,16
SM/MG-05	0,89	1,35
SM/MG-06	0,72	0,94
SM/MG-07	0,73	1,33
SM/MG-08	0,79	1,49
SM/MG-09	0,67	0,92
Chapada Diamantina (BA)		
CD/BA-01	0,81	1,00
CD/BA-02	0,91	1,07
CD/BA-03	0,78	1,21
CD/BA-04	0,88	1,19
CD/BA-05	0,86	1,09
Norte Pioneiro (PR)		
NP/PR-01	1,01	1,03
NP/PR-02	1,05	1,27
NP/PR-03	0,97	1,16
NP/PR-04	0,79	1,25
NP/PR-05	0,89	1,40
Montanhas (ES)		
M/ES-01	0,75	1,02
M/ES-02	0,78	1,49
M/ES-03	0,68	1,00
M/ES-04	0,69	1,35
M/ES-05	0,67	1,22

Sabe-se que as regiões produtoras de café apresentam condições ecológicas distintas em função de sua geolocalização, o que afeta o comportamento bioquímico das plantas e,

consequentemente, as características físico-químicas dos frutos, possivelmente ocasionando mudanças na composição química, especialmente de compostos do metabolismo secundário (CARVAJAL, 1984).

No caso das amostras coletadas neste estudo, de modo geral, a altitude variou de 950 m a 1380 m acima do nível do mar, proporcionando ambientes distintos, inclusive numa mesma região cafeeira, a exemplo do Sul de Minas, com amostras cultivadas em altitudes desde 935 m e chegando até 1266 m.

A altitude considerada ideal para o cultivo de cafés arábicas está compreendida entre 1.000 e 1.200 metros, mas o cafeeiro consegue se adaptar em altitudes que ultrapassem os 400 metros, com a condição de que o cafezal seja sombreado (QUEIROGA, 2021). Além disso, a altitude em que se encontram os cafés tem influência direta nas temperaturas médias, umidade, radiação e outros fatores ambientais que impactam tanto as características das árvores quanto a composição dos frutos (PEREIRA, et al. 2018).

Neste contexto, este estudo apresenta como resultados teores de trigonelina diferentes nas amostras individuais, em relação a cada uma das regiões. Ao observarmos a tabela 3, é possível inferir que as amostras oriundas do Norte Pioneiro se destacam apresentam valores maiores do que as amostras das demais localidades exploradas, variando entre 0,79 g/100 g (NP/PR-04) e 1,05 g/100 g (NP/PR-02) (em base úmida), com uma média nessa região de 0,97 g/100 g. Os valores individuais e a média estão em consonância com os resultados relatados na literatura. Stennert, et al. (1994) relataram que o teor de trigonelina de grãos arábicas variou de 0,79 g/100 g a 1,06 g/100 g, entre as amostras de cafés verdes, provenientes da região alemã de Brunsvique. Enquanto, Mengistu, et al. (2020) relataram que o teor de trigonelina variou de 0,87 g/100 g a 1,11 g/100 g, entre diferentes cultivares de café arábica verdes, da região de Amhara, no noroeste da Etiópia, e Illy, et al. (2005), relatam teores de trigonelina entre 0,6 g/100 g a 1,2 g/100 g para grãos arábicas crus.

Em contrapartida, três amostras do Sertão do Pajeú/PE apresentaram os menores índices de trigonelina encontrados na pesquisa, com valores de 0,05 g/100 g, 0,08 g/100 g e 0,13 g/100 g. Em tempo, estas amostras são inferiores aos teores mínimos descritos na literatura por Illy, et al. (2004), com 0,6~1,2 g/100 g de grão cru, e Clarke (2003), com 0,5~1,0 g/00 g de grão cru. Além disto, nas buscas realizadas em bases de dados como *Scopus, Google Scholar e Periódicos Capes,* não foram encontrados artigos com citação de valores em níveis comparáveis para este composto, em cafés arábica. Cabe destacar que essas amostras foram analisadas por uma segunda vez, sendo os resultados confirmados.

Entretanto, é possível notar que a região pernambucana apresenta amostras com teores distintos de trigonelina, até mesmo para variedades idênticas de café cultivadas, uma vez que as

demais amostras se encontram acima de 0,45 g/100 g, como também foram encontradas amostras com valores entre 0,72 g/100 g e 0,93 g/100 g, fechando a média regional em 0,60 g/100 g. Estes resultados conversam com níveis apresentados pelos estudos de Vignoli, et al. (2014), com 0,3~1,4 g/100 g encontrados em grãos arábica crus.

É importante salientar que as demais regiões estudadas apresentaram teores condizentes com as faixas estabelecidas pela literatura (Illy, 2004; Clarke, 2003b), com destaque para as amostras da Chapada Diamantina/BA com valores entre 0,81 g/100 g e 0,91 g/100 g (com média regional de 0,86 g/100 g), além do Sul de Minas/MG com valores entre 0,67 g/100 g e 0,89 g/100 g (com média regional de 0,76 g/100 g), e Montanhas/ES, com valores entre 0,67 g/100 g e 0,79 g/100 g (com média regional de 0,69 g/100 g).

Ainda nos resultados da tabela 3, é possível observar os teores de cafeína. Apesar de possuírem variações, entre as regiões e as variedades cultivadas, os teores não variam da mesma maneira que os teores de trigonelina. Cabe destacar que todos os valores encontrados correspondentes às amostras do Sul de Minas/MG, da Chapada Diamantina/BA, Norte Pioneiro/PR, Montanhas/ES e grande parcela das amostras do Sertão do Pajeú/PE apresentaram valores acima de 0,92 g/100 g, com máximos de 1,48 g/100 g no Sertão do Pajeú/PE e 1,49 g/100 g no Sul de Minas/MG e Montanhas/ES. Estes resultados são comparáveis aos teores de cafeína encontrados por Perrone, et al. (2008a), de 0,91 g/100 g, por Chagas, et al. (1994) em amostras do Sul de Minas Gerais, entre 0,85 g/100 g e 1,17 g/100 g, e por Ferreira (2010), com 1,13 g/100 g. Além disso, os teores encontrados no presente estudo encontram-se dentro da faixa estabelecida por Illy, et al (2004), de 0,8 a 1,4 g/100 g cafeína para grãos arábicas crus.

Considerando-se todas as amostras de forma individualiza, o menor teor de cafeína encontrado foi de 0,58 g/100 g. Apesar desse teor ser inferior àquele relatado pelos autores supracitados, está dentro da faixa de teores de cafeína em grãos arábica crus, descrita recentemente por Getachew et al (2022), de 0,5 a 2,3 g/ 100 g.

3.2 Ácidos clorogênicos

Na tabela 4 são apresentados os teores de ácidos clorogênicos nas amostras estudadas. É possível verificar que os valores, assim como trigonelina e cafeína, variam independentemente do local de origem, e entre as variedades de café dentro de uma mesma região.

Tabela 2. Teores de ácidos clorogênicos das amostras individuais de café verde (g/100 g base úmida).

Amostra	3-CQA	5-CQA	4-CQA	3-FQA	5-FQA	4-FQA	3,4-diCQA	3,5-diCQA	4,5- diCQA
Sertão do Pajeú (PE)									
SP/PE-01	0,64	2,68	0,87	0,27	0,48	0,27	0,28	0,23	0,22
SP/PE-02	0,50	1,89	0,69	0,29	0,42	0,32	0,28	0,33	0,26
SP/PE-03	0,56	2,42	0,75	0,33	0,38	0,39	0,28	0,28	0,24
SP/PE-04	0,45	0,73	0,38	0,35	0,38	0,31	0,28	0,26	0,23
SP/PE-05	0,50	1,18	0,55	0,36	0,35	0,27	0,25	0,25	0,24
SP/PE-06	0,61	2,06	1,20	0,32	0,30	0,28	0,25	0,22	0,21
SP/PE-07	0,57	1,49	1,45	0,30	0,28	0,27	0,23	0,25	0,24
SP/PE-08	0,44	0,88	0,44	0,29	0,46	0,49	0,28	0,27	0,26
SP/PE-09	0,47	1,92	0,67	0,40	0,35	0,28	0,25	0,25	0,22
SP/PE-10	0,42	1,56	0,55	0,38	0,36	0,31	0,35	0,24	0,26
SP/PE-11	0,64	1,95	0,74	0,30	0,33	0,50	0,28	0,23	0,22
Sul de Minas (MG)									
SM/MG-01	0,62	1,95	0,98	0,34	0,38	0,31	0,28	0,31	0,30
SM/MG-02	0,50	1,53	0,66	0,41	0,27	0,30	0,26	0,26	0,21
SM/MG-03	0,53	1,83	0,77	0,27	0,28	0,28	0,24	0,25	0,22
SM/MG-04	0,47	2,26	0,40	0,29	0,31	0,30	0,33	0,28	0,24
SM/MG-05	0,43	2,15	0,48	0,36	0,32	0,31	0,26	0,23	0,22
SM/MG-06	0,39	2,38	0,60	0,32	0,45	0,33	0,27	0,27	Nd
SM/MG-07	0,53	2,09	0,57	0,30	0,35	0,29	0,36	0,27	0,24
SM/MG-08	0,49	2,55	0,56	0,33	0,30	0,38	0,28	0,29	0,28
SM/MG-09	0,53	2,05	0,64	0,34	0,29	0,35	0,24	0,32	0,28
Chapada Diamantina (BA)									
CD/BA-01	0,53	1,79	0,58	0,26	0,27	0,30	0,22	0,27	0,24
CD/BA-02	0,52	1,93	0,61	0,26	0,28	0,29	0,26	0,25	0,24
CD/BA-03	0,50	2,20	1,05	0,26	0,34	0,34	0,24	0,24	0,22
CD/BA-04	0,58	1,79	1,02	0,42	0,34	0,35	0,32	0,29	0,28
CD/BA-05	0,53	2,55	0,96	0,35	0,43	0,34	0,26	0,25	0,25
Norte Pioneiro (PR)									
NP/PR-01	0,59	1,70	0,56	0,34	0,38	0,58	0,32	0,33	0,30

NP/PR-02	0,58	1,80	0,65	0,35	0,34	0,42	0,33	0,31	0,29
NP/PR-03	0,54	1,26	0,57	0,29	0,35	0,49	0,31	0,33	0,29
NP/PR-04	0,51	1,81	0,58	0,41	0,33	0,32	0,32	0,28	0,29
NP/PR-05	0,71	2,00	0,81	0,32	0,26	0,38	0,27	0,26	0,27
Montanhas (ES)									
M/ES-01	0,53	1,21	0,63	0,63	0,30	0,34	0,25	0,25	0,28
M/ES-02	0,53	1,76	0,66	0,32	0,32	0,35	0,29	0,29	0,26
M/ES-03	0,55	2,59	0,72	0,30	0,32	0,47	0,41	0,33	0,23
M/ES-04	0,47	2,32	0,66	0,31	0,32	0,41	0,29	0,31	0,22
M/ES-05	0,45	1,80	0,68	0,31	0,33	0,42	0,28	0,27	0,25

3-CQA: ácido 3-cafeoilquínico; 4-CQA: ácido 4-cafeiolquínico; 5-CQA: ácido 5-cafeiolquínico; 3-FQA: ácido 3-feruloilquínico; 4-FQA: ácido 4-feruloilquínico; 5-FQA: ácido 5-feruloilquínico; 3,4-diCQA: ácido 3,4-dicafeiolquínico; 3,5-diCQA: ácido 3,5-dicafeiolquínico; 4,5-diCQA: ácido 4,5-dicafeiolquínico.

Entre os principais componentes, os valores individuais do ácido 3-cafeoilquínico (3-CQA) ficaram entre 0,42 g/100 g e 0,71 g/100 g, com destaque para o Norte Pioneiro, com a maior média regional sendo 0,59 g/100 g e o Sul de Minas/MG sendo a menor média regional com 0,49 g/100 g. Os valores gerais e individuais estão de acordo com os resultados apresentados por Farah, et al. (2005), que variaram entre 0,47 g/100 g e 0,48 g/100 g.

Para o ácido 5-cafeoilquínico (5-CQA), os valores individuais ficaram entre o mínimo de 0,73 g/100 g e o máximo 2,68 g/100 g, cabendo salientar que as respectivas amostras são do Sertão do Pajeú/PE, com a média regional de 1,70 g/100 g. Para as demais regiões os valores individuais se diferem, com destaque os teores encontrados nas amostras do Sul de Minas/MG e Norte Pioneiro/PR, estas possuem valor médio regional de 2,09 g/100 g e 2,05 g/100 g, respectivamente. No caso deste composto, todos valores encontrados estão abaixo do descrito em outras publicações, como Perrone, et al. (2008), Farah, et al. (2006), Ky, et al. (2001) e Clifford & Ramirez-Martinez (1991).

Os teores do ácido 4-cafeoilquínico (4-CQA), tiveram o mínimo de 0,38 g/100 g e o máximo de 1,45 g/100 g. Neste caso, as amostras também correspondem ao Sertão do Pajeú/PE, com a média regional de 0,75 g/100 g, esta sendo o destaque positivo juntamente com a Chapada Diamantina/BA, que apresentou média regional de 0,84 g/100 g. É importante ressaltar que os valores individuais de todas as regiões estão condizentes ou são superiores aos resultados de Farah, et al. (2006), que relatam valores entre 0,47 g/100 g e 0,54 g/100 g e Salces, et al. (2009), que relatam valores de 0,38 g/100 g para amostras da América Central e 0,37 g/100 g para amostras da América do Sul, em grãos arábica verdes.

No grupo dos ácidos feruloilquínicos (FQA), composto pelo 3-FQA, 5-FQA e 4-FQA, chama atenção que todos os valores individuais, assim como as médias regionais destes compostos, superam os teores relatados por Perrone, et al. (2008), Farah et al. (2006) e Salces, et al. (2009). Já para o grupo dos ácidos dicafeoilquínicos (diCQA), composto pelos ácidos 3,4-diCQA, 3,5-diCQA e 4,5-diCQA, tanto os teores de amostras individuais quanto das médias regionais, por composto, estão de acordo com os valores relatados por Farah, et al. (2005) e Perrone, et al. (2008), com resultados entre 0,23 g/100 g a 0,41 g/100 g de 3,4-diCQA; entre 0,22 g/100 g a 0,33 g/100 g de 3,5-diCQA; e entre 0,21 g/100 g a 0,30 g/100 g de 3,4-diCQA, sendo a região do Norte Pioneiro/PR a que mais se destaca na média regional.

3.3 pH e atividade antioxidante

Na tabela 5 são apresentados os resultados correspondentes ao pH e à atividade antioxidante, medida pelos ensaios de Folin-Ciocalteu e DPPH.

Tabela 3. Valores de pH e de atividade antioxidante (Folin-Ciocalteu e DPPH) das amostras de café verde.

Amostra	pH	Folin-Ciocalteu (g/100 g EAG[1])	DPPH (% inibição)
Sertão do Pajeú (PE)			
SP/PE-01	6,26	1,70 ± 0,02 [b]	83,33 ± 0,30 [d]
SP/PE-02	6,21	1,78 ± 0,02 [a]	82,42 ± 0,62 [d]
SP/PE-03	6,23	1,63 ± 0,02 [c]	90,96 ± 0,45 [c]
SP/PE-04	7,20	1,64 ± 0,01 [c]	84,22 ± 0,30 [d]
SP/PE-05	6,80	1,65 ± 0,01 [c]	82,93 ± 1,04 [d]
SP/PE-06	7,00	1,83 ± 0,02 [a]	91,86 ± 1,63 [bc]
SP/PE-07	6,00	1,65 ± 0,01 [c]	85,11 ± 0,29 [d]
SP/PE-08	7,20	1,53 ± 0,01 [d]	91,86 ± 0,45 [bc]
SP/PE-09	6,79	1,55 ± 0,04 [d]	95,43 ± 1,04 [a]
SP/PE-10	6,95	1,62 ± 0,04 [c]	91,96 ± 0,30 [b]
SP/PE-11	7,13	1,72 ± 0,01 [b]	93,00 ± 0,15 [b]
Sul de Minas (MG)			
SM/MG-01	7,00	1,48 ± 0,01 [b]	75,49 ± 0,45 [a]
SM/MG-02	7,00	1,24 ± 0,02 [e]	74,59 ± 1,37 [ab]
SM/MG-03	6,99	1,35 ± 0,02 [d]	77,13 ± 2,38 [a]
SM/MG-04	5,70	0,67 ± 0,01 [f]	73,21 ± 1,19 [ab]
SM/MG-05	6,68	1,52 ± 0,01 [a]	72,12 ± 3,77 [ab]
SM/MG-06	7,00	1,37 ± 0,01 [d]	78,46 ± 0,75 [a]
SM/MG-07	6,75	1,49 ± 0,02 [ab]	69,64 ± 1,19 [b]
SM/MG-08	6,68	1,41 ± 0,01 [c]	75,59 ± 0,30 [a]
SM/MG-09	6,34	1,40 ± 0,01 [cd]	65,07 ± 1,63 [b]
Chapada Diamantina (BA)			
CD/BA-01	6,87	1,12 ± 0,01 [b]	64,44z ± 0,83 [b]
CD/BA-02	7,00	1,14 ± 0,02 [b]	62,85 ± 2,22 [b]
CD/BA-03	6,64	1,30 ± 0,01 [a]	71,30 ± 2,36 [a]
CD/BA-04	7,22	1,27 ± 0,01 [ab]	70,68 ± 1,75 [a]
CD-BA-06	6,76	1,25 ± 0,01 [b]	73,01± 0,75 [a]
Norte Pioneiro (PR)			
NP/PR-01	6,90	1,41 ± 0,01 [d]	73,64 ± 1,58 [a]
NP/PR-02	7,22	1,44 ± 0,01 [c]	72,90 ± 1,32 [a]
NP/PR-03	7,18	1,32 ± 0,01 [e]	70,36 ± 1,11 [a]
NP/PR-04	6,80	1,50 ± 0,01 [b]	61,58 ± 2,85 [b]
NP/PR-05	6,90	1,70 ± 0,01 [a]	73,54 ± 1,74 [a]
Montanhas (ES)			
M/ES-01	6,31	1,49 ± 0,01	77,13 ± 0,63 [b]
M/ES-02	7,15	1,36 ± 0,01 [b]	78,59 ± 5,35 [ab]
M/ES-03	6,48	0,94 ± 0,01 [d]	56,71 ± 2,06 [c]
M/ES-04	6,13	1,37 ± 0,02 [b]	55,55 ± 0,95 [c]
M/ES-05	7,13	1,07 ± 0,01 [c]	69,83 ± 4,44 [b]

[1]EAG = equivalentes de ácido gálico. Letras diferentes entres as colunas, representam diferenças significativas entre as amostras de uma mesma região.

Observa-se que as amostras apresentam valores entre a ligeira acidez e a neutralidade, variando intra e entre regiões. Os valores de pH variaram entre 5,70 e 7,22, com destaque para a média regional do norte Pioneiro/PR, com o pH 7,0. Segundo Sivetz e Desrosier (1979), a variação

de pH pode influenciar na aceitação final do produto, sugerindo que valores acima de 4,95 para grãos arábicas como ideais.

Os valores encontrados são superiores aos relatados por Chagas, et al (1996), que encontraram valores médios de pH próximos de 5,5 nas amostras avaliadas, de grãos crus de Minas Gerais, assim como aos relatados por Ferreira (2010), que relataram valores de até 5,65, em amostras da Bahia. Em contrapartida, nossos resultados estão de acordo com o estudo de Da Cruz (2016), que relata valores de pH de até 5,86, assim como estão em consonância com o estudo de Barrios (2001), que relata valores de até 6,02 em suas amostras, do Sul de Minas/MG, e o estudo de Lopes (2000), que em diferentes cultivares de grãos arábicas, encontrou valores entre 6,39 e 6,62.

Os resultados apresentados para a atividade antioxidante medida pelo ensaio de Folin-Ciocalteu permitem destacar a região do Sertão do Pajeú/PE, com os maiores valores, entre 1,53 e 1,83 g EAG/100 g, e média regional de 1,66 g EAG/100 g. A região de Montanhas/ES foi a que apresentou a menor média regional, com o valor de 1,19 g EAG/100 g. Os resultados encontrados estão de acordo com aqueles relatados para grãos arábica crus por Da Cruz (2016), com o valor de 1,46 g EAG/100 g. Por outro lado, nossos resultados são menores do que a faixa descrita nas pesquisas de Leite (1991), que relataras valores entre 2,86 e 4,32 g EAG/100 g.

A atividade antioxidante avaliada pelo percentual de inibição do radical DPPH$^{\bullet}$, assim como aquela avaliada pelo ensaio de Folin-Ciocalteu, destaca o Sertão do Pajeú com os maiores valores dentre as amostras desta pesquisa, com valores mínimo e máximo de 82,42% e 95,03% de inibição, respectivamente. Consequentemente, a mesma região também se destaca como possuindo a maior média regional, com 88,01% de inibição. A região de Montanhas/ES foi a que apresentou os menores valores, como valor mínimo de 55,55% de inibição.

3.4 Comparação regional e análise de correlação

Ao relacionar as amostras, obtendo suas médias regionais, em relação às análises realizadas, os dados permitiram que as regiões fossem agrupadas de acordo com seus diferentes compostos químicos, possibilitando inferir sobre a ação do ambiente sobre os teores encontrados. Os resultados estão expostos na tabela 6, onde também são apresentadas: pluviosidade acumulada, temperatura média, insolação média e a umidade relativa média, referentes a cada região.

Tabela 4. Composição química das amostras de café verde agrupadas por região[1].

Parâmetro	Sertão do Pajeú (PE)	Sul de Minas (MG)	Chapada Diamantina (BA)	Norte Pioneiro (PR)	Montanhas (ES)
Pluviosidade total (mm)[2]	514	1306	514	1148	971
Temperatura média (ºC)[2]	23,73 ± 1,33	20,20 ± 2,03	19,46 ± 1,57	19,86 ± 2,16	20,44 ± 2,65
Insolação média (h/dia)[2]	7,71 ± 1,35	7,44 ± 0,62	6,27 ± 1,28	5,98 ± 0,85	7,63 ± 0,52
Umidade relativa média (%)[2]	76,4 ± 0,07	70,9 ± 0,08	76,4 ± 0,04	80,8 ± 0,02	76,4 ± 0,04
Trigonelina[3]	0,50 ± 0,30 [b]	0,77 ± 0,06 [a]	0,85 ± 0,05 [a]	0,94 ± 0,10 [a]	0,71 ± 0,05 [ab]
Cafeína[3]	1,06 ± 0,27 [a]	1,21 ± 0,20 [a]	1,16 ± 0,18 [a]	1,22 ± 0,14 [a]	1,21 ± 0,21 [a]
3-CQA[3]	0,50 ± 0,08 [a]	0,50 ± 0,05 [a]	0,53 ± 0,02 [a]	0,58 ± 0,07 [a]	0,53 ± 0,04 [a]
5-CQA[3]	1,89 ± 0,60 [a]	2,09 ± 0,30 [a]	1,93 ± 0,32 [a]	1,80 ± 0,27 [a]	1,80 ± 0,53 [a]
4-CQA[3]	0,63 ± 0,10 [b]	0,60 ± 0,16 [ab]	0,96 ± 0,22 [a]	0,58 ± 0,10 [ab]	0,66 ± 0,33 [ab]
CQA totais[3]	2,99 ± 0,87 [a]	3,21 ± 0,27 [a]	3,43 ± 0,48 [a]	2,93 ± 0,41 [a]	3,11 ± 0,57 [a]
3-FQA[3]	0,32 ± 0,04 [a]	0,36 ± 0,04 [a]	0,26 ± 0,07 [a]	0,34 ± 0,04 [a]	0,31 ± 0,14 [a]
5-FQA[3]	0,36 ± 0,06 [a]	0,31 ± 0,05 [a]	0,34 ± 0,06 [a]	0,34 ± 0,04 [a]	0,32 ± 0,01 [a]
4-FQA[3]	0,31 ± 0,08 [a]	0,31 ± 0,03 [b]	0,34 ± 0,02 [a]	0,42 ± 0,10 [a]	0,41 ± 0,05 [a]
FQA totais[3]	1,03 ± 0,11 [a]	0,96 ± 0,33 [a]	0,97 ± 0,15 [a]	1,11 ± 0,12 [a]	1,09 ± 0,11 [a]
3,4-diCQA[3]	0,28 ± 0,03 [a]	0,27 ± 0,04 [a]	0,26 ± 0,03 [a]	0,32 ± 0,02 [a]	0,29 ± 0,06 [a]
3,5-diCQA[3]	0,25 ± 0,03 [b]	0,27 ± 0,02 [a]	0,25 ± 0,02 [a]	0,31 ± 0,03 [a]	0,29 ± 0,03 [a]
4,5-diCQA[3]	0,24 ± 0,01 [a]	0,24 ± 0,08 [a]	0,24 ± 0,02 [a]	0,29 ± 0,01 [a]	0,25 ± 0,02 [a]
diCQA totais[3]	0,77 ± 0,06 [b]	0,78 ± 0,11 [b]	0,76 ± 0,07 [b]	0,90 ± 0,06 [a]	0,84 ± 0,08 [b]
Ácidos clorogênicos totais[3]	4,79 ± 0,80 [a]	4,95± 0,35 [a]	5,16 ± 0,60 [a]	4,94 ± 0,32 [a]	5,04 ± 0,58 [a]
pH	6,80 ± 0,45 [a]	6,75 ± 0,42 [a]	6,87 ± 0,22 [a]	7,00 ± 0,19 [a]	6,48 ± 0,47 [a]
Folin-Ciocalteu[4]	1,66 ± 0,09 [a]	1,33 ± 0,26 [b]	1,22 ± 0,08 [b]	1,47 ± 0,14 [a]	1,25 ± 0,23 [b]
DPPH[5]	88,46 ± 4,83 [a]	73,48 ± 4,11 [b]	68,46 ± 4,51 [b]	70,40 ± 5,11 [b]	67,56 ± 10,96 [b]

[1]Letras diferentes em mesma linha simbolizam diferenças significativas (p<0,05) entre as regiões para a variável analisada. [2]Valores relativos ao período entre janeiro e outubro de 2021. [3]Valores expressos em g/100 g, base úmida. [4]Valores expressos em g/100 g equivalentes de ácido gálico, base úmida. [5]Valores expressos em % inibição.

Ao observarmos as características edafoclimáticas constadas na tabela 6, é possível constatar as distintas características ambientais entre cada região, em todos os aspectos citados, com destaque para o índice pluviométrico acumulado das regiões, sendo os maiores valores observados no Sul de Minas/MG (1306 mm) e no Norte Pioneiro/PR (1148 mm), sugerindo pouco estresse hídrico nessas regiões, especialmente quando comparado às regiões do Nordeste, que apresentaram ambas a mesma pluviosidade, de somente 514 mm. Além disso, o Sertão do Pajeú/PE possui a maior temperatura média (23,73 ºC) e a maior quantidade de horas de insolação diária (7,71 h/dia), aliada à baixa pluviosidade, sugerindo que os pés de café dessa região estão expostos a um maior estresse hídrico e térmico. Além disto, podemos observar que a altitude dessa região é a menor de todas (950 m ~ 1100 m), seguida pelas regiões do Sul de Minas/MG (935 m ~ 1236 m), do Norte Pioneiro/PR (1180 m ~ 1280 m), das Montanhas (1250 m), até a região de maior altitude, a Chapada Diamantina (1223 m ~ 1380 m).

Para os teores de trigonelina, o Sertão do Pajeú/PE se difere significativamente das demais regiões, com exceção das Montanhas/ES), com a menor média (0,50 ± 0,30 g/100 g), e o Norte Pioneiro se destaca pela maior média regional, de 0,94 ± 0,10 g/100 g, a (FIGURA 11) Enquanto SP/PE aparece com os menores índices pluviométricos, maior temperatura média e maior h/dia de insolação, o contrário acontece com o Norte Pioneiro/PR, além deste possuir altitudes mais elevadas.

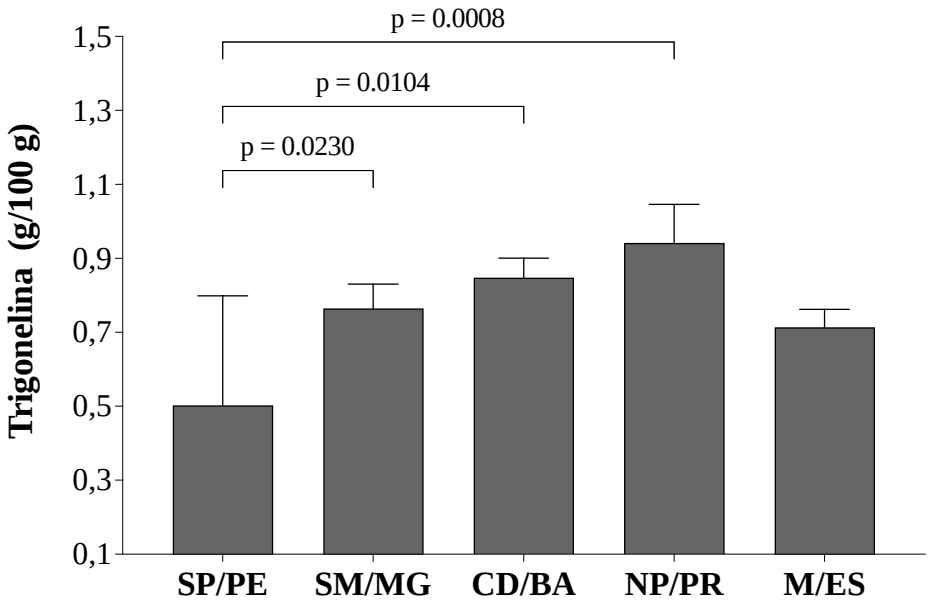

Figura 1. Teor de trigonelina correspondente às regiões analisadas.

Alguns autores relatam que o clima mais frio, com temperatura amenas, de até 20 ºC, associado a maiores altitudes, como é o caso do Norte Pioneiro/PR, por exemplo, ocasiona modificações na composição dos frutos do café (DaMATTA & RAMALHO, 2006; BERTRAND

et al., 2012). A fisiologia por trás desse fenômeno não é totalmente compreendida, mas sugere-se que terrenos com elevada declividade tendem a possuir temperaturas menores e quando associada à exposição solar, pode determinar variações de ambientes formando microclimas (BERTRAND et al., 2012).

No caso do Sertão do Pajeú/PE, a altitude torna-se importante não só pela mudança de temperatura, mas também pelas modificações na radiação solar incidente, uma vez que a região está localizada em meio ao sertão do estado de Pernambuco. É comum constatar que regiões com menor altitude e mais próxima aos trópicos, possuem maior pressão atmosférica, recebendo diariamente e no decorrer do ano, grande quantidade de insolação direta e indireta, sendo, portanto, mais quentes (REBOITA, et al., 2012). Em reforço, Cortez (2001) e Worku, et al. (2023), afirmam que a amplitude térmica é capaz de influir na época de frutificação e no tempo de maturação, ou seja, quanto mais baixa a altitude e mais quente a região, mais precoce será a maturação do grão e a planta completa o ciclo em menor tempo, podendo afetar seus compostos majoritários, favorecendo a produção de carboidratos e ácidos orgânicos.

Neste contexto, infere-se que nos casos em que há baixas temperaturas, maiores altitudes, e pluviometria elevada, há um tempo de maturação da fruta/grão mais longo, sem estresse hídrico e fotossintético, permitindo, por sua vez, que as frutas produzam e acumulem mais metabólitos importantes (MATIELLO et al., 2005; LAVIOLA, et al., 2007; WORKU, et al, 2023). Assim, pode-se afirmar que o desenvolvimento da planta e, consequentemente, dos frutos, varia de acordo com a altitude e temperatura (SILVEIRA et al., 2015).

Ainda, Ribeiro, et al. (2016), em estudos de avaliação de cafés arábica, correlacionados com estes fatores ambientais citados, concluíram que os grãos avaliados quando cultivados acima de 1200 m, em comparação a 1000 m, apresentavam maiores teores de trigonelina.

O quadro de correlação (FIGURA 12) abaixo espelha as informações inferidas e faz o pareamento entre os fatores levados em consideração nesta pesquisa.

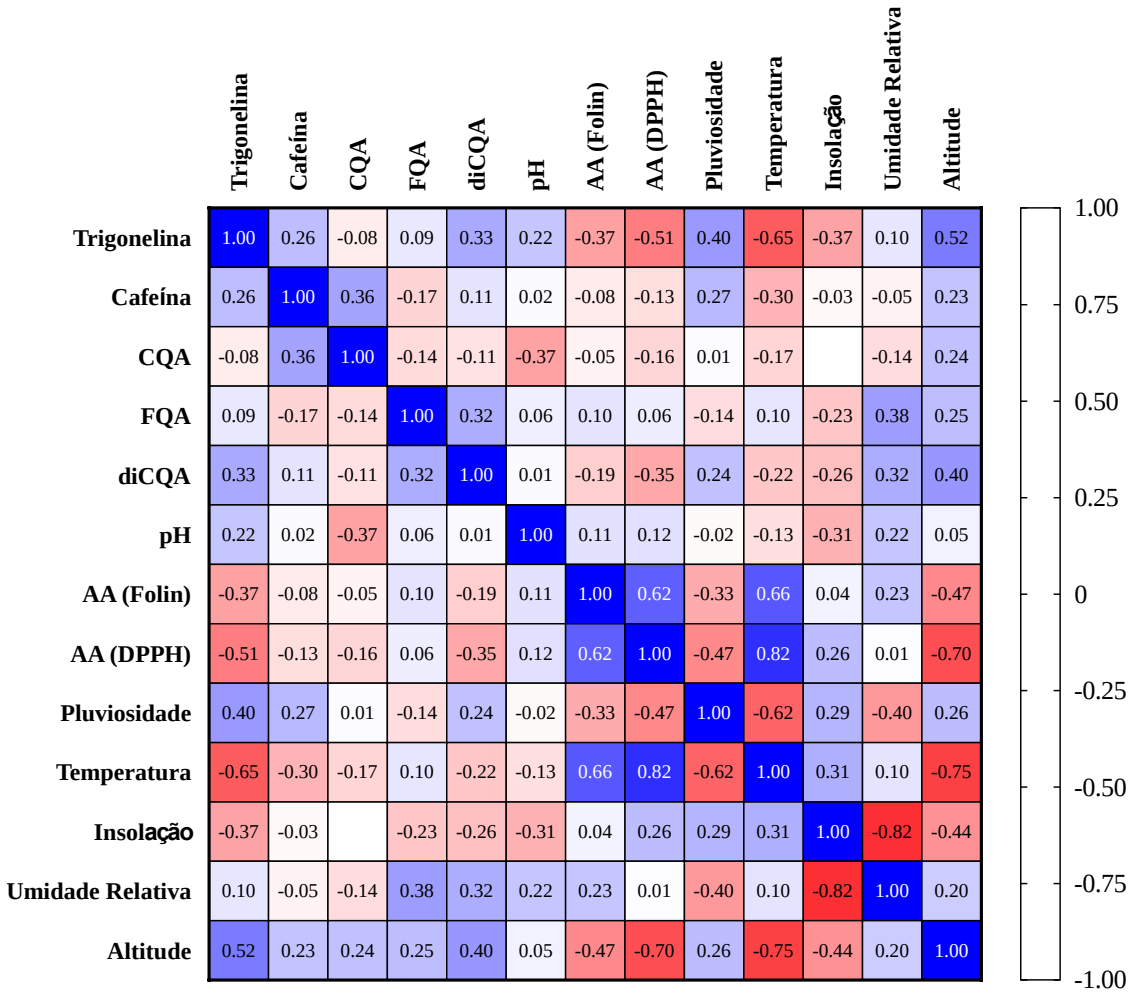

Figura 2. Quadro de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas.

Numa visão ampla, o quadro reforça a influência inversa da temperatura (r = -0,65) e direta da altitude (r = 0,52) sobre os teores de trigonelina, e aponta uma correlação entre a atividade antioxidante, em especial a medida por DPPH, com a temperatura (r = 0,82), a pluviosidade (r = -0,47) e a altitude (r = -0,70). Neste ponto, o Sertão do Pajeú/PE é a região que mais se destaca, se diferindo significativamente das demais regiões. Alguns autores relatam que a alta atividade antioxidante dos grãos de café está associada principalmente ao acúmulo de ácidos cafeoilquínicos e, consequentemente, ao teor de clorogênicos totais, como também à presença dos ácidos cafeico, ferúlico e cumárico (estes últimos não foram avaliados por este trabalho) (ACIDRI et al., 2020; YASHIN et al., 2013).

Para análise de importantes componentes bioativos como cafeína e ácidos clorogênicos totais, é possível observar que os dados entre as regiões não se diferem significativamente, apenas uma pequena parcela dos FQAs e diCQAs se difere, mas sem impactar o resultado geral total de ácidos clorogênicos. É interessante observar que, com os dados apresentados pela figura 12, mesmo as regiões possuindo diferenças entre suas características edafoclimáticas e grandiosa

distinção entre as variedades cultivadas, este estudo, assim como os de Cheng et al., (2019) e Heeger et al., (2017), sugere que o teor destes compostos bioativos não foi influenciado pelo ambiente e condições de cultivo.

3.5 Avaliação da regionalidade por meio da Análise de Componentes Principais

Para avaliar a regionalidade das amostras a partir de sua composição química, os dados de todas as amostras foram submetidos à análise multivariada. A discriminação entre as amostras é apresentada na figura 13, realizada por meio da análise de componentes principais (PCA).

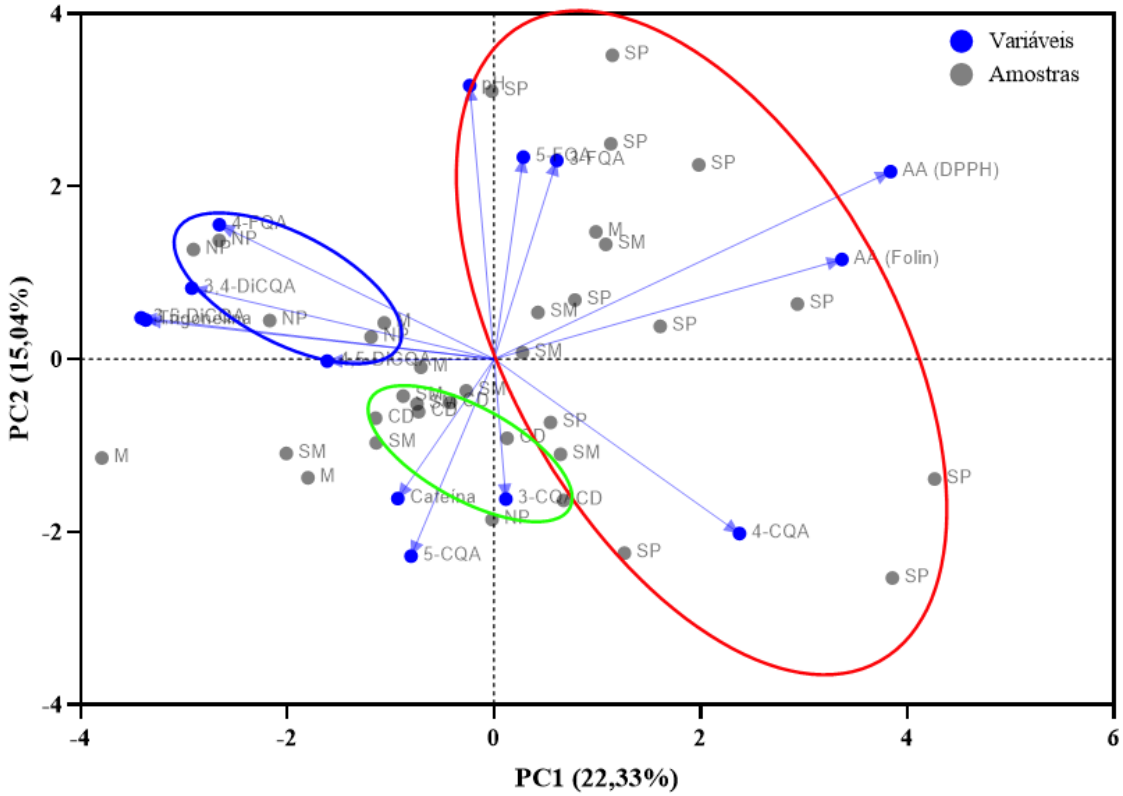

Figura 3. Gráfico biplot da Análise de Componentes Principais (PCA), indicando o agrupamento de amostras de cafés de acordo com as regiões: Serra do Pajeú (PE), em vermelho; Norte Pioneiro (PR), em azul e Chapada Diamantina (BA), em verde.

Ao analisarmos o comportamento e tendências das amostras, é perceptível que algumas regiões possuem grande afinidade para algumas variáveis. No gráfico dos escores, a soma dos PCA 1 e 2 respondem por 37,37% das variâncias encontradas. Ademais, é importante ressaltar que os agrupamentos visivelmente permitidos não são totalmente homogêneos, uma vez que várias amostras possuem teores similares de compostos, mas sem prejudicar a observação das tendências seguidas.

Levando em consideração que, todas amostras utilizadas possuíram o mesmo tratamento pós-colheita, a discriminação ao longo do eixo PC1 permite observar que as amostras do Sertão do Pajeú/PE, se agrupam principalmente em torno dos valores de atividade antioxidante e, em

menor medida, em função dos teores de 4-CQA, 3-FQA, 5-FQA, formando um agrupamento claro da região, neste quadrante, marcado em vermelho no gráfico blipot. Quatro das cinco amostras do Norte Pioneiro/PR formaram um agrupamento marcado em azul no gráfico blipot, cujos principais fatores de agrupamento foram os teores de trigonelina, 4-FQA, 3,4-diCQA e 3,5-diCQA. As amostras provenientes da Chapada Diamantina/BA formam um agrupamento regional consistente, marcado em verde no gráfico biplot, influenciado principalmente pelos teores de cafeína, 5-CQA e 3-CQA. Por fim, as amostras das regiões Sul de Minas/MG e Montanhas/ES não formam agrupamentos claros, com amostras que se distribuíram por todo o gráfico biplot.

4. Conclusão

A participação efetiva das cooperativas, na doação de amostras em quantidades expressivas regionalmente, foi essencial para a realização desta pesquisa e permitiu uma visão ampla das diferenças possibilitadas pelas características edafoclimáticas de cada região.

Ao agrupá-las regionalmente, é evidente que não há diferenças significativas entre os teores de cafeína e ácidos clorogênicos. Em contrapartida, os teores de trigonelina e atividade antioxidante, em consonância com outros trabalhos publicados, demonstram-se potencialmente influenciados pelas condições de cultivo, principalmente correlacionados à altitude e temperaturas médias regionais. Além disso, a análise de componentes principais (PCA), permite a visualização de agrupamentos das regiões em torno de alguns compostos, sugerindo que estes podem ser levantados como biomarcadores locais.

Por fim, a produção cafeeira de agricultura familiar, do Sertão do Pajeú, apesar de possuir características edafoclimáticas típicas do sertão e do bioma Caatinga, se afirma neste trabalho como uma verdadeira potência cafeicultora para o cenário brasileiro. Se destacando pelos elevados teores de atividade antioxidante, assim como teores de cafeína e ácidos clorogênicos semelhantes aos das demais regiões produtoras certificadas pelo INPI, já bem consolidadas no mercado nacional e internacional. Cabe salientar, que os dados são preliminares, convém mais aprofundamento e análises de safras consecutivas para consolidação dos dados caracterizadores da região pernambucana.

REFERÊNCIAS

ABIC, Associação Brasileira da Indústria de Café**. Indicadores da Indústria de Café | 2018**. ABIC - Estatísticas. Disponível em: https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2018-2/. 2018. Acesso em: 15 mar. 2022.

ABREU, R. et al. "Chronic coffee and caffeine ingestion effects on the cognitive function and antioxidant system of rat brains." **Pharmacology Biochemistry and Behavior** 99, nº. 4. p. 659-664. 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.pbb.2011.06.010. Acesso em: 10 jun. 2022. Acesso em: 19 ago. 2022.

ACIDRI, R. et al. Phytochemical profile and antioxidant capacity of coffee plant organs compared to green and roasted coffee beans. **Antioxidants**, v. 9, n. 2, p. 93, 2020. Disponível em: **https://doi.org/10.3390/antiox9020093**. Acesso em 06 jan. 2023.

AFFONSO, R. et al. **Caracterização do perfil químico e avaliação do potencial de extratos de café (*Coffea arabica L.*), após remoção da fração óleo, no reparo de lesões cutâneas.** Tese de Doutorado, UFSC. 2017. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/217474. Acesso em 09 nov. 2021.

ALONSO-SALCES, R. M. et al. Botanical and geographical characterization of green coffee (*Coffea arabica and Coffea canephora*): chemometric evaluation of phenolic and methylxanthine contents. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 10, p. 4224-4235, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1021/jf8037117. Acesso em 01 jan. 2023.

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RESOLUÇÃO Nº 12, DE 1978. A Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos.** Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cnnpa/1978/res001230031978.html. Acesso em: 05 jul. 2022.

ASCHERIO, A. et al. Coffee consumption, gender, and Parkinson's disease mortality in the cancer prevention study II cohort: the modifying effects of estrogen. **American Journal of Epidemiology**, v. 160, n. 10, p. 977-984, 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1093/aje/kwh312. Acesso e: 09 jul. 2022.

ASHIHARA, H. "Metabolism of alkaloids in coffee plants." **Brazilian Journal of Plant Physiology**. p. 1-8., 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100001. Acesso em: 10 jun. 2022

BAE, J.H. et al. Coffee and health. **Integrative Medicine Research (IMR),** v. 3, n.2, p. 189-191, 2014. Disponível em: doi: 10.1016/j.imr.2014.08.002. Acesso em: 04 nov. 2021.

BAGYARAJ, D. J. et al. Below ground microbial diversity as influenced by coffee agroforestry systems in the Western Ghats, India. **Agriculture, Ecosystems & Environment,** v. 202, p. 198-202, 2015.Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.015. Acesso em: 20 jul. 2022.

BARACAT, M. N. **Uma abordagem sobre a qualidade da bebida café**. Repositório UFSCAR, Dissertação. 2020. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13544. Acesso em: 15 set. 2022.

BARBOSA, J. N. et al. Coffee quality and its interactions with environmental factors in Minas Gerais, Brazil**. Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 5, p. 181, 2012. Disponível em: 10.5539/jas.v4n5p181. Acesso em: 22 dez. 2021.

BARRIOS, E. Caracterização física, química, microbiológica e sensorial de cafés da região Alto Rio Grande - Sul de Minas Gerais. Lavras: UFLA. 2001. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/36736. Acesso em: 10 dez 2022.

BERTRAND, B. et al. Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint in green Arabica coffee bean as well as coffee beverage quality. **Food Chemistry**, v. 135, n. 4, p. 2575-2583, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.060. Acesso em 04 jan. 2023.

BORÉM, F. Meet al. Qualidade do café natural e despolpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 1609-1615, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500038. Acesso em: 05 jul. 2022.

BRANDO, C. H.; BRANDO, M. F. Methods of coffee fermentation and drying. **Cocoa and Coffee Fermentations,** p. 367-396, 2014. Disponível em: https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b17536-15/methods-coffee-fermentation-drying-ca-os-br-andoandmaria-er-na-da-br-ando. Acesso em: 28 ago. 2022.

BRASIL, Ministério da Agricultura, notícias. Produção de grãos na safra 2020/21 deve chegar a 252,3 milhões de toneladas. **Serviços e Informações do Brasil.** 2021. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2021/09/producao-de-graos-na-safra-2020-21-deve-chegar-a-252-3-milhoes-de-toneladas. Acesso em: 17 ago. 2022.

BSCA, Brazil the Coffee Nation. Norte Pioneiro - Paraná. Propriedades, produção e características. Disponível em: https://brazilcoffeenation.com.br/region/show/id/13. Acesso em: 11 jun. 2022.

BSCA. Brazil Specialty Coffee Association. Classificação de grãos. Disponível em: http://bsca.com.br/index.php. e http://bsca.com.br/a-bsca.php). Acesso em: 22 jan. 2023.

CAMPA, C., et al. A survey of mangiferin and hydroxycinnamic acid ester accumulation in coffee (*Coffea*) leaves: biological implications and uses. **Annals of Botany,** 110. p. 19, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1093/aob/mcs119. Acesso em: 10 jun. 2022

CARVAJAL, J. F. Cafeto: cultivo y fertilización. Berna, Suíça: Instituto Internacional de la Potassa. p. 254, 1984. Disponível em: https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2016062646. Acesso em: 05 jan. 2023.

CASAL, S., OLIVEIRA, et al. Discriminate analysis of roasted coffee varieties for trigonelline, nicotinic acid, and caffeine content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 48(8), 3420-3424, 2000. Disponível em: https://doi.org/10.1021/jf990702b. Acesso em: 10 jun. 2022

CHAGAS, S. J. R. **Caracterização química e qualitativa de cafés de alguns municípios de três regiões produtoras de Minas Gerais**. Dissertação, UFV. 1994. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/36. Acesso em: 30 dez. 2022.

CHALFOUN, S. M., et al. Efeitos da fermentação na qualidade da bebida do café. **Visão Agrícola**, USP. p. 105-108, 2013. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va12-qualidade-da-bebida01.pdf. Acesso em: 22 jun. 2022.

CHEN, J. F., & SCHWARZSCHILD, M. A.. Do caffeine and more selective adenosine A2A receptor antagonists protect against dopaminergic neurodegeneration in Parkinson's disease?

Parkinsonism & Related Disorders, 80. p. 45-53, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2020.10.024. Acesso em: 10 jun. 2022.

CHENG, K et al. Evaluation of the impact of different drying methods on the phenolic compounds, antioxidant activity, and in vitro digestion of green coffee beans. **Food Science & Nutrition**, v. 7, n. 3, p. 1084-1095, 2019. Disponível em: **https://doi.org/10.1002/fsn3.948**. Acesso em: 13 jan. 2023.

CLARKE, R. J. Coffee: Green Coffee. **Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition**, 1. ed. Academic Press: Oxford, reino Unido, v. 3, p. 1481. 2003. Disponível em: https://www.worldcat.org/pt/title/encyclopedia-of-food-sciences-and-nutrition/oclc/60511216. Acesso em 20 nov. 2022.

CLIFFORD, M. N.; RAMIREZ-MARTINEZ, J. R. Phenols and caffeine in wet-processed coffee beans and coffee pulp**. Food Chemistry**, v. 40, n. 1, p. 35-42, 1991. Disponível em: https://doi.org/10.1016/0308-8146(91)90017-I. Acesso em 05 jan. 2023.

CLIMATE DATA.ORG. Clima: Brejo. 2019. Disponível em:<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/pernambuco/brejao-312605/>. Acesso em: 22 dez. 2021.

CONAB, Central de Abastecimento Nacional. Acompanhamento da safra brasileira de café | v. 5 **- Safra 2021**, n. 4 - quarto levantamento, dezembro de 2022. Espírito Santo. Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/44310_265a13c31f2d1a2d604c2a6c1a542b6f. Acesso em: 10 nov. 2022.

CONAB, Central de Abastecimento Nacional. Acompanhamento da safra brasileira de café | v. 5 - **Safra 2014**, n. 2 - segundo levantamento, dezembro de 2014. Paraná. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe/item/download/1176_698f68b0a0e6c4962308c109b8276446. Acesso em: 6 out. 2022.

CONAB, Central de Abastecimento Nacional. Acompanhamento da safra brasileira de café | v. 5 - **Safra 2019**, n. 4 - quarto levantamento, dezembro de 2019. Espírito Santo. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/levantamento/conab_safra2019_n4.pdf. Acesso em: 02 ago. 2022.

CONAB, Central de Abastecimento Nacional. Acompanhamento da safra brasileira de café | v. 5 - **Safra 2018-2019**, n. 2. Conjuntura mensal. 2019. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-cafe/item/download/23930_687cf4c99f33923b643a0d2098d10ddf. Acesso em: 18 ago. 2022.

CONAB, Central de Abastecimento Nacional. **Safra de café deve encerrar o ciclo de 2022 com uma produção de 50,92 milhões de sacas.** Notícias. 2022. Disponível em: https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4857-safra-de-cafe-deve-encerrar-o-ciclo-de-2022-com-uma-producao-de-50-92-milhoes-de-sacas#:~:text=Com%20rela%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0%20%C3%A1rea%20destinada,de%20%C3%A1rea%20total%20cultivada%\20em. Acesso em: 17 ago. 2022.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Boletim da Safra de Grãos. 3 º Levantamento - **Safra 2021/22**. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos. Acesso em: 08 out. 2022.

CORTEZ, J. G**. Efeito de espécies e cultivares e do processamento agrícola e industrial nas**

características da bebida do café. 2001. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/416/168948f.pdf?sequence=1. Acesso em: 01 jan. 2023.

COSTA, G. C. et al. Análise hipsométrica e construção de modelo 3D a partir do modelo digital de elevação como recurso geotecnológico para a gestão territorial. **Planejamento e gestão territorial em suas diversas amplitudes**. p. 78-86. Publisher: UFMA, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/358723350. Acesso em: 15 set. 2022.

COUTINHO, D. M**. O uso do território por agentes torrefadores de cafés especiais do sul de Minas Gerais**. 2015. Repositório, UFMG. Dissertação. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/138541. Acesso em: 15 set. 2022.

DA CRUZ, T. **Avaliação Física, Química e Físico-química Dos Cafés das Microrregiões da Chapada de Minas.** Trabalho de conclusão de curso (Curso de Química). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina, p. 90, 2016. Disponível em: http://site.ufvjm.edu.br/dequi/files/2017/07/Thays.pdf. Acesso em 20 dez. 2022.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian journal of plant physiology**, v. 18, p. 55-81, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006. Acesso em: 11 dez. 2022.

DANTAS, R. Triunfo busca resgate da cultura do café. DP Empresas. **Diário de Pernambuco** - Jornalismo, 2018. Disponível em: https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/economia/2018/12/triunfo-busca-resgate-da-cultura-do-cafe.html. Acesso em: 01 mai. 2022.

DE MUNER, O. G. M. et al. **Tipificação do café arábica produzido no Estado do Espírito Santo-Safra 99/00.** 2014. Disponível em: https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/288/1/TIPIFICACAO-DO-CAFE-ARABICA-PRODUZIDO-NO-ESTADO-DO-ESPIRITO-poscolheita40.pdf. Acesso em: 23 ago. 2022.

DE OLIVEIRA NETO, J. G. et al. Crescimento e composição foliar de cultivares de café (*Coffea arabica L*.) em sistema agroflorestal na microrregião do Brejo Paraibano. **Nativa**, v. 10, n. 3, p. 312-318, 2022. Disponível em: 10.31413/nativa.v10i3.13280. Acesso em: 03 de jun. 2022.

DEDECCA, D. M. Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica L*. var. typica Cramer. **Bragantia,** v. 16, p. 315-366, 1957. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0006-87051957000100023Acesso em: 02 jul. 2023.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Produção de café arábica corresponde a 64% e café conilon a 36% da safra total dos Cafés do Brasil em 2022. Notícias. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/73940564/producao-de-cafe-arabica-corresponde-a-64-e-cafe-conilon-a-36-da-safra-total-dos-cafes-do-brasil-em-2022. Acesso em: 18 ago. 2022.

FAHANIK-BABAEI, J. et al. "Trigonelline protects hippocampus against intracerebral Aβ (1–40) as a model of Alzheimer's disease in the rat: Insights into underlying mechanisms." **Metabolic Brain Disease** 34, no. 1. p. 191-201, 2021. Disponível em: 10.1007/s11011-018-0338-8. Acesso em: 01 jun. 2022.

FARAH, A. et al. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee**. Food Chemistry**, London, v. 98, n. 2, p. 373-380, Oct. 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.032. Acesso em: 12 fev. 2022.

FARAH, A. et al. Effect of roasting on the formation of chlorogenic acid lactones in coffee**. Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 5, p. 1505-1513, 2005. Disponível em 10.1021/jf048701t. Acesso em 18 dez. 2022.

FARAH, Adriana; DONANGELO, Carmen Marino. Phenolic compounds in coffee. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, p. 23-36, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100003. Acesso em 25 dez.

FARINHOTO, R. J. C. R**. Análise física e química de cafés verdes com diferentes origens geográficas**. 96 f. Dissertação - Curso em Tecnologia e Segurança Alimentar, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2012. Disponível em: https://run.unl.pt/handle/10362/8657. Acesso em: 13 jun. 2022.

FERREIRA, G. F. P. **Avaliação da qualidade física, química, sensorial e da composição fúngica de grãos de cafés beneficiados**. Dissertação. Vitória da Conquista: UESB, 2010. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/5937. Acesso em: 05 jan. 2023.

FEUERSTEIN, S. The Coffee Paradox: Global Markets, Commodity Trade and the Elusive Promise of Development. **The World Economy,** v. 30, n. 6, p. 1031–1032, 2007. Disponível em: 10.1111/j.1467-9701.2007.01041_3.x. Acesso em: 10 jun. 2022.

FILHO, C. Iapar desenvolve tecnologias para incrementar a cafeicultura no Paraná . **Sistema FAEP**. Revista Digital. 2016. Disponível em: https://www.sistemafaep.org.br/i%E2%80%8Bapar-desenvolve-tecnologias-para-incrementar-cafeicultura-parana/. Acesso em: 10 jun. 2022.

FORNAZIER, M. J. et al. Integrated pest management in conilon coffee. **Conilon Coffee.** 1ed. Vitoria, ES, v. 1, p. 493-533, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333455523_Integrated_pest_management_in_conilon_coffee. Acesso em: 05 de jul. 2022.

FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. Coffee. **Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products**. p.413–438, 2019. Minas Gerais: Elsevier. Disponível em: https://docero.com.br/doc/5cvn11x. Acesso em: 12 fev. 2022.

FREDHOLM, B. B. et al. Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use. **Pharmacological reviews**, v. 51, n. 1, p. 83-133, 1999. Disponível em: https://pharmrev.aspetjournals.org/content/51/1/83.short. Acesso em 09 jul. 2022.

FROST-MEYER, N. J. "Impact of coffee components on inflammatory markers: A review." **Journal of Functional Foods**. nº. 4. p. 819-830. 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.05.010. Acesso em: 10 jun. 2022

GEBEYEHU, B. T.; BIKILA, S. L. Determination of caffeine content and antioxidant activity of coffee**. Am J Appl Chem**, v. 3, n. 2. p. 69-76, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.05.010 Acesso em 08 jan. 2023.

GETACHEW, M. et al. The relationship between elevation, soil temperatures, soil chemical

characteristics, and green coffee bean quality and biochemistry in southwest Ethiopia. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 42, n. 4, p. 1-16, 2022. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-022-00801-8. Acesso em:20 dez. 2022

GONÇALVES, B. D F.; VITAL, T. V.. Análise de sustentabilidade da área rural do município de Triunfo (PE). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente,** v. 12, n. 1, p. 195-218, 2019. Disponível em https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n1p195-218. Acesso em: 16 jul. 2022.

GOULART, P. F. P. et al. Aspectos histoquímicos e morfológicos de grãos de café de diferentes qualidades**. Ciência Rural**, v. 37, p. 662-666, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000300010. Acesso em: 02 jul. 2023.

GUERRA, R. O, et al. (2000). Cafeína e esporte. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, 6, 60-62. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1517-86922000000200006. Acesso em: 10 jun. 2022.

HAMED, A., et al. "Coffee bean-related" agroecological factors affecting the coffee." **Coevolution of Secondary Metabolites** (2020): 641-705. Disponível em: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-96397-6_21.pdf.Acesso em: 10 jun. 2022

HEEGER, A. et al. Bioactives of coffee cherry pulp and its utilisation for production of Cascara beverage**. Food Chemistry**, v. 221, p. 969-975, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.067. Acesso em: 13 jan. 2023.

HERRERA, J. C.; LAMBOT, C. The coffee tree—genetic diversity and origin. In: The craft and science of coffee. **Academic Press**, 2017. p. 1-16. Disponível em:10.1016/B978-0-12-803520-7.00001-3. Acesso em: 20 jan. 2022.

HUANG, L., & SPERLÁGH, B. (2021). Caffeine consumption and schizophrenia: A highlight on adenosine receptor–independent mechanisms. **Current Opinion in Pharmacology,** 61, 2021. p. 106-113. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.coph.2021.09.003. Acesso em: 10 jun. 2022.

ICAFE. Bureau de Inteligênica Competitiva do Café. **Relatório Internacional de Tendências do Café.** Lavras, v. 4, n. 2, p. 1-17, 2015. Disponível em: http://www.consorciopesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/Relatorio_Internacional_de_Tendencias_do_Cafe_v4_n4e5.pdf. Acesso em: 18 ago. 2022.

ICO, International Coffee Organization. Relatório sobre o mercado cafeeiro 2018/19. Disponível em: https://www.ico.org/pt/Market-Report-18-19-p.asp. Acesso em: 15 ago. 2022.

ILLY, A; VIANI, R. Espresso coffee: the science of quality. **Academic Press**, 2005. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=AJdlfSFCmVIC&oi=fnd&pg=PP2&dq=Espresso+Coffee:+The+Science+of+Quality&ots=mm7o4cBWkP&sig=KKGjHgy-nDxu683IiJbESWzHlkE#v=onepage&q=Espresso%20Coffee%3A%20The%20Science%20of%20Quality&f=false. Acesso em: 22 ago. 2022.

INCAPER, Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural** – Proate. 2020 a 2023. Disponível em: https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Montanha.pdf. Acesso em: 23 set.

2022.

INCAPER, Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Indicações Geográficas e Certificação na Agropecuária Capixaba**. Revista. Volume 11 e 12 · janeiro 2020 a dezembro de 2021. Disponível em: https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/123456789/4270/1/INCAPER-EM-REVISTA-V11eV12-2021.pdf. Acesso em: 01 dez. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola - Lavoura Permanente. 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/taquaritinga-do-norte/pesquisa>. Acesso em: 03 set. 2021.

KARUPPAGOUNDER, S. S, et al. Caffeine, a natural methylxanthine nutraceutical, exerts dopaminergic neuroprotection. **Neurochemistry International**, 148, 105066. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.neuint.2021.105066. Acesso em: 10 jun. 2022.

KY, C. L. et al. Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild *Coffea arabica L.* and *C. canephora P.* accessions. **Food chemistry**, v. 75, n. 2, p. 223-230, 2001. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00204-7. Acesso em 03 jan 2023.

LAVIOLA, B. G., et al. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivados em duas altitudes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 42(11): 1521- 1530. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007001100002. Acesso em 02 jan. 2023.

LEITE, I. P. **Influência do local de cultivo e do tipo de colheita nas características físicas, composição química do grão e qualidade do café *(Coffea arabica L.*).** Dissertação. 1991. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/122. Acesso em: 02 jan. 2023.

LI, L., et al. "Chlorogenic acids in cardiovascular disease: A review of dietary consumption, pharmacology, and pharmacokinetics." **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 68, no. 24 (2020): 6464-6484. Disponível em: https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c01554. Acesso em: 10 jun. 2022

LOPES, L. M. V. et al. Avaliação da qualidade de grãos de diferentes cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica L.*). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 1, n.1, p. 3-8, 2000. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/234/154370f.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 05 jan. 2023.

MACHADO, L. Brasil: maior produtor de café do mundo. **Estado de Minas, Revista Digital.** Atualidades, História. 2016. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/especiais/educacao/enem/2016/07/15/noticia-especial-enem,783980/brasil-maior-produtor-de-cafe-do-mundo.shtml. Acesso em: 15 ago. 2022.

MALTA, Ma. R.; CHAGAS, S. J. R.. Avaliação de compostos não-voláteis em diferentes cultivares de cafeeiro produzidas na região Sul de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 57-61, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i1.6629 >. Acesso em: 3 fev. 2021.

MARCUCCI, C.T.,et al. Trigonelline, 5-caffeoylquinic acid, cafeine and melanoidins levels in commercial Brazilian instant coffees. **Química Nova**, 36, pp.544-548, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000400011. Acesso em: 13 jul. 2022.

MARIA, Y.Y.M.; GOMIDE, L.M.M. Cafeína e Café: A dualidade entre seus efeitos tóxicos e antioxidantes**. Revista Intersaúde**, v. 1, n. 1, p. 73-85, 2019. Disponível em: http://revista.fundacaojau.edu.br:8078/journal/index.php/revista_intersaude/article/view/111 Acesso em 09 jul. 2022.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Ministério da Agricultura, da Pecuária e do Abastecimento, Brasília, DF (Brasil), 2005. Rio de Janeiro. Varginha: MAPA – PROCAFÉ, p.716. Disponível em: https://biblioteca.incaper.es.gov.br/busca?b=ad&id=9182&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22SANTINATO,%20R.%22&qFacets=autoria:%22SANTINATO,%20R.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1. Acesso em 20 dez. 2022.

MAYER, F.; GEREFFI, G. Regulation and Economic Globalization: Prospects and Limits of Private Governance. **Business and Politics, Berkeley**, v. 12, i. 3, p. 1-25, jan. 2010. Disponível em: https://doi.org/10.3892/or.2020.7891 Acesso em: 18 ago. 2022.

MAZZAFERA, P. "Trigonelline in coffee." **Phytochemistry** 30, no. 7 (1991): 2309-2310.Disponível em: https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)83637-ZAcesso em: 10 jun. 2022

MENGISTU, M. et al. Physical and cup quality attributes of Arabica coffee (*Coffea arabica L*.) varieties grown in highlands of Amhara Region, Northwestern Ethiopia. **International Journal of Agronomy**, v. 2020, Disponível em: https://doi.org/10.1155/2020/6420363. Acesso em 03 jan. 2023.

MESQUITA, C. M., et al. Manual do café: colheita e preparo (*Coffea arábica L*.). Belo Horizonte: **EMATER-MG**, 2016. 52 p. il. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/livro_colheita_preparo.pdf. Acesso em 09 out. 2022.

MINAS GERAIS, Balanço do Agronegócio de Minas Gerais, 2021. **Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Disponível em: http://www.agricultura.mg.gov.br/images/documentos/Balanco_Agronegocio_2021.pdf. Acesso em: 20 ago. 2022.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano Estratégico para o Desenvolvimento do Setor Cafeeiro.** Brasilia, DF, 2012. 27 p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/age/arquivos/2022-01-11_pe-mapa-2020-2031.pdf. Acesso em: 18 ago. 2022.

MONTEIRO, M. C.; TRUGO, L. C. Determinação de compostos bioativos em amostras comerciais de café torrado. **Química nova**, v. 28, p. 637-641, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000400016. Acesso em: 11 de jan. 2022.

MOREIRA, R. F. A.; TRUGO, L. C.; DE MARIA, C. A. B. Componentes voláteis do café torrado. Parte II. Compostos alifáticos, alicíclicos e aromáticos. **Química Nova**, v. 23, p. 195-203, 2000. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/ZmjtWsGFztVwY74FTHgVKVq/?lang=pt&format=pdf. Acesso em 10 mar. 2022.

MOREIRA, S. S. et al. Correlação entre características químicas e sensoriais do Café rábica. 2015. **Artigo - Embrapa.** Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1039886. Acesso em 08 jan. 2022.

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, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/263274803. Acesso em: 23 jun. 2022.

MURTHY, P. S.; NAIDU, M. M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 66, p. 45-58, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005 Acesso em: 15 jun. 2022.

MURTHY, P.S; NAIDU, M.M., 2012. Recovery of phenolic antioxidants and functional compounds from coffee industry by-products. **Food and Bioprocess Technology,** 5(3), pp.897-903. Disponível em: https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-010-0363-z&casa_token=URh8AsWbk_sAAAAA:YYiZPBFmyau5Cy6CdJRQ3-dTcK5fdOTflB44g_E1OyoPG7nhRQJrPSAS7wJLeONA7-TTt1zyyS9KyvyxITE. Acesso em: 10 jun. 2022

NOYCE, A. J. et al. Meta-analysis of early nonmotor features and risk factors for Parkinson disease. **Annals of neurology**, v. 72, n. 6, p. 893-901, 2012. Disponível em: **https://doi.org/10.1002/ana.23687**. Acesso em: 10 jun. 2022.

OIC, Organização Internacional do Café. World Coffee Production (Inf. Téc. n.o February), 2019. Disponível em: http://www.ico.org/prices/po-production.pdf. Acesso em: 02 abr. 2022.

OLIVEIRA, D. M. D., & BASTOS, D. H. M..Biodisponibilidade de ácidos fenólicos. **Química Nova,** 34, 1051-1056, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000600023 Acesso em: 13 jul. 2022.

PAIVA, E. F. F. Avaliação sensorial de cafés especiais: um enfoque multivariado. 2010. Dissertação. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2844/1/TESE_Avalia%C3%A7%C3%A3o%20sensorial%20de%20caf%C3%A9s%20especiais%20um%20enfoque%20multivariado.pdf. Acesso em: 20 jun. 2022.

PATUI, S. et al. Lipase activity and antioxidant capacity in coffee (*Coffea arabica L*.) seeds during germination. **Plant Science,** v. 219, p. 19-25, 2014. Disponível em: 10.1016/j.plantsci.2013.12.014. Acesso em: 02 jul. 2022.

PEREIRA, A. A. et al. Cultivares: origem e suas características In: REIS, P. R. AND CUNHA, R. L. (Eds). Café Arábica do plantio a colheita. Lavras**: EPAMIG**, 2010, p. 163-222. Disponível em: https://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00051160.pdf. Acesso em: 17 nov. 2022.

PEREIRA, L., C. G. et al. Influence of solar radiation and wet processing on the final quality of arabica coffee**. Journal of Food Quality,** 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2018/6408571 Acesso em: 02 jan. 2023.

PEREIRA, M. E. B. G., et al. Indicações Geográficas como estratégia de desenvolvimento: o caso do Norte Pioneiro do Paraná. **Interações (Campo Grande)**, v. 19, p. 515-528, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.20435/inter.v19i3.1654Acesso em: 8 jun. 2022.

PERRONE, D. et al. Comprehensive analysis of major and minor chlorogenic acids and lactones in economically relevant Brazilian coffee cultivars. **Food Chemistry**, v. 106, n. 2, p. 859-867, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.053. Acesso em: 20 de dez 2022.

PERRONE, Daniel; DONANGELO, Carmen Marino; FARAH, Adriana. Fast simultaneous analysis of caffeine, trigonelline, nicotinic acid and sucrose in coffee by liquid chromatography–mass spectrometry. **Food chemistry**, v. 110, n. 4, p. 1030-1035, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.012 Acesso em 15 dez. 2022

PINTO, M. F., et al. Seleção de progênies de cafeeiro derivadas de 'Catuaí' com 'Icatu' e Híbrido de Timor. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 215-222, set./dez. 2012. Disponível em: 10.1590/0034-737X201562010008. Acesso em: 14 jun. 2022.

QUEIROGA, V. P. Cultivo do café (*Coffea arábica L*.) orgânico sombreado para produção de grãos de alta qualidade. 1ed. **AREPB**, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343688960_CULTIVO_DO_CAFE_Coffea_arabica_L_ORGANICO_SOMBREADO_PARA_PRODUCAO_DE_GRAOS_DE_ALTA_QUALIDADE. Acesso em: 10 dez. 2022.

REBOITA, M. S, et al. (2012). Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. Artigo. Disponível em: https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v8-1/pdf81/s3.pdf. Acesso em: 05 jan. 2023.

REHBEIN, K; SCHULER, D. A. Linking corporate community programs and political strategies: A resource-based view. **Business & Society**, v. 54, n. 6, p. 794-821, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1177/0007650313478024. Acesso em: 18 ago. 2022.

RIBEIRO D. et al. Interaction of genotype, environment and processing in the chemical composition expression and sensorial quality of Arabica coffee. **African Journal of Agricultural Research**, *11*(27), 2412-2422, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.5897/AJAR2016.10832. Acesso em 08 jan. 2023.

RICE, A. **Can You Eat Raw Coffee Beans? Health Concerns & More!** Coffee Affection – Image - Brewing. Disponível em: https://coffeeaffection.com/can-you-eat-raw-coffee-beans/. Acesso em: 26 jan. 2023.

SALCES, R. M., S., et al. Botanical and geographical characterization of green coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*): chemometric evaluation of phenolic and methylxanthine contents. **Journal of agricultural and food chemistry**, *57*(10), 4224-4235, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1021/jf8037117. Acesso em 26 dez. 2022.

SANTOS, H. D., et al. 1H NMR metabolic fingerprinting of Chapada Diamantina/Bahia (Brazil) coffees as a tool to assessing their qualities. **Microchemical Journal,** v. 152, p. 104293, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104293. Acesso em: 4 out. 2022.

SEBRAE. SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. Produção, venda e negócios do café crescem em Pernambuco. Disponível em: Acesso em 26 de jul. 2022.

SEGHETO, L, et al. Antioxidant extracts of coffee leaves and its active ingredient 5-caffeoylquinic acid reduce chemically induced inflammation in mice. **Industrial Crops and Products,** 126, 48-57, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.09.027.Acesso em: 10 jun. 2022

ŞEMEN, S. et al. Elemental composition of green coffee and its contribution to dietary intake**.** **Food Chemistry**, v. 215, p. 92-100, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.176. Acesso em 15 jun. 2022.

SENAR – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. Café: classificação e degustação. **Serviço Nacional de Aprendizagem Rural**. – Brasília: SENAR, 2017. 112 p. Disponível em: https://www.cnabrasil.org.br/assets/arquivos/192-CAF%C3%89.pdf. Acesso em: 17 ago. 2022.

SHAO X C. et al. "Coffee consumption and stroke risk: evidence from a systematic review and meta-analysis of more than 2.4 million men and women**." Journal of Stroke and Cerebrovascular Disease**s 30, no. 1 (2021): 105452. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.105452Get rig Acesso em: 10 jun. 2022

SILVEIRA, A. S. Atributos sensoriais dos cafés cultivados em diferentes altitudes e faces de exposição na região das Matas de Minas. 2015. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/8330/Dissertacao_Alice%20de%20Souza%20Silveira.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 01 out. 2022.

SILVEIRA, J. M. et al. Produção e tamanho de grãos de café *Coffea Arabica L.*(CV OBATÃ) sob fertirrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 9, n. 4, p. 204-210, 2015. Disponível em: http://inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/314. Acesso em: 07 jan. 2023.

SIMÃO, F. P. **Relações entre fatores ambientais, tempo de secagem e atributos sensoriais de qualidade do café arábica do Caparaó, avaliadas em diferentes datas de colheita.** Dissertação, 2021. Disponível em: https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/1619. Acesso em: 02 jan. 2023.

SIVETZ, M..; W. DESROSIER. *Coffee technology*. **AVI Pub. Co**., 1979. Disponível em: https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8224181. Acesso em: 12 jan. 2023.

SÓRIO, A. Reposicionamento estratégico das indústrias processadoras de café do Brasil: propostas para sistematização de políticas públicas e estratégias de negócio. Passo Fundo: **Méritos,** p. 7, 2015. Disponível em: http://www.comexresponde.gov.br/portalmdic//arquivos/dwnl_1438875487.pdf. Acesso em: 15 set. 2022.

STELMACH, E., et al. The content of Ca, Cu, Fe, Mg and Mn and antioxidant activity of green coffee brews. **Food Chemistry**, v. 182, p. 302-308, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.105. Acesso em: 12 ago. 2022.

STENNERT, A.; MAIER, H. Trigonelline in coffee. **Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung**, v. 199, n. 3, p. 198-200, 1994. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/BF01193443.A Acesso em: 10 jan. 2023.

TAUNAY, A. **História do Café no Brasil.** 1939. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=boYjAQAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=+Afonso+de+Escragnolle+Taunay+1939%3B+coffee&ots=YH9ZPi-7qJ&sig=jDC3sA9ZFoWuFbrX_e0TmSr-0JU#v=onepage&q=Afonso%20de%20Escragnolle%20Taunay%201939%3B%20coffee&f=false. Acesso em: 16 ago. 2022.

TOLEDO, E.M, et al. Estudo Teórico dos Parâmetros Estruturais da Cafeína no Vácuo Usando Dinâmica Molecular de Car-Parrinello. **Revista Processos Químicos**, v. 11, n. 21, p. 17-24, 2017. Disponível em: http://ojs.rpqsenai.org.br/index.php/rpq_n1/article/view/388. Acesso em 09 jul. 2022.

TRISTÃO A.F, et al. Cafeicultura sustentável: boas práticas agrícolas para o café arábica. Vitória, ES: **Incaper,** 2020. 48 p.: il. Color. (Incaper, Documentos, 269). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/354604599_Arabica_coffee_Espirito_Santo_State_Brazil/link/61420b0ee25fc1353afc4c40/download. Acesso em: 02 ago. 2022.

TSUKUI, A. **Extração assistida por micro-ondas de óleo de café verde (*Coffea arabica l.*) e quantificação de diterpenos por cromatografia líquida de alta eficiência**. Dissertação, UFRJ, 2017 Disponível em: https://ppgcal.iq.ufrj.br/wp-content/uploads/2017/06/Anna_Tsukui.pdf. Acesso em: 6 out. 2022.

TURNBULL, D, et al. Caffeine and cardiovascular health. Regulatory **Toxicology and Pharmacology,** v. 89, p. 165-185, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.07.025. Acesso em 09 jul. 2022.

UESB – Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia. Indicação Geográfica dos cafés do Planalto da Conquista e da Chapada Diamantina, Notícias; 2022. Disponível em: http://www.uesb.br/noticias/uesb-busca-indicacao-geografica-dos-cafes-do-planalto-de-conquista-e-da-chapada-diamantina/. Acesso em: 9 nov. 2022.

USDA. (2018). Coffee: World Markets and Trade. , 8. Disponível em: http://www.fas.usda.gov/data/coffee-world-markets-and-trade. Acesso em: 08 de jun. 2022.

VAN RIJSBERGEN, B. et al. The ambivalent impact of coffee certification on farmers' welfare: a matched panel approach for cooperatives in Central Kenya. **World Development,** v. 77, p. 277-292, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.08.021. Acesso em: 18 out. 2022.

VIGNOLI, J. A. et al. Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of arabica and robusta coffees. **Food Research International**, v. 61, p. 279-285, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.006. Acesso em: 15 dez. 2022.

WIERZEJSKA, R. "Coffee drinking and risk of type 2 diabetes mellitus. Optimistic scientific data." **Przeglad Epidemiologiczny** 66, no. 3 (2012): 509-512. Disponível em: https://europepmc.org/article/med/23230724. Acesso em: 10 jun. 2022

WIKIPEDIA, a enciclopédia livre. Trigonelline, 1-Methylpyridin-1-ium-3-carboxylate. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Trigonelline .Acesso em 26 jan. 2023.

WINSTON, E, et al. Arabica coffee manual for Lao-PDR. p.72, 2005. **FAO Regional Office for Asia and the Pacific**. Disponível em: http://www.fao.org/3/ae939e/ae939e00.html. Acesso em: 10 set. 2021.

WORKU, M. et al. Shade and postharvest processing effects on arabica coffee quality and biochemical composition in lowland and midland coffee-growing areas of southwestern Ethiopia, **Journal of Food Composition and Analysis**. Volume 115, 2023, 105027, ISSN 0889-1575. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.105027. Acesso em 15 dez. 2021.

YASHIN, A et al. Antioxidant and antiradical activity of coffee. **Antioxidants**, v. 2, n. 4, p. 230-245, 2013. Disponível em: **https://doi.org/10.3390/antiox2040230**. Acesso em 13 jan. 2023.

ZAIDAN, Ú. R. **Qualidade dos cafés da "Região das Matas de Minas" em função da variedade, da altitude e da orientação da encosta da montanha**. Dissertação 2015. Disponível

em: http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/8308. Acesso em: 09 jun. 2022.

ZENG, A., L., et al. Chlorogenic acid induces apoptosis, inhibits metastasis and improves antitumor immunity in breast cancer via the NF-κB signaling pathway. **Oncology Reports**, 45(2), 717-727 (2021). Disponível em: https://doi.org/10.3892/or.2020.7891. Acesso em: 13 jul. 2022.