

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA

**SILLAS RAMOS MARIANO**

**CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS, SENSORIAIS E QUÍMICAS DE  
CAFÉS ARÁBICAS CULTIVADOS AO LONGO DE TRÊS ANOS EM  
PROPRIEDADES NAS MONTANHAS CAPIXABAS**

ALEGRE-ES

2024

SILLAS RAMOS MARIANO

**CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS, SENSORIAIS E QUÍMICAS DE  
CAFÉS ARÁBICAS CULTIVADOS AO LONGO DE TRÊS ANOS EM  
PROPRIEDADES NAS MONTANHAS CAPIXABAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo, campus de Alegre, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Louzada Pereira  
Coorientadora: Dr<sup>a</sup> Taís Rizzo Moreira

ALEGRE-ES

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Monsenhor José Bellotti – IFES campus de Alegre

M333c Mariano, Sillas Ramos.

Características edafoclimáticas, sensoriais e químicas de cafés arábicas cultivados ao longo de três anos em propriedades nas montanhas capixabas / Sillas Ramos Mariano. - 2024.

81 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Lucas Louzada Pereira.

Coorientador: Taís Rizzo Moreira.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Alegre, Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, 2024.

1. Café - Qualidade. 2. Avaliação sensorial. 3. Café arábica. 4. Mudanças climáticas. I. Pereira, Lucas Louzada. II. Moreira, Taís Rizzo. III. Instituto Federal do Espírito Santo. IV. Título.

CDD: 633.73


**SILLAS RAMOS MARIANO**

**CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS, SENSORIAIS E QUÍMICAS DE  
CAFÉS ARÁBICAS CULTIVADOS AO LONGO DE TRÊS ANOS EM  
PROPRIEDADES NAS MONTANHAS CAPIXABAS**


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo, campus de Alegre, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Aprovado em 04 de abril de 2024


**COMISSÃO EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **LUCAS LOUZADA PEREIRA**  
Data: 07/06/2024 19:24:06-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dr. Lucas Louzada Pereira  
Instituto Federal do Espírito Santo – IFES  
Orientador

Documento assinado digitalmente  
 **TAIS RIZZO MOREIRA**  
Data: 08/06/2024 18:24:00-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dra. Taís Rizzo Moreira  
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES  
Coorientadora

Documento assinado digitalmente  
 **MAURICIO NOVAES SOUZA**  
Data: 08/06/2024 14:19:34-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Maurício Novaes Souza  
Instituto Federal do Espírito Santo – IFES

Documento assinado digitalmente  
 **JEFERSON LUIZ FERRARI**  
Data: 08/06/2024 07:37:41-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Jéferson Luiz Ferrari  
Instituto Federal do Espírito Santo – IFES

Documento assinado digitalmente  
 **MATHEUS FONSECA DE SOUZA**  
Data: 08/06/2024 14:34:59-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Matheus Fonseca de Souza  
Instituto Capixaba Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER

## AGRADECIMENTOS

A Deus pelo seu amor e cuidado me guiando durante essa jornada.

Aos meus pais Aldimar Mariano (Kim) e Luciene de Oliveira Ramos Mariano e ao meu irmão Talles Ramos Mariano pelo apoio, paciência.

Ao professor e orientador Dr. Lucas Louzada Pereira pela oportunidade, orientação e paciência.

A coorientadora Dra. Tais Rizzo Moreira pela orientação e paciência.

Aos professores, bolsistas e colaboradores do Laboratório Coffee Design Group do IFES, *campus* Venda Nova do Imigrante que me receberam e contribuíram para essa pesquisa.

Aos produtores que participaram desta pesquisa ao longo dos anos.

Ao Instituto Federal do Espírito Santo *Campus* de Alegre e ao Programa de pós-Graduação em Agroecologia pela oportunidade.

Aos professores do Programa De Pós-Graduação Em Agroecologia e pelos colegas da turma de 2022 pelos ensinamentos.

Ao Matheus Fonseca de Souza e Tulio Luís Borges de Lima, pela amizade, incentivo, apoio, paciência e pela oportunidade.

À minha prima Joyce Ramos Ambrósio que me apoiou e ajudou durante esse período.

A Cristhiane Altoé Filete, pela amizade, apoio, ajuda e pela paciência.

Ao escritório local do INCAPER de Iúna.

A Embrapa Café que financiou a presente pesquisa.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização do presente trabalho

E a todos os amigos que fiz no caminho e que contribuíram de alguma forma para meu crescimento profissional e como pessoa.

A todos vocês, meu Muito Obrigado!!

“O mundo não é um grande arco-íris. É um lugar sujo, um lugar cruel, que não quer saber o quanto você é durão. Vai botar você de joelhos e você vai ficar de joelhos para sempre se você deixar. Você, eu, ninguém vai bater tão duro como a vida, mas não se trata de bater duro. Se trata de quanto você aguenta apanhar e seguir em frente, o quanto você é capaz de aguentar e continuar tentando. É assim que se consegue vencer.”

Rocky Balboa

## RESUMO

Considerando a notoriedade do café como uma das bebidas mais consumidas globalmente e o crescente interesse pelos cafés especiais no mercado brasileiro e mundial, torna-se fundamental a realização de pesquisas sobre as variáveis que influenciam a qualidade da bebida, como as variáveis ambientais (altitude, precipitação, tipo de solo, radiação solar e temperatura) e as técnicas de processamento pós-colheita. Diante da marcante influência dos fatores climáticos e do contexto de mudanças climáticas, torna-se crucial compreender como esses elementos afetam a qualidade do café. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a influência das condições edafoclimáticas sobre os parâmetros químicos através de espectrometria de infravermelho e sobre a qualidade final da bebida, para os anos 2020, 2021 e 2022 em três propriedades produtoras de café arábica localizadas nos municípios de Vargem Alta, Venda Nova do Imigrante e Marechal Floriano, analisando 4 métodos de processamento (Washed, Yeast fermentation, Semi-dry e Natural). Os frutos de café foram processados e posteriormente submetidos à análise sensorial, os dados climáticos foram obtidos a partir da plataforma *TerraClimate*. Os resultados obtidos indicam que o agravamento do déficit hídrico ao longo dos anos impactou negativamente a qualidade do café. Observou-se também que as áreas de menor altitude foram mais afetadas por esses efeitos, enquanto que em altitudes mais elevadas houve uma redução mais sutil na qualidade. Além disso, a composição química do café foi alterada, refletindo as variações das condições locais e anuais nas classes químicas. Portanto, é fundamental adotar estratégias adaptativas no manejo do café e no processamento pós-colheita para enfrentar a variabilidade climática e preservar a qualidade do produto.

**Palavras-chave:** Análise Sensorial, Café Arábica, Espectrometria de Infravermelho, Impacto Climático, Impacto Hídrico.

## **ABSTRACT**

Considering the renown of coffee as one of the most consumed beverages globally and the growing interest in specialty coffees in both the Brazilian and world markets, it becomes essential to conduct research on the variables that influence the quality of the beverage. These variables include environmental factors (altitude, precipitation, soil type, solar radiation, and temperature) and post-harvest processing techniques. Given the significant influence of climatic factors and the context of climate change, it is crucial to understand how these elements affect the quality of coffee. This study aimed to characterize the influence of edaphoclimatic conditions on the chemical parameters through infrared spectrometry and on the final quality of the beverage for the years 2020, 2021, and 2022 in three arabica coffee-producing properties located in the municipalities of Vargem Alta, Venda Nova do Imigrante, and Marechal Floriano, analyzing 4 processing methods (Washed, Yeast fermentation, Semi-dry, and Natural). The coffee fruits were processed and subsequently subjected to sensory analysis; climate data were obtained from the TerraClimate platform. The results indicate that the worsening water deficit over the years negatively impacted the quality of the coffee. It was also observed that areas at lower altitudes were more affected by these effects, while at higher altitudes, there was a more subtle reduction in quality. Furthermore, the chemical composition of the coffee was altered, reflecting the variations of local and annual conditions in chemical classes. Therefore, it is essential to adopt adaptive strategies in coffee management and post-harvest processing to cope with climate variability and preserve the quality of the product.

**Keywords:** Arabica Coffee, Climate Impact, Hydric Influence, Infrared Spectrometry, Sensory Analysis.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Características agronômicas da cultivar Catuaí Vermelha.....	19
Figura 2 - Localização das áreas experimentais. ....	26
Figura 3 - Variação anual da precipitação (Ppt) e do déficit hídrico (Def) para os anos agrícolas de 2020 a 2022.....	34
Figura 4 - Diagrama de dispersão (A, C e E) e gráfico de agrupamento (B, D e F) em relação aos dois primeiros componentes principais, obtido a partir de características sensoriais, de 12 cafés obtidos de três altitudes e quatro processamentos nos anos (A e B) 2020, (C e D) 2021 e (E e F) 2022. ....	37
Figura 5 - Diagrama de dispersão (A, C e E) e gráfico de agrupamento (B, D e F) em relação aos dois primeiros componentes principais, obtido a partir de características sensoriais, de 12 cafés obtidos de três anos e quatro processamentos, em (A e B) Vargem Alta a 1100 m, (C e D) Venda Nova a 956m e (E e F) referente a Marechal Floriano.....	41
Figura 6 - Mapa de calor representando a correlação entre as variáveis climáticas e os atributos sensoriais do café nos anos de 2020 a 2022. ....	43
Figura 7 - A) Distribuição espacial das amostras de café arábica nas propriedades Vargem Alta (A), Venda Nova do Imigrante (B) e Marechal Floriano (C) ao longo dos anos de 2020 (azul), 2021 (vermelho) e 2022 (cinza), representadas em projeções a partir dos componentes principais (PCA). 2B) Perfis de <i>loadings</i> dos três principais componentes principais obtidos da Análise de Componentes Principais (PCA) de amostras de café. ....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados edafoclimáticos do ano safra das propriedades analisadas.....	33
Tabela 2 - Médias da característica de pontuação final avaliadas em quatro processamentos e três experimentos, para os anos de 2020, 2021 e 2022.....	35
Tabela 3 - Médias da característica de pontuação final avaliadas em quatro tratamentos e três anos, para o experimento de Vargem Alta (1100m), Venda Nova do Imigrante (956 m) e Marechal Floriano (1033m).....	39

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1.	OBJETIVO GERAL .....	15
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
3.1.	ORIGEM E CONSOLIDAÇÃO DO CAFÉ.....	16
3.2.	<i>COFFEA SP.</i> .....	17
3.3.	CULTIVAR – CATUAÍ VERMELHO .....	18
3.4.	QUALIDADE DO CAFÉ.....	19
3.5.	FATORES EDAFOCLIMÁTICOS .....	21
3.6.	PÓS-COLHEITA.....	22
3.7.	CLASSIFICAÇÃO OFICIAL BRASILEIRA – PARÂMETRO FÍSICO .....	23
3.8.	PARÂMETROS QUÍMICOS E ESPECTROMETRIA DE INFRAVERMELHO ..	24
<b>4.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
4.1.	ÁREA DE ESTUDO E COLETA DO MATERIAL.....	26
4.2.	CARACTERIZAÇÃO EDAFOCLIMÁTICA .....	27
4.3.	PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS .....	28
4.4.	SECAGEM DAS AMOSTRAS DE CAFÉ .....	29
4.5.	PROCESSO DE TORREFAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	29
4.6.	ANÁLISE SENSORIAL DESCRITIVA PELO MÉTODO DA <i>SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION</i> - SCA .....	30
4.7.	ANÁLISE DE INFRAVERMELHO .....	30
4.8.	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	31
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
5.1.	CARACTERIZAÇÃO EDAFOCLIMÁTICA .....	33
5.1.	ANÁLISE SENSORIAL .....	34
5.1.	PAINEL INFRAVERMELHO .....	44
<b>6.</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>47</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>58</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O café representa uma das principais e mais emblemáticas culturas agrícolas do Brasil, desempenhando um papel crucial na economia do país. Sua importância transcende o aspecto econômico, pois o cultivo de café está profundamente entrelaçado com a cultura brasileira. Isso é particularmente evidente na tradição do consumo de café, uma prática amplamente difundida e apreciada no Brasil. A bebida não apenas ocupa um lugar central na vida social dos brasileiros, mas também é um símbolo da hospitalidade e da diversidade cultural do país (MEDEIROS; RODRIGUES, 2017).

Em termos globais, conforme dados divulgados pela Organização Internacional do Café (OIC, 2023), a produção mundial de café foi de cerca de 168 milhões de sacas, sendo o Brasil o maior produtor, responsável por aproximadamente 31,6% da produção global. Em 2022 o país produziu aproximadamente 54,94 milhões de sacas, sendo 37,43 milhões de sacas de café arábica e 18,2 milhões de sacas de café canéfora (CONAB, 2023). Ainda segundo o boletim da CONAB, o estado de Minas Gerais foi o maior produtor de café do Brasil em 2023, com uma produção de 27,5 milhões de sacas, seguido por Espírito Santo, com 13,65 milhões de sacas.

De acordo com Tolessa et al. (2017) e Pereira et al. (2020), os fatores climáticos e topográficos, como altitude, pluviosidade, radiação solar, sombreamento e temperatura, afetam tanto a produtividade quanto a qualidade da bebida. Paralelamente, o processo pós-colheita exerce uma influência significativa na composição química do café, impactando seu perfil sensorial, conforme destacado por Worku et al. (2018).

Além disso, as técnicas de torrefação adotadas, os métodos de armazenamento implementados e as abordagens de secagem são fatores cruciais para alcançar as características sensoriais desejadas na bebida (ALONSO-TORRES *et al.*, 2013; FERREIRA, Ana Carolina Cateli; MONTANUCI, 2020).

Além de ser um grande produtor de café *commodity*, o Brasil tem se destacado na produção de cafés especiais, que estão ganhando espaço no mercado e conquistando cada vez mais apreciadores (BOAVENTURA *et al.*, 2018; GUIMARÃES *et al.*, 2019). Com a crescente popularidade dos cafés especiais, diferentes metodologias vêm sendo estudadas e aplicadas na produção de cafés de qualidade. Os processos fermentativos, por exemplo, têm por finalidade agregar qualidade à bebida do café por meio da modificação de seu perfil sensorial (HAILE *et al.*, 2019).

As condições edafoclimáticas são cruciais para a produção de cafés de alta qualidade, conforme mencionado anteriormente, especialmente considerando o conceito de *terroir*. Ferreira et al. (2016) destacam que os cafés apresentam uma qualidade intrínseca derivada das características únicas da região de cultivo, as quais formam o *terroir* destas regiões.

O *terroir*, um conceito amplamente empregado em diversas áreas, incluindo a agronomia, a viticultura, a enologia e a gastronomia, refere-se à influência do ambiente e das condições climáticas na qualidade e nas características sensoriais de produtos agrícolas específicos. Este conceito leva em consideração a história e a cultura da região, práticas agrícolas locais e a variedade das plantas utilizadas (LEEUWEN *et al.*, 2004). Em síntese, o *terroir* é uma abordagem multidisciplinar que engloba fatores ambientais, culturais e sociais na produção de alimentos e bebidas de alta qualidade e com valor agregado.

Segundo Filete et al. (2022), o *terroir* é amplamente reconhecido como um fator crucial na determinação da qualidade dos produtos cultivados, pois a análise detalhada deste está intrinsecamente ligada à compreensão dos diferentes fatores ambientais e geográficos que conferem identidade e singularidade a uma região específica. O estudo aprofundado das características específicas de um território é fundamental para o entendimento dos resultados obtidos pelas diferentes interações entre o meio ambiente e as técnicas de pós-colheita adotadas, conferindo características distintas à bebida.

As mudanças climáticas estão gerando preocupações globais, visto que seus impactos são perceptíveis em vários setores, incluindo a agricultura. Um exemplo notável é a produção de café nas regiões montanhosas, que tem sido significativamente afetada. Essas alterações no clima representam um desafio para as práticas agrícolas tradicionais e a sustentabilidade da produção nessas áreas (GOMES *et al.*, 2020). Neste cenário, a adoção de estratégias para adaptar práticas agrícolas, visando a sustentabilidade da produção de café em regiões afetadas, tornam-se fundamentais. A adaptação eficaz às mudanças climáticas surge como um fator crítico para garantir uma agricultura sustentável e a segurança alimentar em escala mundial.

As diferentes condições climáticas resultam em variações no desenvolvimento do café. Isso, somado às diferentes técnicas de pós-colheita empregadas, provoca alterações nas propriedades químicas e sensoriais do produto. Essas modificações podem ser detectadas sensorialmente por meio de análises conduzidas por *Q-graders* e quimicamente por meio da espectrometria de infravermelho por exemplo. Esta técnica analítica utiliza a interação da radiação infravermelha com as moléculas presentes na amostra para fornecer informações a

respeito da sua estrutura química (CORREIA *et al.*, 2018). No contexto do café, a espectrometria de infravermelho vem sendo utilizada para garantir a autenticidade do café, identificando alterações, além da avaliação da qualidade sensorial, identificando compostos como ácidos orgânicos, aminas, açúcares e ácidos clorogênicos, que afetam o aroma, sabor e corpo da bebida (SANTOS *et al.*, 2012; TAVARES *et al.*, 2012; PEREZ *et al.*, 2023).

Desta forma, o presente estudo objetiva investigar a influência das condições edafoclimáticas e suas variações anuais sobre a composição química e o perfil sensorial do café produzido em três propriedades situadas nos municípios Vargem Alta, Venda Nova do Imigrante e Marechal Floriano, municípios produtores de cafés especiais no Espírito Santo. Será analisado como estes fatores afetam a qualidade sensorial do café ao longo de três safras consecutivas (2020, 2021 e 2022), considerando a aplicação de quatro diferentes métodos de pós-processamento (*Washed*, *Yeast fermentation*, *Semi-dry* e *Natural*).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar a influência dos fatores edafoclimáticos no perfil sensorial e na composição química do café produzido em três propriedades distintas localizadas na Região das Montanhas Capixabas, abrangendo três safras consecutivas (2020, 2021 e 2022), e sob quatro diferentes métodos de pós-processamento (*Washed*, *Yeast fermentation*, *Semi-dry* e *Natural*).

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Examinar o impacto das condições edafoclimáticas na qualidade do café em três propriedades distintas ao longo de três safras.
- ✓ Comparar a qualidade do café produzido sob diferentes tratamentos e verificar se há diferenças significativas entre eles em relação a diferentes safras e propriedades.
- ✓ Investigar como os fatores edafoclimáticos afetam os componentes químicos do café, destacando suas influências específicas.
- ✓ Avaliar os parâmetros químicos das diferentes propriedades e diferentes safras através da espectrometria de infravermelho médio (FTIR).
- ✓ Correlacionar os parâmetros químicos e sensoriais do café com as condições edafoclimáticas de cada propriedade e safra analisada, visando compreender a interação entre estes elementos.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. ORIGEM E CONSOLIDAÇÃO DO CAFÉ

Descoberto pela primeira vez há mais de um milênio, no século IX, o café foi inicialmente identificado por criadores de cabras na província de *Kaffa*, Etiópia, cujo nome possivelmente inspirou a denominação da bebida. Posteriormente, o café percorreu seu caminho até o Iêmen e Arábia, onde iniciou sua jornada pelo mundo. Após sua popularização na Arábia, o café foi introduzido na Europa, sendo preparado de maneira similar ao método contemporâneo, que consiste na infusão de grãos torrados e moídos (AMAMO, 2014; WORKU *et al.*, 2019).

Após sua chegada e consolidação na Europa, o café chega ao Brasil no início do século XVIII quando o oficial luso-brasileiro Francisco de Mello Palheta, que o trouxe da Guiana Francesa. Inicialmente cultivado na região Norte do Brasil, o café posteriormente se expandiu e obteve sucesso nas áreas do Sudeste, onde as condições edafoclimáticas se mostraram mais favoráveis (VOLSI *et al.*, 2019).

O café, além de sua relevância econômica, desempenha um papel crucial na vida de muitas famílias brasileiras ao proporcionar meios de subsistência e oportunidades de renda. Além disso, o café transcende o âmbito econômico, assumindo um significativo valor sociocultural no Brasil, moldando a identidade cultural do país, transformando seu consumo em experiências sociais, enquanto a indústria do café exerce um papel determinante no desenvolvimento de diversas regiões brasileiras, contribuindo para o crescimento das cidades, melhoria da infraestrutura e criação de emprego (NARITOMI; SOARES; ASSUNÇÃO, 2012; YENER *et al.*, 2015; CARVALHO *et al.*, 2018; TAVARES; OLIVEIRA, 2023). Devido à sua importância social e econômica, a variação no preço do café afeta diretamente os produtores e consumidores, além de impactar de maneira indireta todos os envolvidos na cadeia de produção e consumo (SILVA, Daliane Teixeira *et al.*, 2023).

A produção global de café foi estimada em cerca de 168 milhões de sacas no ano de 2023, com o Brasil liderando como o principal produtor, cerca de um terço da produção global (OIC, 2023). Corroborando com os dados fornecidos pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023) que destaca o estado de Minas Gerais como maior produtor brasileiro seguido do Espírito Santo. Além disso, o boletim da CONAB ressalta que Minas Gerais foi o estado do Brasil com maior produção de café do país durante o ano de 2020, com



um volume total de produção de 21,9 milhões de sacas, seguido pelo Espírito Santo que registrou uma produção total de 16,7 milhões de sacas. No entanto, apesar do Brasil ser o maior produtor de café do mundo, Merga e Alemayehu (2019) alertam que essa produção pode ser afetada devido as mudanças climáticas, impactando sua produção e por consequência, mudando a dinâmica econômica desta *commodity* no mercado.

### 3.2. *COFFEA SP.*

O café é pertencente à família botânica *Rubiaceae* e ao gênero *Coffea*. Dentre as diversas espécies deste gênero, duas são prioritariamente cultivadas para fins comerciais: *Coffea arabica* (arábica) e o *Coffea canephora* (canéfora) (ALONSO-SALCES et al., 2009; FARAH; FERREIRA DOS SANTOS, 2015; HERRERA; LAMBOT, 2017; DAVIS; RAKOTONASOLO, 2021). Estas duas espécies preponderantes na produção e no mercado mundial desempenham papéis diferenciados: o café arábica, com sua influência marcante, representa cerca de 60% do total do café negociado globalmente, enquanto a café canéfora contribui com os 40% restantes da produção de café (OIC, 2023).

Embora estas duas espécies apresentem esta predominância, é relevante destacar que o gênero *Coffea* possui notável diversidade, englobando um conjunto de 130 espécies e sete táxons intraespecíficos. Esta diversidade genética é crucial para pesquisas focadas na adaptação às mudanças climáticas e no aprimoramento da qualidade do produto (DAVIS et al., 2006; DAVIS; RAKOTONASOLO, 2021).

O café arábica e o café canéfora distinguem-se consideravelmente em diversos aspectos, incluindo métodos de cultivo, requisitos climáticos e características sensoriais. O café arábica demonstra maior sensibilidade às variações climáticas, em contrapartida, o café canéfora, que compõe uma parte significativa da produção mundial, mostra uma tolerância superior a climas mais quentes que o café arábica (DAVIS et al., 2012; BUNN et al., 2015; BILEN et al., 2023).

Em termos sensoriais, a bebida produzida a partir do café arábica é caracterizada por notas sensoriais proeminentes nos atributos de acidez, doçura e aroma, oferecendo um sabor mais intenso e equilibrado, enquanto o café canéfora é reconhecido por sua notável amargor e corpo mais robusto, o que resulta em um rendimento superior no processo de extração da bebida e apesar de suas distintas características sensoriais, ambas as espécies possuem características únicas que satisfazem uma ampla gama de preferências (ILLY; VIANI, 2005; SUNARHARUM; WILLIAMS; SMYTH, 2014; MERGA SAKATA; GEBRESELASSIE

ABTEW; GAREDEW, 2022). Contudo, conforme apontado por Vegro e de Almeida (2020), o café arábica domina o mercado, respondendo por mais de 70% do consumo mundial.


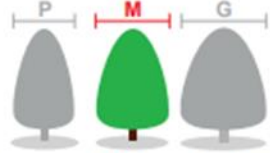






### 3.3. CULTIVAR – CATUAÍ VERMELHO

Uma cultivar de café representa uma variedade específica de cafeeiro, selecionada por características desejáveis, incluindo rendimento, vigor da planta, resistência a doenças e qualidade sensorial. As cultivares são desenvolvidas por meio de programas de melhoramento genético, onde diferentes genótipos de café são cruzados para combinar características desejáveis. As cultivares são fundamentais na produção de café, atendendo às necessidades específicas dos agricultores e às demandas do mercado (PARTELLI et al., 2020; FERRAZ et al., 2022).

O Catuaí Vermelho é uma cultivar de sucesso na agricultura brasileira, desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Esta cultivar, resultante do cruzamento entre Caturra e Mundo Novo (PAIVA, 2009; VAN MULLEM *et al.*, 2022), foi desenvolvida para aliar o vigoroso crescimento à estatura reduzida da planta. Faz parte do grupo Catuaí, que abrange também outras variedades, como o Catuaí Amarelo (RODRIGUES, W. N. *et al.*, 2016). Esta variedade tem ganhado destaque pelo seu alto rendimento e pela excepcional qualidade da bebida (GUERREIRO FILHO; RAMALHO; ANDRADE, 2018).

A seguir é apresentado na Figura 1 as características agrônômicas do cultivar Catuaí Vermelho: porte, diâmetro da copa, cor das folhas jovens (brotos), cor do fruto maduro, tamanho do grão, época de maturação, suscetibilidade à ferrugem e a nematoide, resistência a outras doenças, vigor vegetativo, qualidade da bebida e produtividade (CARVALHO, C. H. S. de *et al.*, 2022).

Figura 1 – Características agrônômicas da cultivar Catuaí Vermelha

<p><b>Porte</b></p>  <p>Baixo Alto</p>	<p><b>Diâmetro da copa</b></p>  <p>Pequeno Médio Grande</p>	<p><b>Cor das folhas jovens (brotos)</b></p>  <p>Verde</p>
<p><b>Cor do fruto maduro</b></p>  <p>Vermelha</p>	<p><b>Tamanho do grão</b></p>  <p>Peq. Médio Grande Muito grande</p>	<p><b>Época de maturação</b></p> <p>( ) Precoce  ( ) Entre precoce e média  ( ) Média  (X) Entre média e tardia  ( ) Tardia</p>
<p><b>Resistência à ferrugem</b></p> <p>(X) Suscetível  ( ) Parcialmente resistente  ( ) Resistente</p>	<p><b>Resistência a nematoide</b></p> <p>Suscetível</p>	<p><b>Resistência a outras doenças</b></p> <p>Não há.</p>
<p><b>Vigor Vegetativo</b></p>  <p>Baixo Médio Alto</p>	<p><b>Qualidade da bebida</b></p>  <p>Regular Diferenciada</p>	<p><b>Produtividade</b></p>  <p>Baixa Média Alta Muito alta</p>

Fonte: Catálogo de cultivares de café arábica (CARVALHO, C. H. S. de *et al.*, 2022).

### 3.4. QUALIDADE DO CAFÉ

A definição da qualidade do café é uma tarefa complexa, frequentemente centrada na identificação de defeitos nos grãos de café verde. Diversos padrões de classificação de defeitos são utilizados, com o método brasileiro sendo um dos mais importantes. Este método é considerado superior em alguns aspectos, pois considera de forma mais eficaz a relação entre os grãos defeituosos e a qualidade final da bebida (DIAS *et al.*, 2018).

A qualidade do café é avaliada por meio de duas abordagens principais: a classificação física dos grãos, que consiste na contagem de defeitos presentes em uma amostra selecionada, e uma análise sensorial que é conduzida por profissionais treinados, denominados *Q-graders* para o café arábica e *R-graders* para o café canéfora, os quais avaliam a bebida com o objetivo de descrever e quantificar atributos como aroma, sabor, limpeza e defeitos (SCAA, 2008; ICO, 2010).

A qualidade do café é afetada por uma variedade de fatores, que vão desde o manejo da lavoura até o processamento pós-colheita. Esses elementos incluem a composição genética, as condições edafoclimáticas, como face de exposição à radiação solar, precipitação e temperatura, as condições topográficas, os métodos de processamento, como fermentação espontânea e induzida durante o pós-colheita, e as práticas adotadas durante a fase de industrialização (JOËT *et al.*, 2010; SCHOLZ *et al.*, 2013; RIBEIRO *et al.*, 2014; HAMEED *et al.*, 2018; JAYANNA *et al.*, 2019; BRIOSCHI JUNIOR *et al.*, 2021).

Os cafés especiais são uma categoria de café conhecido por suas características singulares, qualidade superior e adesão a padrões. Esses cafés se destacam pela complexidade de aroma, sabor, acidez e qualidade geral (QUINTÃO; BRITO; BELK, 2017; BARRERA-LÓPEZ *et al.*, 2022; RAVEENDRAN; MURTHY, 2022; SOARES; DORNELAS, 2023).

O mercado de café especial vem crescendo e ganhando espaço entre os consumidores, agregando valor ao produtor, fazendo com que sua produção seja cada vez mais criteriosa. Ao investir em melhorias de qualidade e práticas sustentáveis o Brasil aumenta sua competitividade e evidencia seu potencial nos mercados internacionais (BOAVENTURA *et al.*, 2018; LAUKALĚJA; KRUMA, 2018; MARTINEZ *et al.*, 2021).

Os cafeicultores brasileiros têm se empenhado em estratégias com o propósito de ingressar em diferentes nichos do mercado de consumo, visando agregar valor ao seu produto. Através da produção de cafés especiais, frequentemente acompanhados de selos de qualidade e certificações geográficas, os produtores buscam se destacar em um mercado altamente competitivo, atendendo à crescente demanda por cafés que apresentem características únicas e uma qualidade superior. Para atender estes requisitos é necessário uma adaptação às condições climáticas e um comprometimento com a sustentabilidade, promovendo o café brasileiro em um contexto global (PERDONÁ *et al.*, 2012).

Devido às condições climáticas favoráveis e à diversidade de climas, solos e biomas, o Brasil é capaz de produzir cafés com diferentes perfis sensoriais (SANTOS *et al.*, 2021). No entanto, as mudanças climáticas representam desafios para a indústria do café. O aumento das temperaturas e a diminuição da precipitação afeta não só a qualidade da safra, como reduz a resiliência frente ao ataque de pragas e doenças (NARITOMI; SOARES; ASSUNÇÃO, 2012).

### 3.5. FATORES EDAFOCLIMÁTICOS

Os fatores edafoclimáticos, que englobam as condições de solo e clima, desempenham um papel fundamental na produção agrícola. Eles influenciam diretamente as safras, podendo afetar negativamente a produtividade quando as condições são desfavoráveis (SANS; SANTANA, 2002; NAYAK; SOLANKI, 2022; SWAMI, 2023).

A produção agrícola é influenciada por vários fatores, dentre os quais se destacam as condições naturais, englobando elementos como a estrutura geológica, topográfica, climática, a composição do solo e a disponibilidade de recursos hídricos (ELIAS *et al.*, 2019; KC *et al.*, 2020).

Macra e Pop (2013) salientam a importância da temperatura e umidade do solo no crescimento da planta e destacam a relevância desses parâmetros no metabolismo microbiano do solo. Além disso, Veloso *et al.* (2020) discorrem sobre a influência dos fatores edafoclimáticos sobre a microbiota dos frutos e do solo do *Coffea arabica*. Esses fatores impactam diretamente a riqueza, uniformidade e diversidade microbiana, o que pode influenciar significativamente o processo de fermentação e a qualidade final do café.

A cafeicultura está diante de desafios significativos devido às mudanças climáticas que afetam adversamente tanto a qualidade quanto a estabilidade da produção do café conforme estudos de Läderach *et al.* (2017); Hameed *et al.* (2018); Jayanna *et al.* (2019); Verburg *et al.* (2019), essas mudanças representam não apenas riscos, mas também oportunidades para inovação e a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, destacando a necessidade de utilizar análises de dados históricos e modelagem preditiva para elaborar estratégias de adaptação eficazes, como o uso de sistemas agroflorestais e manejo integrado de pragas, para atenuar os impactos das mudanças climáticas. Além disso, Malhi, Kaur e Kaushik, (2021) ressaltam a importância da colaboração entre entidades governamentais, o setor privado e os produtores agrícolas para implementar essas estratégias de mitigação, visando a sustentabilidade da produção de café frente aos desafios impostos pelo clima em transformação.

Fatores edafoclimáticos desempenham um papel crucial no cultivo e na qualidade do café, onde a altitude, temperatura, radiação solar, disponibilidade hídrica e fertilidade do solo influenciam diretamente a maturação e o desenvolvimento do grão e do perfil sensorial. Adicionalmente, o manejo e as características específicas de cada área de produção contribuem para uma combinação única de fatores, que influenciam significativamente o perfil final do café, evidenciando que pequenas variações nas condições edafoclimáticas ou práticas de manejo

podem alterar a qualidade do café, mesmo quando se emprega material genético idêntico (CHEMURA *et al.*, 2021; SOARES FERREIRA *et al.*, 2022; MUÑOZ-VILLERS *et al.*, 2020; BRACKEN; BURGESS; GIRKIN, 2023). Estudos de Bote e Vos (2017) e Ahmed *et al.* (2021) por exemplo ressaltam a relação positiva da altitude com a melhoria dos atributos sensoriais do café, enquanto o aumento da exposição à luz solar pode reduzir esses atributos desejáveis.

### 3.6. PÓS-COLHEITA

No processo pós-colheita do café, os frutos são submetidos a procedimentos de limpeza, seguidos de etapas de processamento que têm como objetivo principal a redução de impurezas, o controle da microbiota e a prevenção de fermentações indesejadas. Tais práticas são fundamentais para garantir a qualidade e a integridade sanitária do café (HEEGER *et al.*, 2017).

O Pós-colheita e o processamento do café têm um impacto significativo na qualidade da bebida. Fatores, como tipo de processamento, duração da fermentação e aplicação da imersão, influenciam a dinâmica da comunidade microbiana, as composições de metabólitos e a qualidade da xícara de café (ZHANG, Sophia Jiyuan *et al.*, 2019).

O processamento do café compreende diversas abordagens variando de acordo com a infraestrutura, objetivos e conhecimento de cada produtor, podendo ser feita por via seca, via semiúmida e via úmida (DE BRUYN *et al.*, 2016; HAILE; KANG, 2019; MESQUITA *et al.*, 2016; MUNYENDO *et al.*, 2021)

O processamento úmido, também conhecido como processamento lavado, consiste na remoção da casca externa da cereja do café e na fermentação (com a microbiota endógena ou inoculação de microrganismos) dos grãos em água, antes da etapa seguinte de secagem. O processamento a seco, também conhecido como natural, envolve secar as cerejas inteiras do café ao sol antes de remover a casca e a polpa secas. O processamento semiúmido é uma combinação dos métodos, úmidos e secos, em que as cerejas do café são descascados removendo parte da polpa e então seguem para secagem (PEREIRA *et al.*, 2020; BARRIOS-RODRÍGUEZ *et al.*, 2021; BASTIAN *et al.*, 2021).

A fermentação controlada do café no pós-colheita desempenha um papel crucial, com a atividade microbiana atuando na conversão de carboidratos e outros compostos orgânicos em precursores de sabor e inibição do crescimento de fungos micotoxigênicos. Esses fatores exercem influência direta sobre as propriedades sensoriais, notadamente o aroma e o sabor,

culminando na obtenção de cafés distintos e de elevada qualidade (BASTIAN *et al.*, 2021; ELHALIS *et al.*, 2021; PEREIRA, Lucas Louzada *et al.*, 2020; SILVA, Cristina, 2014; SOUZA *et al.*, 2017). Diferentes métodos de fermentação são aplicados, contribuindo de maneira significativa para a configuração das características finais do café (PEREIRA, Leandro Ferreira Bernardes; FRANCO JUNIOR; BARBOSA, 2020; PEREIRA, Lucas Louzada; GUARÇONI; *et al.*, 2021).

Dentro os métodos de pós-processamento destacam-se o processamento Lavado (*Washed*), Fermentação com levedura (*Yeast Fermentation*), Descascado (*Semi-Dry*) e Natural, que desempenham um papel crucial na determinação da qualidade e das características do produto final do café. O método lavado ou *Washed*, envolve a lavagem dos grãos de café para remover a mucilagem, enquanto a fermentação com levedura os grãos de café são submetidos à fermentação usando leveduras com microorganismos específicos para realçar o sabor (RODRIGUEZ; GUZMAN; HERNANDEZ, 2020). O processamento *Semi-dry*, também conhecido como descascado, combina fermentação e secagem sem lavagem, conservando água e influenciando a composição metabólica dos grãos de café (FIRDISSA *et al.*, 2022). O processamento Natural envolve a secagem dos grãos de café com a fruta ainda intacta, permitindo que um perfil de sabor único se desenvolva (ASWATHI *et al.*, 2022). Esses métodos afetam a composição química, os atributos sensoriais e a qualidade geral do café, destacando a importância do processamento pós-colheita na indústria do café.

### 3.7. CLASSIFICAÇÃO OFICIAL BRASILEIRA – PARÂMETRO FÍSICO

A qualidade física do grão de café exerce um impacto importante sobre a qualidade da bebida, pois os diversos aspectos físicos do grão como a presença de insetos, má formação, tamanho do grão, grãos deteriorados e/ou mofados, quantidade de defeitos e sujeira podem afetar o sabor e o aroma do café, resultando em um perfil de sabor desagradável (GETANEH; FANTA; SATHEESH, 2020; XU *et al.*, 2023).

A classificação física do café constitui um elemento crucial na indústria cafeeira. Entretanto, a abordagem predominante para esse processo é a classificação manual, caracterizada por sua natureza subjetiva e pela ausência de uma padronização uniforme. Essa carência de critérios de avaliação uniformes suscita desafios substanciais na precisa avaliação e classificação dos cafés, essa disparidade nos critérios de avaliação pode resultar em

inconsistências na análise sensorial do café, tornando complexa a comparação e classificação das amostras de café (PIZZAIA et al., 2018; PEREIRA et al., 2021b;).

O tamanho dos grãos de café é uma característica que, assim como a secagem, torra e rendimento, influencia diretamente a qualidade da bebida e a produção de cafés especiais. Além disso, também influencia na precificação, exportação e comercialização (RODRIGUES et al., 2014; COLODETTI et al., 2018).

Vale destacar que a qualidade física do grão de café é apenas um dos fatores que influenciam a qualidade da bebida (MUNYENDO *et al.*, 2021; SILVA, Camilla Sena da *et al.*, 2022; WIBOWO *et al.*, 2022). Conforme apontado por Ferreira et al. (2022), a qualidade física dos grãos de café é substancialmente influenciada pela altitude e pela radiação solar. Assim como Alixandre et al. (2023) ressaltam que diferentes cultivares de café e métodos de processamento pós-colheita também afetam o grão.

### 3.8. PARÂMETROS QUÍMICOS E ESPECTROMETRIA DE INFRAVERMELHO

De acordo com Brioschi Junior et al. (2021) e Pereira et al. (2020), as variáveis como a localização geográfica, o *terroir*, a microbiota e o clima, aliadas a técnicas de processamento e fermentação, exercem influência significativa na composição química dos grãos, refletindo, consequentemente, na qualidade sensorial da bebida. Neste contexto, a espectroscopia de infravermelho emerge como uma ferramenta valiosa para aprofundar o entendimento dessa influência. Essa técnica, que utiliza radiação infravermelha para analisar a composição química de uma amostra, é aplicada para identificar e quantificar diferentes compostos em uma ampla variedade de amostras químicas, biológicas, farmacológicas e materiais (MARTENS *et al.*, 2020).

A espectroscopia de infravermelho tem sido amplamente usada para analisar a qualidade, autenticidade e adulteração de alimentos (MENDES; DUARTE, 2021). Esta técnica mede o índice de refração e o coeficiente de absorção de um meio na faixa infravermelha usando componentes da faixa espectral visível. Isso permite a determinação do coeficiente de absorção e do índice de refração do meio na faixa do infravermelho, permitindo identificação das classes químicas presentes das amostras analisadas (KALASHNIKOV *et al.*, 2016; MCGILL *et al.*, 2021).



Rana; Kumar e Bhatia (2020) e Liang et al. (2022) destacam que esta técnica é um método rápido e preciso para detectar adulterações de alimentos com base nas características de impressão digital da matriz alimentar e rastrear variedades de alimentos e origens geográficas. Feng et al. (2021) adicionam ainda que a espectroscopia de infravermelho médio (MIR) combinada com técnicas quimiométricas tem sido particularmente eficaz na identificação de adulterações de alimentos.

Macedo et al. (2012) destacam que os pontos fortes da espectroscopia de infravermelho incluem sua capacidade de analisar uma ampla variedade de amostras e sua não invasividade, curto tempo de resposta e confiabilidade, enquanto, suas limitações incluem problemas de sensibilidade e seletividade, a necessidade de uma preparação cuidadosa da amostra e a interpretação subjetiva dos dados em alguns casos.

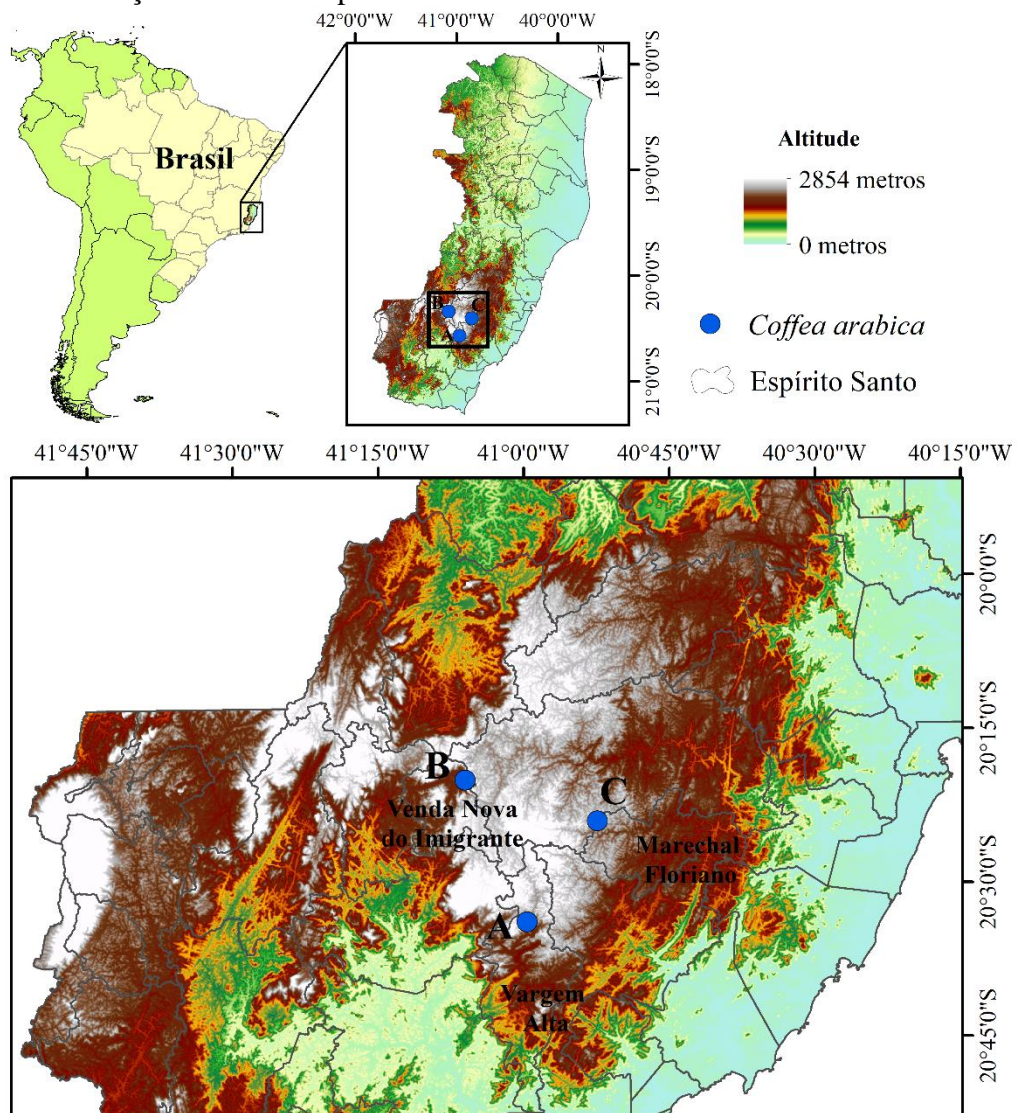
Barrios-Rodríguez et al. (2021) e Mendes e Duarte (2021) também descrevem a importância do uso da espectroscopia de infravermelho, principalmente, a espectroscopia de infravermelho médio (MIR), na análise de café. Enquanto Pires et al. (2021) e Robert et al. (2022) ressaltam que a MIR, combinada com técnicas quimiométricas, é uma alternativa rápida e precisa para detectar e prever a adulteração e autenticidade e do café.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. ÁREA DE ESTUDO E COLETA DO MATERIAL

O experimento foi realizado em três propriedades produtoras de café arábica localizadas nos municípios de Vargem alta (A) 20°33'26"S 41°00'12"W, Venda Nova do Imigrante (B) 20°19'35"S 41°06'24" W e Marechal Floriano (C) 20°23'41"S 40°52'47"W no Estado do Espírito Santo (Figura 2). Os cafés selecionados para este estudo foram da espécie *Coffea arabica*, da variedade Catuaí Vermelho provenientes da safra 2020, 2021 e 2022. A coleta dos frutos foi realizada em estágio cereja com maturação superior a 90% sendo realizada de forma manual e seletiva, sem contato com o solo.

Figura 2 - Localização das áreas experimentais.



Sistema de Coordenadas Geográficas  
SIRGAS2000

Fonte: o Autor

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO EDAFOCLIMÁTICA

O Modelo Digital de Elevação (MDE) da área em estudo foi proveniente do Brasil em Relevo (MIRANDA, 2005), que faz um processamento prévio das imperfeições caracterizadas por depressões espúrias, picos anômalos e pontos ou áreas com ausência de dados provenientes do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Sobre o Modelo Digital de Elevação foi extraído, com base nas coordenadas geográficas de cada propriedade por meio da ferramenta *Extract to point* do ArcGIS®, o valor referente a altitude elipsoidal, que foi convertida em altitude ortométrica através do Modelo hgeoHNOR2020 fornecido pelo IBGE para conversão de altitudes geométricas (dadas pelos GNSS) em altitudes físicas (compatíveis com o Datum Vertical do SGB) onde é convertido a altitude submetendo as coordenadas geodésicas (latitude, longitude) dos pontos cujas altitudes geométricas (h) deseja-se converter em altitudes normais (HN) compatíveis com as Referências de Nível (RRNN) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Como resultado, são fornecidos os fatores de conversão ( $\eta$ ), e respectivas incertezas, com que os usuários farão aquela conversão:  $HN = h - \eta$ .

O aspecto foi calculado sobre o MDE, aplicando-se a ferramenta *Aspect* do ArcGIS® e realizando a extração da informação referente a cada uma das três propriedades por meio da coordenada geográfica, utilizando a ferramenta *Extract to point*.

Os dados referentes ao tipo de solo das áreas em estudo foram obtidos em ambiente SIG (Software ArcGIS®), com base nas coordenadas geográficas, sobre os dados provenientes de Cunha et al. (2016).

Os dados climáticos necessários para elaboração deste estudo foram adquiridos do laboratório de climatologia, *TerraClimate*, com base nas coordenadas geográficas das lavouras por meio de script python transcrito no Google Colab. O *TerraClimate* é constituído pelos dados de clima mensal e o balanço hídrico climático para superfícies terrestres globais, com resolução espacial de aproximadamente 4 km<sup>2</sup> (ABATZOGLOU et al., 2018).

As variáveis utilizadas foram: temperatura máxima (tmax em °C), temperatura mínima (tmin em °C), radiação solar de ondas curtas (srad em W/m<sup>2</sup>), precipitação acumulada (ppt em mm) e déficit hídrico (def em mm).

Todas as variáveis analisadas foram baixadas mensalmente e agrupadas a nível anual, considerando, o décimo segundo mês do ano, como, o mês de coleta dos frutos de cada propriedade produtora de café analisada. Precipitação (ppt) e déficit hídrico (def) foram obtidas pela soma dos valores dos 12 meses que antecederam a coleta, resultando em valores

acumulados. As demais variáveis foram obtidas pela média referente aos 12 meses que antecederam a coleta.

A metodologia adotada para o cálculo da temperatura média anual ( $T_{med}$ ) envolveu a utilização da média dos valores mensais de temperatura, considerando os 12 meses que precederam o período de colheita. Especificamente, a  $T_{med}$  foi obtida através da média aritmética entre as temperaturas máxima ( $T_{max}$ ) e mínima ( $T_{min}$ ) registradas em cada um desses meses.

#### 4.3. PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS

A coleta de dados foi realizada de forma estratificada ao longo de três anos consecutivos, abrangendo as diferentes propriedades estudadas situadas na região de montanhas no estado do Espírito Santo. No ano de 2020, a coleta em Vargem Alta ocorreu no mês de julho, em Venda Nova do Imigrante no mês de agosto e em Marechal Floriano no mês de setembro. Em 2021, procedeu-se com a coleta nos meses de julho para as propriedades de Vargem Alta e Venda Nova do Imigrante, enquanto a coleta em Marechal Floriano foi realizada em novembro. No ciclo de 2022, a coleta foi realizada em setembro para a propriedade de Vargem Alta, em agosto para Venda Nova do Imigrante e em setembro para Marechal Floriano. Este cronograma foi estabelecido com objetivo de coletar o café com maturação mínima de 90%.

Após a colheita o café foi encaminhado para a unidade de processamento localizado no Laboratório de Análise e Pesquisa em Café (LAPC) no Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) - Campus Venda Nova do Imigrante.

Nesta etapa, os frutos passaram pelo processo de lavagem, onde os cafés que flutuam na água (secos, brocados, malformados e imaturos), comumente denominados “boias”, foram separados dos frutos cerejas e verdoengos. Após a lavagem, parte dos frutos foram descascados com o equipamento BLASI-10, da Blasi<sup>®</sup>.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e quatro tratamentos, descritos a seguir:

- Tratamento 1 (Lavado ou *Washed*): 4 litros de café cereja descascado, com adição de 2 litros de água, posto em repouso em tanque de fermentação por 36 horas, seguido de secagem em terreiro suspenso.

- Tratamento 2 (Fermentação com levedura ou *Yeast fermentation*): 4 litros de café cereja descascado, sem remoção da mucilagem, com inoculação de 1% (parte por volume) de *Saccharomyces Cerevisae*, com adição de 2 litros de água, posto em repouso em tanque de fermentação por 36 horas, seguido de secagem em terreiro suspenso.
- Tratamento 3 (Cereja descascado ou *Semi-dry*): 4 litros de café cereja descascado, sem remoção da mucilagem, posto diretamente em repouso em terreiro suspenso para o processo de secagem.
- Tratamento 4 (Natural): 4 litros de café natural posto diretamente em repouso em terreiro suspenso para o processo de secagem.

#### 4.4. SECAGEM DAS AMOSTRAS DE CAFÉ

Após o período de fermentação as amostras de cada tratamento foram levadas para a etapa de secagem. Os cafés foram secos ao sol em estufa suspensa até atingirem aproximadamente 11 % de teor de umidade (base úmida) para armazenamento com segurança, afim de eliminar o risco de elevadas taxas de respiração e desenvolvimento de fungos e bactérias, preservando o aroma e sabor.

#### 4.5. PROCESSO DE TORREFAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para as análises sensoriais e químicas as amostras foram preparadas no laboratório de análise sensorial do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Venda Nova do Imigrante, onde foram passadas em máquinas de pré-limpeza específicas da linha laboratorial Pinhalense-DRC para separação das cascas e pergaminhos, sendo então selecionadas por tamanho, em peneira de 16 mesh acima. Os cafés beneficiados foram catados, separando os frutos com defeitos intrínsecos e extrínsecos, permitindo apenas a torra de grãos considerados perfeitos.

O processo de torra foi realizado utilizando o torrador Probatino da Probat<sup>®</sup> com o conjunto de discos Agtron-SCAA, e o ponto de torrefação das amostras estavam entre as cores determinadas pelos discos #55 a #58 para cafés especiais (SCAA, 2015). O processo de torra foi executado com 24 horas de antecedência da análise sensorial e a moagem respeitou o tempo de 8 h de descanso após a torra. Todas as amostras foram torradas de 8 min e 30 segundo a 12 min e, após torrefação e resfriamento, as amostras permaneceram lacradas, conforme

metodologia de análise sensorial estabelecida pelo SCAA. Para cada amostra foi separado café torrado para as análises químicas.

#### 4.6. ANÁLISE SENSORIAL DESCRITIVA PELO MÉTODO DA *SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION* - SCA

As amostras de café foram moídas com um moedor elétrico Bunn G3, com tamanho de partícula médio/grosso. Cada lote de café foi degustado com 5 xícaras, sendo adotada a concentração ótima de 8,75 g de café moído em 150 ml de água, de acordo com o protocolo da SCAA (2015). O ponto de infusão da água foi quando esta atingiu temperaturas entre 92 e 95 °C. Os *Q-Graders* iniciaram as avaliações quando a temperatura dos copos atingiu 55 °C, respeitando o tempo de 4 min para degustação após a infusão.

A qualidade do café foi avaliada por meio do Protocolo para Análise Sensorial da *Specialty Coffee Association* (2015) com 6 *Q-Graders*. O número de *Q-Graders* em um painel sensorial foi inicialmente proposto por Pereira et al. (2018b) A qualidade de um café, uma vez avaliada através do protocolo SCAA (2015), é expressa por uma escala numérica centesimal. A forma de degustação oferece a possibilidade de avaliar onze (11) atributos importantes para o café: Fragrância/Aroma, Sabor, Retrogosto, Acidez, Corpo, Equilíbrio, Uniformidade, Xícara Limpa, Doçura, Avaliação Global e Defeitos.

#### 4.7. ANÁLISE DE INFRAVERMELHO

Os espectros de infravermelho médio das amostras de café torrado e moído foram obtidos em um espectrômetro modelo Cary 630 FTIR do fabricante Agilent Technologies, num acessório ATR (Reflexão Total Atenuada do inglês, attenuated total reflectance) de diamante com ângulo de reflexão de 45 °, 1 mm de diâmetro, 200 mm de área ativa e aproximadamente 2 mm de profundidade de penetração na amostra, utilizando um detector de reflectância de Seleneto de Zinco (ZnSe). O espectro registrado foi obtido como a média de 8 varreduras consecutivas, com resolução de 4 cm<sup>-1</sup> na faixa de trabalho de 4000 a 630 cm<sup>-1</sup>. Para cada amostra foram confeccionadas seis pastilhas, cada pastilha continha 3 g de café moído formado em prensa manual sem adição de KBr (TAVARES, Katiany Mansur *et al.*, 2012b).

Durante a análise, o FTIR emite radiação infravermelha através das amostras, absorvidas em frequências específicas que são características de diferentes ligações químicas

gerando os espectros de infravermelho. Os espectros resultantes são analisados e comparados com dados publicados na literatura para identificação das classes químicas presentes.

#### 4.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os experimentos foram realizados utilizando um delineamento em blocos casualizados com quatro tratamentos e 4 repetições estruturado a partir de um fatorial triplo  $4 \times 3 \times 3$ , correspondendo a quatro processamentos de café (1 – *Washed*, 2 - *Yeast Fermentation*, 3 - *Semi-dry*, 4 – *Natural*), três propriedades em diferentes altitudes (Venda Nova do Imigrante a 956 m, Marechal Floriano a 1033 m, Vargem Alta a 1100 m) e três anos consecutivos (2020, 2021 e 2022). As médias das notas sensoriais finais comparadas pelo teste de Tukey, os modelos de regressão testados pelo teste F (ANOVA) e os estimadores pelo teste T de Student a 5% de significância.

Foram realizadas análises de componentes principais para agrupar os 12 cafés, oriundos de três propriedades e de quatro processamento, quanto às características sensoriais e nuances, mediante exames visuais em dispersões gráficas e vetoriais. Para as análises estatísticas foi utilizado o programa R (R Core Team, 2023).

Os espectros IV originais foram organizados em uma matriz de formato  $X (I \times J)$ , onde cada linha corresponde a uma amostra e cada coluna a uma variável de número de onda, e cada repetição obtida foi considerada uma amostra. Todos os cálculos foram realizados nos softwares Matlab versão R2016a e Microsoft Excel versão 2016. Antes de aplicar as ferramentas quimiométricas ao conjunto de dados, a correção multiplicativa de dispersão (MSC) foi utilizada como recurso de processamento de dados. Os dados foram centrados na média e posteriormente submetidos à análise exploratória por meio da técnica multivariada de análise de componentes principais (PCA).

#### 4.9. CORRELAÇÃO DE PEARSON

Foi utilizado a correlação de Pearson para analisar a relação entre as médias dos parâmetros sensoriais e as médias dos dados climáticos anualizados. Essa técnica estatística determina a força e a direção da relação linear entre duas variáveis quantitativas, empregando um coeficiente que varia de -1 a +1. Valores próximos a -1 indicam uma correlação negativa perfeita, valores próximos a 0 sugerem a ausência de correlação, e valores próximos a +1

refletem uma correlação positiva perfeita. Este método é amplamente utilizado para avaliar as interdependências entre variáveis, facilitando a interpretação de tendências e padrões nos dados.

Para realizar esta análise, foram utilizadas as médias dos dados sensoriais e climáticos e posteriormente correlacionadas. Adotou-se a escala padrão do coeficiente de Pearson para classificar os resultados da correlação: coeficientes próximos a -1 denotam uma forte correlação negativa, coeficientes em torno de zero indicam a falta de correlação e coeficientes próximos a +1 mostram uma forte correlação positiva. A análise foi efetuada a partir do *software Excel* versão 2016.



## 5. RESULTADOS

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO EDAFOCLIMÁTICA

A Tabela 1 apresenta os dados edáficos e os dados climáticos coletados durante o ano safra em três propriedades diferentes (A, B e C), abrangendo os anos de 2020, 2021 e 2022, detalhando a altitude, aspecto, tipo de solo e as variações de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura média (Tmed), radiação solar (Srad), precipitação (Ppt) e déficit hídrico (Def), demonstrando as características ambientais de cada propriedade.

Tabela 1. Dados edafoclimáticos do ano safra das propriedades analisadas

Propriedade /Ano	Município	Altitude	Aspecto	Tipo de solo	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	Srad (W/m <sup>2</sup> )	Ppt (mm)	Def (mm)
A/20	Vargem Alta	1100 m	Nordeste	Cambissolo Háptico	23,93	12,71	18,32	2041	1205	117,8
A/21					23,95	12,77	18,36	2172,4	1092	127,4
A/22					23,88	12,63	18,25	2158,9	1134	207,7
B/20	Venda Nova do Imigrante	956 m	Sul	Argissolo Vermelho	23,37	12,77	18,07	2050	1228	76,2
B/21					23,23	12,68	17,96	2181	1135	109,4
B/22					23,32	12,73	18,02	2169,5	1159	171,8
C/20	Marechal Floriano	1033 m	Sul	Latossolo Amarelo	23,59	12,78	18,18	2110,9	1216	99,6
C/21					23,26	12,46	17,86	2148,9	1232	92,8
C/22					23,32	12,48	17,90	2158,7	1169	161

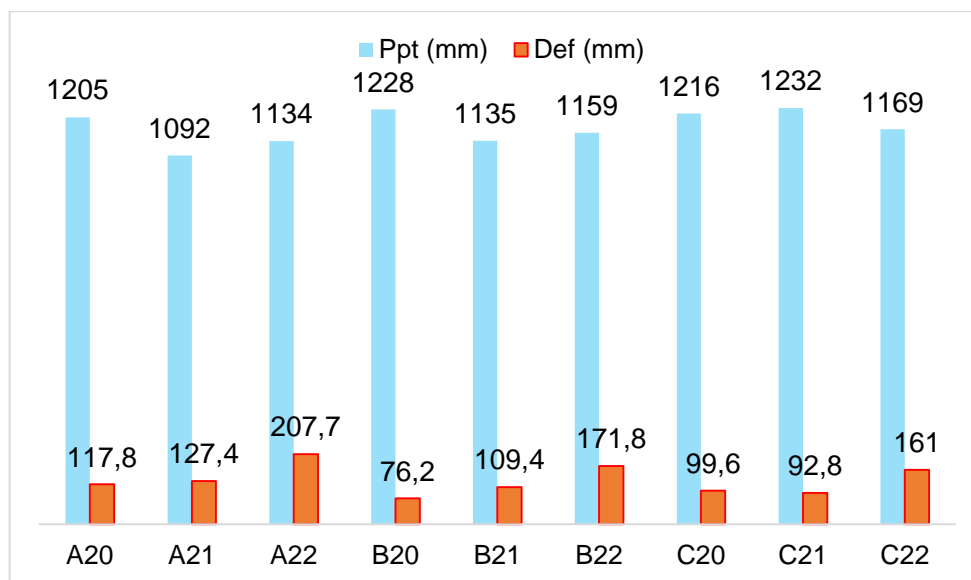
Fonte: Dados da pesquisa

Os dados climáticos apresentados na Tabela 1 oferecem uma visão detalhada das condições ambientais e suas variações entre as propriedades A, B e C ao longo dos anos safra de 2020 a 2022. Observa-se que as temperaturas máximas (Tmax), as temperaturas mínimas (Tmin) e médias (Tmed) se mantiveram relativamente constantes em cada propriedade, apresentando variações sutis, indicando uma estabilidade térmica nas áreas estudadas. Essas temperaturas máximas se encontraram próximas a faixa ideal de 18°C a 23°C para cultivo de café arábica (ASSAD *et al.*, 2004), enquanto as mínimas ficaram abaixo dessa faixa ideal.

As características edáficas e topográficas respectivamente, influenciam diretamente a retenção de água, aeração do solo e exposição solar, fatores críticos para o desenvolvimento das culturas, evidenciando a complexidade do manejo agrícola adaptado a cada especificidade local.

A precipitação (Ppt), radiação solar (Srad) e déficit hídrico (Def) apresentam variações mais proeminentes entre os anos, conforme ilustrado na Figura 3 das variações dos dados hidrológicos nas propriedades durante os anos de 2020 a 2022.

Figura 3 - Variação anual da precipitação (Ppt) e do déficit hídrico (Def) para os anos agrícolas de 2020 a 2022.



Fonte: Dados da pesquisa

Em 2020, observou-se um ano de maior precipitação, menor radiação solar e menor déficit hídrico. No entanto, nos anos subsequentes ocorreu uma inversão desses padrões, destacando a diminuição da precipitação e aumento do déficit hídrico ao decorrer do período de estudo. Tais variações são significativas, especialmente considerando que os níveis médios anuais de precipitação adequados para o cultivo do café arábica oscilam entre 1.200mm e 1.800mm (THOMAZIELLO *et al.*, 2000), fatores que afetam diretamente a disponibilidade de água para as plantas, incidindo sobre a floração e desenvolvimento do fruto.

## 5.1. ANÁLISE SENSORIAL

A Tabela 2 apresenta uma análise estatística comparativa das médias da pontuação final da qualidade de café processado por quatro diferentes métodos (*Washed*, *Yeast Fermentation*, *Semi-dry* e *Natural*) realizada em três propriedades localizadas em altitudes variadas: Venda Nova do Imigrante (956 m), Marechal Floriano (1033 m), e Vargem Alta (1100 m), abrangendo três safras consecutivas (2020, 2021 e 2022). Essa análise multidimensional visa elucidar o impacto combinado das condições de cultivo e técnicas de processamento sobre o perfil sensorial final do café.

Tabela 2 - Médias da característica de pontuação final avaliadas em quatro processamentos e três experimentos, para os anos de 2020, 2021 e 2022.

Ano	Tratamento	Venda Nova do Imigrante (956 m)	Marechal Floriano (1033 m)	Vargem Alta (1100 m)	Média
2020	<i>Washed Yeast Fermentation</i>	83.53 b	84.27 a	82.52 a	83.44 b
	<i>Semi-dry</i>	85.27 ab	83.92 a	83.62 a	84.27 ab
	<i>Natural</i>	83.94 ab	83.59 a	83.51 a	83.68 ab
	<i>Natural</i>	86.12 a	84.69 a	84.20 a	85.00 a
	Média	84.71	84.12	83.46	
2021	<i>Washed Yeast Fermentation</i>	79.97 a	87.09 a	82.25 ab	83.10 a
	<i>Semi-dry</i>	80.29 a	86.90 a	83.29 a	83.49 a
	<i>Natural</i>	79.72 a	85.63 ab	83.57 a	82.97 a
	<i>Natural</i>	80.00 a	84.08 b	80.32 b	81.47 b
	Média	79.99	85.92	82.36	
2022	<i>Washed Yeast Fermentation</i>	81.45 a	82.80 a	82.00 a	82.08 a
	<i>Semi-dry</i>	81.15 a	82.43 a	81.33 a	81.63 a
	<i>Natural</i>	80.10 a	82.63 a	81.10 a	81.28 a
	<i>Natural</i>	79.68 a	82.70 a	82.45 a	81.61 a
	Média	80.59	82.64	81.72	
	Média Geral	82.84			
	CV (%)	1.61			

<sup>1</sup>Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No ano de 2020, foi constatado que os métodos de tratamento Natural atingiram as maiores avaliações sensoriais. No entanto, essa variação nas notas sensoriais dos tratamentos não se mostrou estatisticamente significativa nas áreas de Marechal Floriano (1033m) e Vargem Alta (1100m).

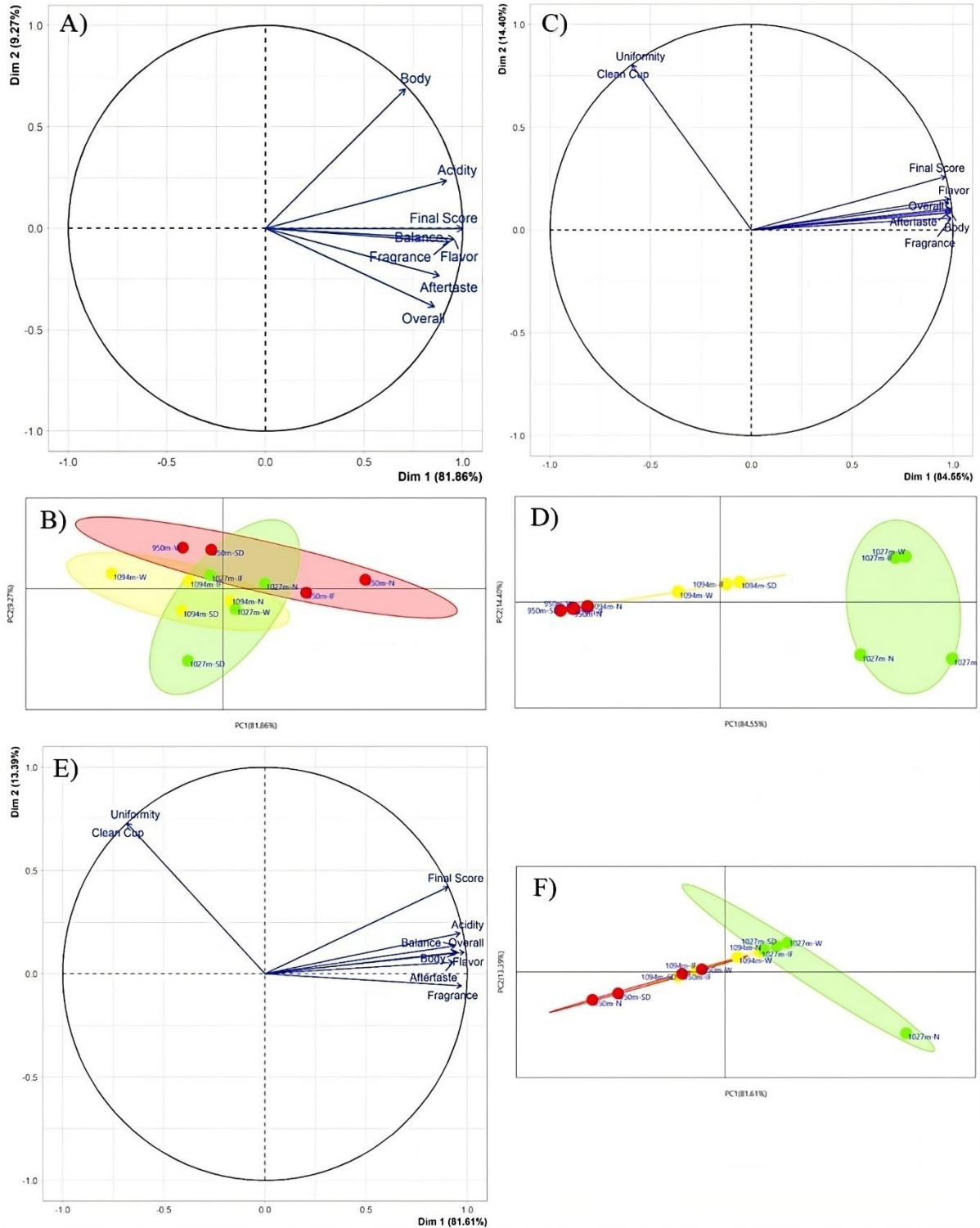
Em 2021 a qualidade da bebida em Venda Nova do Imigrante a 956m, não variou significativamente entre os diferentes processamentos. Em contrapartida, em Marechal Floriano (1033m) o método Natural não diferiu do *Semi-dry* enquanto o tratamento *Washed* se destacou ao atingir 87,09 pontos e Vargem Alta (1100m), o Natural não diferiu do *Washed*.

A Tabela 2 ainda revela que não foram detectadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos nos três experimentos em 2022. Adicionalmente, observa-se que os experimentos registraram médias gerais inferiores nesse ano, em comparação aos períodos anteriores.

Embora não tenha sido observada uma diferença estatística significativa entre os tratamentos aplicados em Venda Nova do Imigrante nos anos de 2021 e 2022, os métodos de processamento *Washed* e *Semi-dry* em 2021, bem como o método Natural em 2022, não alcançaram a pontuação mínima de 80 pontos estabelecida pelo protocolo da *Specialty Coffee Association of America* (SCAA) para serem classificados como cafés especiais.

A Figura 3 apresenta diagramas de dispersão baseados na análise dos dois primeiros componentes principais. Estas figuras destacam as diferenças sensoriais entre 12 amostras de café, originadas de três localidades com diferentes altitudes e submetidas a quatro processamentos (*Washed*, *Yeast Fermentation*, *Semi-dry* e Natural), nos anos de 2020, 2021 e 2022, respectivamente. Estes diagramas permitem uma visualização dos agrupamentos e das relações entre as características sensoriais dos cafés, oferecendo uma perspectiva valiosa sobre como os fatores estudados contribuem para a diversidade sensorial do café.

Figura 4 - Diagrama de dispersão (A, C e E) e gráfico de agrupamento (B, D e F) em relação aos dois primeiros componentes principais, obtido a partir de características sensoriais, de 12 cafés obtidos de três altitudes e quatro processamentos nos anos (A e B) 2020, (C e D) 2021 e (E e F) 2022.



O gráfico da Figura 4B apresenta a dispersão dos 12 cafés de três altitudes e quatro processamentos quanto às características sensoriais, e pode-se observar que a dispersão com base nas coordenadas relativas aos dois primeiros componentes principais, CP1 e CP2 (Dimensões), que formaram três grupos distintos e que os dois componentes absorveram 91,13% da variação existentes nas características originais, sendo o CP1 (Dim1) com 81,86% e o CP2 (Dim2) com 9,27%.

A Figura 4B mostra a formação de três grupos e que estes resultados confirmam o apresentado pela Tabela 2, sendo o grupo A (cor amarela) formado pelos cafés processados na altitude 1033 m, com a menor média de notas finais dos processamentos, apresentando a menor nota final - 82.52 pontos, café oriundo do processamento *washed* e altitude 1100 m; seguido do grupo B (cor vermelha), formado pelos cafés processados na altitude de 956 metros, com maior média de notas finais dos processamentos, apresentando a maior nota final - 86.12 pontos, café oriundo do processamento natural e altitude 956 m e, por fim, o grupo C (cor verde), formado por cafés processados na altitude 1033 metros de altitude.

As figuras 4C e 4D mostram uma dispersão distinta entre os cafés processados em diferentes altitudes e anos, indicando a influência significativa ambiental no perfil sensorial do café.

A Figura 4F mostra uma separação distinta entre os grupos de cafés, principalmente ao longo do primeiro componente principal (PC1), que pode estar capturando variações significativas nas características sensoriais dos cafés devido às diferenças nas práticas de processamento e nas condições ambientais em que os grãos foram cultivados.

Para investigar a influência das práticas de processamento sobre a qualidade do café ao longo de diferentes períodos anuais, a presente análise estatística concentrou-se em fixar o experimento e avaliar como os diferentes níveis de processamento afetaram os resultados ano a ano. Este enfoque permite uma compreensão mais detalhada da dinâmica entre as metodologias de processamento e a influência das flutuações climáticas anuais na qualidade sensorial da bebida do café.

A Tabela 3 oferece uma visão comparativa da qualidade sensorial do café, avaliada através da pontuação final, em resposta a diferentes métodos de processamento ao longo de três anos consecutivos. Essas tabelas detalham os resultados obtidos nos experimentos conduzidos em Venda Nova do Imigrante (956 m), Marechal Floriano (1033 m), e Vargem Alta (1100 m), proporcionando uma análise profunda sobre como os processos de *Washed*, *Yeast*

*Fermentation*, *Semi-dry* e *Natural* influenciam a qualidade final do café. Esta análise busca entender as dinâmicas e variações da qualidade sensorial do café em diferentes contextos ambientais e das práticas de processamento sobre a bebida.

Tabela 3 - Médias da característica de pontuação final avaliadas em quatro tratamentos e três anos, para o experimento de Vargem Alta (1100m), Venda Nova do Imigrante (956 m) e Marechal Floriano (1033m).

Propriedade	Tratamento	2020	2021	2022	Média
Vargem Alta (1100 m)	<i>Washed</i>	82.52 a	82.25 ab	82.02 a	82.26 a
	<i>Yeast Fermentation</i>	83.62 a	83.29 a	81.33 a	82.75 a
	<i>Semi-dry</i>	83.51 a	83.57 a	81.08 a	82.72 a
	<i>Natural</i>	84.20 a	80.32 b	82.42 a	82.31 a
	Média	83.46	82.36	81.71	
Venda Nova do Imigrante (956 m)	<i>Washed</i>	83.53 b	79.97 a	81.44 a	81.65 a
	<i>Yeast Fermentation</i>	85.27 ab	80.29 a	81.15 a	82.24 a
	<i>Semi-dry</i>	83.94 ab	79.72 a	80.09 a	81.25 a
	<i>Natural</i>	86.11 a	80.00 a	79.69 a	81.93 a
	Média	84.71	79.99	80.59	
Marechal Floriano (1033 m)	<i>Washed</i>	84.28 a	87.08 a	82.80 a	84.72 a
	<i>Yeast Fermentation</i>	83.93 a	86.90 a	82.43 a	84.42 a
	<i>Semi-dry</i>	83.60 a	85.65 ab	82.63 a	83.96 a
	<i>Natural</i>	84.73 a	84.08 b	82.70 a	83.83 a
	Média	84.13	85.93	82.64	
Média Geral		82.84			
CV (%)		1.61			

<sup>1</sup>Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Tabela 3 mostra a evolução anual da qualidade da bebida ao longo dos anos em Vargem Alta, com uma tendência de decréscimo em geral, sendo observada uma relação linear significativa entre nota final e ano ( $Y=-0.25 \cdot X+82,7639$  e  $R^2=0.9977^*$ ). O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) indica uma correlação muito forte entre os anos e as notas finais, sugerindo que a regressão linear explica quase totalmente a variação nos dados. Essa tendência pode ser parcialmente explicada pelos dados climáticos da Tabela 1, onde se observa uma diminuição da precipitação e aumento do déficit hídrico ao longo dos anos.

Em Vargem Alta (1100m), não foi observado diferença estatística entre os tratamentos aplicados nos anos de 2020 e 2022, enquanto em 2021, os métodos de fermentação por leveduras (*Yeast Fermentation*) e *Semi-dry* se diferenciam positivamente dos demais, já o tratamento *Washed* não se diferenciou estatisticamente dos demais tratamentos.

Conforme demonstrado na Tabela 3, observa-se que em Venda Nova (956m) no ano de 2020 o método de processamento Natural não apresentou diferenças significativas em relação aos *Yeast Fermentation* e *Semi-dry*, mas se sobressaiu em termos de qualidade final quando comparado ao método *Washed*. Já nos anos seguintes, é observado a ausência de diferenças significativa entre os tratamentos aplicados, entretanto é observado um declínio nos valores absolutos da qualidade global da bebida ao decorrer dos anos.

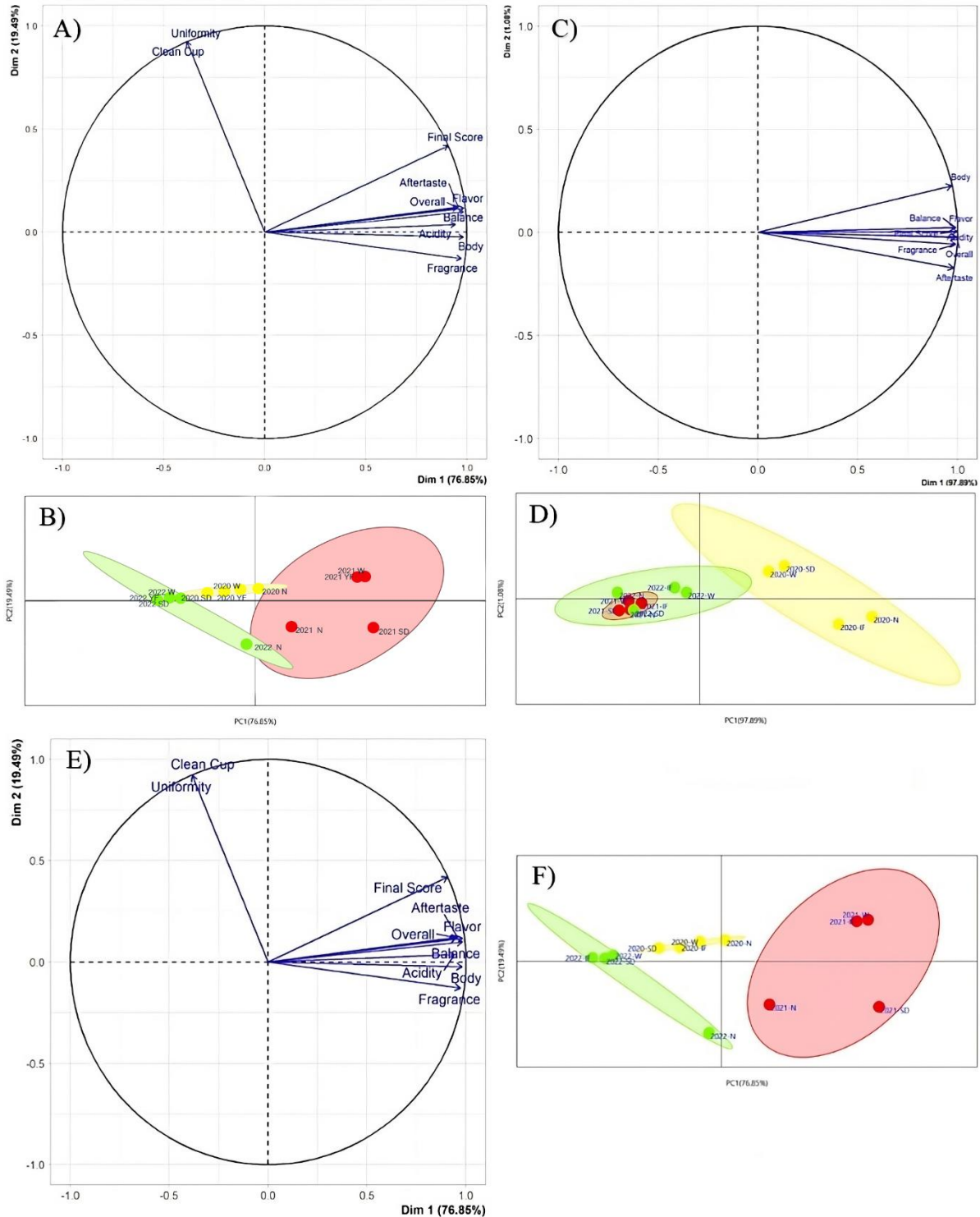
Ainda de acordo com a Tabela 3, observou-se que em Marechal Floriano (1033m), as variações entre os quatro métodos de processamento do café não provocaram diferenças significativas nas médias das notas finais nos anos de 2020 e 2022. Entretanto, em 2021, destaca-se a menor eficiência do processamento natural, que registrou a menor nota final em comparação com o processamento *Washed* e *Yeast Fermentation*.

Alinhado com o que foi observado em Vargem Alta, Marechal possuiu uma queda geral no ano de 2022, diferindo de Venda Nova do Imigrante que teve pior média global no ano de 2021.

As análises representadas na Figura 5 apresentam gráficos de dispersão dos componentes principais. Esses gráficos ilustram as variações sensoriais em 12 amostras de café, provenientes de três diferentes propriedades e altitudes, submetidos a quatro métodos de processamento (*Washed*, *Yeast Fermentation*, *Semi-dry* e Natural), ao longo dos anos de 2020, 2021 e 2022 respectivamente.



Figura 5 - Diagrama de dispersão (A, C e E) e gráfico de agrupamento (B, D e F) em relação aos dois primeiros componentes principais, obtido a partir de características sensoriais, de 12 cafés obtidos de três anos e quatro processamentos, em (A e B) Vargem Alta a 1100 m, (C e D) Venda Nova a 956m e (E e F) referente a Marechal Floriano.



Na Figura 5A, atributos como uniformidade, nota final, sabor, entre outros, são representados como vetores, indicando a direção e magnitude de sua influência nas amostras. As amostras distribuídas no quadrante superior esquerdo da Figura 4B, portanto, são aquelas

que possuem uma maior correspondência com as características apontadas pelos vetores mais proeminentes na Figura 5A. Isso sugere que essas amostras compartilham qualidades sensoriais similares que são representadas pelos vetores como uniformidade, sugerindo uma consistência na qualidade do café em termos dessas características específicas. A separação por grupos de acordo com ano, como mostra a Figura 5B, evidencia as condições climática diferentes em cada ano impactaram de forma distintas a os parâmetros sensoriais da bebida do café.

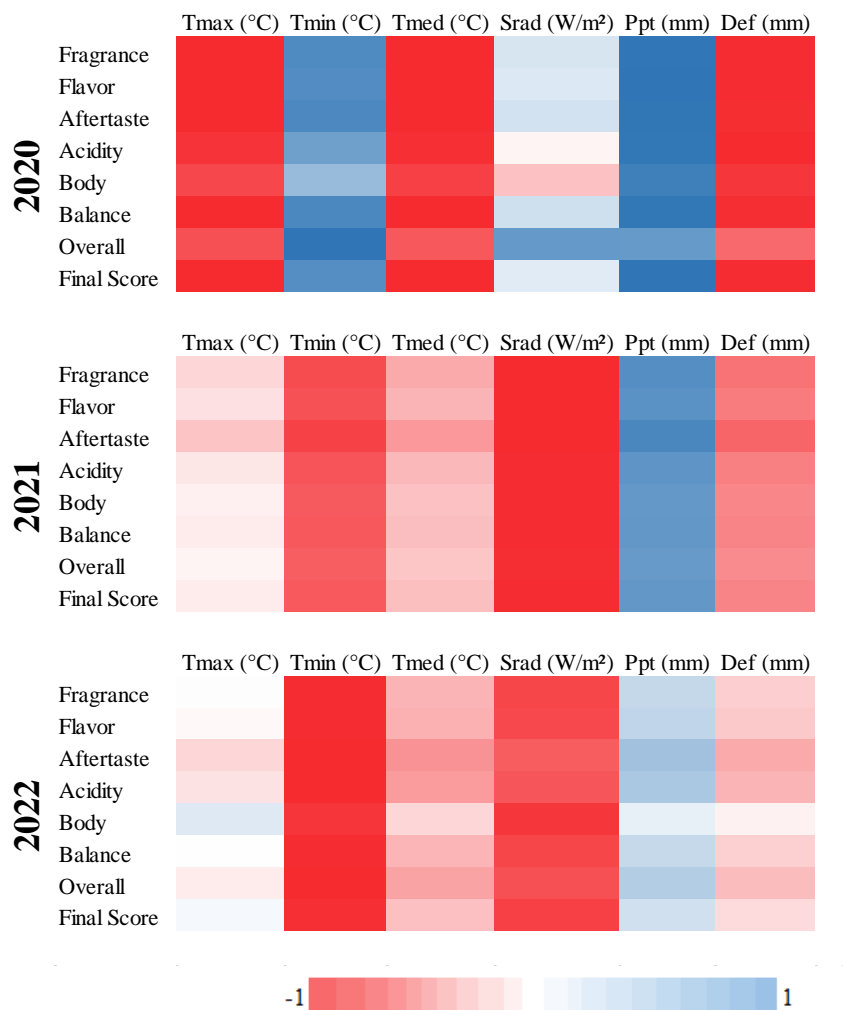
Os agrupamentos observados na Figura 5D está em consonância com os dados sensoriais da Tabela 3, evidenciando a superioridade do ano de 2020 em termos de qualidade da bebida em Venda Nova do Imigrante.

A Figura 5E, revela uma distinta variação nas características de sabor, atribuída aos diferentes métodos de processamento e às condições anuais de cultivo. A dim 1 destaca-se na captura de variações relacionadas ao paladar geral e à qualidade percebida, enquanto a dim 2 parece estar mais associada à uniformidade e à limpeza da amostra, componentes críticos na avaliação sensorial do café.

A Figura 5F, ilustra os grupamentos de 2021 em altitude de 1033 metros (Marechal Floriano) mostrando clara distinção entre os anos de safra analisados.

A Figura 6 apresenta como resultado um espectro quantitativo das interações entre condições climáticas e os atributos sensoriais do café ao longo dos anos de 2020 a 2022. Mediante a aplicação do coeficiente de correlação de Pearson, identificam-se associações que são distintamente representadas em uma escala cromática que transita do vermelho ao azul, correspondendo a variações de correlação de negativa a positiva. Estes resultados evidenciam a influência variável de parâmetros como a temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura média (Tmed), radiação solar (Srad), precipitação (Ppt) e déficit hídrico (Def) nos aspectos sensoriais do café, tais como fragrância, sabor, retrogosto, acidez, corpo e equilíbrio.

Figura 6 - Mapa de calor representando a correlação entre as variáveis climáticas e os atributos sensoriais do café nos anos de 2020 a 2022.



Fonte: Dados da pesquisa

Em 2020, há uma correlação positiva entre a temperatura mínima e precipitação com os atributos sensoriais. Já a temperatura máxima e o déficit hídrico apresentam correlação negativa, enquanto a radiação solar apresentou uma correlação positiva para overall e negativa para corpo. Em 2021, as correlações entre temperatura mínima, radiação solar e déficit hídrico se destacam com impacto negativo na qualidade sensorial e somente a precipitação apresenta uma correlação positiva.

Para o ano de 2022, observa-se que a temperatura máxima possui correlação levemente positiva para corpo (body) e pontuação final (final score). Já para retrogosto (aftertaste), acidez (acidity) e geral (overall) apresenta uma leve correlação negativa. A precipitação não apresenta uma correlação positiva tão pronunciada quanto nos anos anteriores, o mesmo acontece para déficit hídrico, que não apresenta uma influência negativa tão forte como apresentado

anteriormente. Estes padrões são indicativos do quão complexos são as interações dos elementos climáticos e a qualidade do café, com variações anuais significativas que requerem uma compreensão profunda para práticas de cultivo e processamento ajustadas às condições edafoclimáticas específicas.

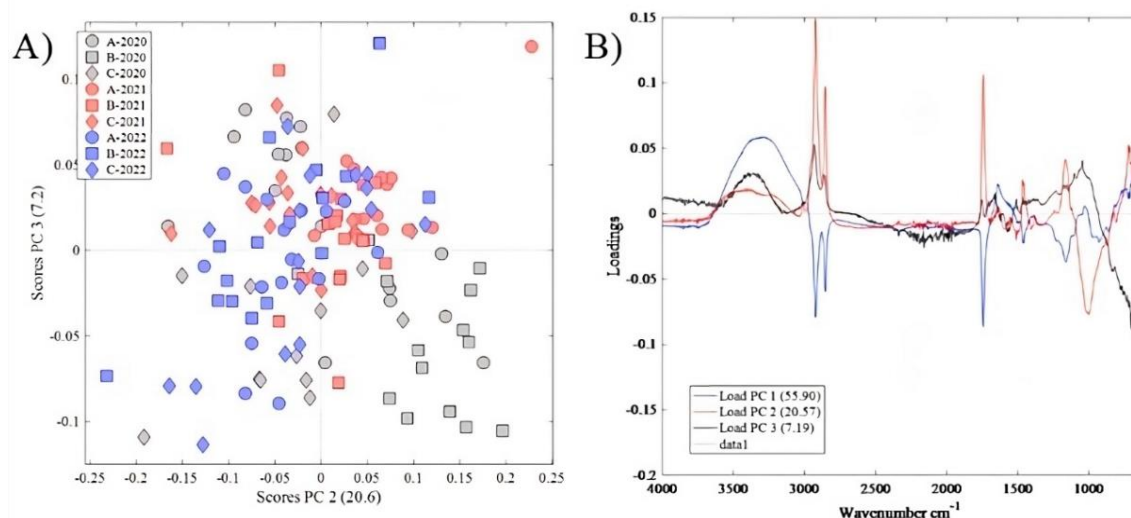
No período de 2020 a 2022, observa-se que variações significativas na precipitação e no déficit hídrico coincidem com mudanças nos perfis sensoriais do café, conforme demonstrado pelo mapa de calor. Anos com precipitação elevada mostram tendências de correlação positiva a qualidade do café, enquanto o aumento do déficit hídrico está associado a pontuações sensoriais inferiores. Estes resultados indicam que o manejo adequado da água e o entendimento das condições climáticas locais são fundamentais para a manutenção e a melhoria da qualidade sensorial do café, reforçando a necessidade de estratégias agrícolas adaptativas e técnicas de pós colheita que sejam positivas sensorialmente ante as variações climáticas.

### 5.1. PAINEL INFRAVERMELHO

A análise de componentes principais (PCA) sobre os espectros de Infravermelho médio (FTIR) revelou padrões distintos de variação química entre as amostras de café das propriedades de Vargem Alta, Venda Nova do Imigrante e Marechal Floriano ao longo dos anos de 2020, 2021 e 2022. Os espectros de FTIR capturam a absorção molecular em diferentes regiões do espectro de infravermelho, refletindo a composição química das amostras de café e, conseqüentemente, seus perfis de sabor e qualidade.

A Figura 7A apresenta uma análise exploratória multivariada dos atributos químicos do café arábica, obtidos através de espectrometria de infravermelho. As amostras são provenientes de três propriedades distintas, Vargem Alta (A), Venda Nova do Imigrante (B) e Marechal Floriano (C) durante os anos de 2020, 2021 e 2022. A análise de componentes principais (PCA), demonstra a distribuição dos dados de cada propriedade (A, B e C) para os anos indicados, exibindo a dispersão entre as propriedades e destacando as diferenças interanuais dos perfis químicos do café. Complementarmente, o a Figura 7B exibe os perfis de *loadings* (coeficientes que indicam o peso ou contribuição de cada variável original na formação de cada componente principal) das componentes principais advindos de espectros de infravermelho. A análise detalhada destes *loadings* permite a identificação de regiões espectrais que são potencialmente responsáveis por características sensoriais distintas no café, fundamentais para a diferenciação relacionada às propriedades analisadas.

Figura 7 - A) Distribuição espacial das amostras de café arábica nas propriedades Vargem Alta (A), Venda Nova do Imigrante (B) e Marechal Floriano (C) ao longo dos anos de 2020 (azul), 2021 (vermelho) e 2022 (cinza), representadas em projeções a partir dos componentes principais (PCA). 2B) Perfis de *loadings* dos três principais componentes principais obtidos da Análise de Componentes Principais (PCA) de amostras de café.



Fonte: Dados da pesquisa

A análise de PCA aplicada aos dados espectrométricos de infravermelho mostra uma tendência de separação no ano de 2020 na PC2 positiva, enquanto o ano de 2022 tem tendência de se separar na PC2 negativa. Ao longo da PC3, é observado que os anos de 2020 e 2022 se separam na parte negativa do gráfico, e o ano de 2021 tende a se separar na PC3 positiva, indicando que houve uma diferenciação dos perfis químicos nos anos analisados.

Na componente 2, uma região de carga positiva localizado aproximadamente a 1650  $\text{cm}^{-1}$  pode indicar a presença de ácidos carboxílicos e aldeídos, sendo proeminente nas amostras de 2020. Em contraste com 2022 que exibe uma região de carga negativa em torno de 1550  $\text{cm}^{-1}$ , já para a PC3, caracterizando as amostras de 2021 exibe um pico positivo em 1450  $\text{cm}^{-1}$ . A Figura 7A ainda apresenta o agrupamento dos dados espectrométricos das propriedades A, B e C em conjunto com os anos de análise. Ela revela uma tendência de agrupamento conforme a localização geográfica das amostras, independente do ano de colheita. As amostras de uma mesma propriedade tendem a agrupar-se mais próximas umas das outras do que com amostras de propriedades diferentes.

A distinção entre as propriedades é evidenciada principalmente ao longo da PC2 (Figura 7A). As amostras da propriedade Vargem Alta (A) distribuem-se ao longo de toda a extensão do PC2, sem uma concentração definida na região positiva ou negativa no ano de 2020. Entretanto, no ano de 2021 é observado uma tendência de separação ao longo da PC2 e PC3 positiva, enquanto que o ano de 2022 se encontra na PC2 negativa. Esta tendência pode ser

correlacionada aos picos nos *loadings* de PC2, na região espectral de  $1700\text{ cm}^{-1}$  e  $3000\text{ cm}^{-1}$  nas amostras de 2021 em comparação com amostras de anos anteriores.

As amostras de Venda Nova do Imigrante (B) tendem a se agrupar na região positiva da PC2 no ano de 2020, enquanto que no ano de 2021 há tendência de se agrupar ao longo da PC2 positiva. Para o ano 2022 não demonstrou tendência significativa, resultando em amostras mais dispersas. Esta tendência pode ser correlacionada a uma banda proeminente nos *loadings* de PC2, aproximadamente entre  $2800$  e  $3000\text{ cm}^{-1}$ , nas amostras de 2020 em comparação com amostras dos anos subsequentes, que são mais dispersas no gráfico de PCA e não mostram essa tendência.

Para Marechal Floriano (C), no ano de 2020 observa-se uma tendência de agrupamento na região negativa da PC2 e PC3, enquanto no ano de 2021 as amostras se distribuem na região negativa da PC2 e positiva da PC3. Em 2022 não é observado nenhuma tendência de agrupamento. Um pico no *loading* da PC3, aproximadamente a  $3000\text{ cm}^{-1}$ . No ano de 2021, as amostras de Marechal Floriano mostram distribuição na região positiva de PC3, relacionado ao gráfico de *loadings* são observados 2 picos positivos, no qual o primeiro pico positivo ocorre próximo a  $3000\text{ cm}^{-1}$  e o segundo pico positivo é observado por volta de  $1700\text{ cm}^{-1}$ .

A análise por espectrometria de infravermelho, refletida nos pontos de dados, destaca a complexa interação entre os fatores edafoclimáticos e a composição química do café, com implicações potenciais na qualidade e no perfil de sabor dos grãos.

A Figura 7B apresenta as *loadings* dos três primeiros componentes principais obtidos a partir da análise de dados espectrométricos de infravermelho. A análise detalhada desses *loadings* permite associar variações espectrais a mudanças específicas na composição química do café, que por sua vez podem ser influenciadas por fatores ambientais variáveis entre as propriedades e diferentes anos.

A análise das dispersões das amostras nos componentes principais detalhados na Figura 7A relacionados a análise dos espectros de *loading*, conforme apresentados na Figura 7B, permitem identificar classes químicas que influenciam o perfil sensorial do café.

## 6. DISCUSSÃO

O município de Vargem Alta (A) apresentou valores superiores de déficit hídrico (Def) quando se comparada as demais, devido a diferenças nos fatores edafoclimáticos em que se encontra cada propriedade, possuindo menor precipitação, maior radiação solar e tendo diferentes características do tipo de solo.

Para uma compreensão holística das condições de cultivo, além das variações climáticas, torna-se crucial considerar o aspecto e o tipo de solo de cada propriedade, conforme evidenciado na Tabela 1. A orientação geográfica das propriedades (face de exposição) influencia diretamente a radiação solar recebida, influenciando diretamente no desenvolvimento do grão (SOMPORN *et al.*, 2012) e na qualidade da bebida, como observado por Pereira *et al.* (2018).

Outro fator edafoclimático que influencia a plantação de café é a classificação do solo, que desempenha um papel fundamental na dinâmica da água no solo, na disponibilidade de nutrientes e na resposta das plantas ao ambiente. Neste estudo, foram analisadas propriedades que contemplam áreas de Argissolo vermelho, Latossolo amarelo e Cambissolo háplico. Esses solos possuem características distintas: enquanto os solos como o Argissolo vermelho e o Latossolo amarelo têm maior capacidade de retenção de água, o que pode atenuar os efeitos nas plantas em períodos de baixa precipitação, solos como o Cambissolo háplico podem exacerbar o estresse hídrico devido à sua menor retenção de água (SANS; SANTANA, 2002).. Devido a esta dinâmica, uma análise integrada que considere a interação entre solo, clima e plantas é essencial para entender os impactos sobre a produção de café.

A influência dos atributos edáficos específicos e o déficit hídrico observado na Tabela 1 sugere que as propriedades intrínsecas de cada tipo de solo podem ter exercido influência sobre a retenção e disponibilidade de água, afetando consequentemente o balanço hídrico nas áreas de cultivo estudadas.

As propriedades avaliadas com distintas orientações geográficas, apresentam padrões divergentes na incidência de radiação solar que como demonstrado por Carvalho *et al.* (2011) influencia no déficit hídrico, impactando diretamente as demandas hídricas das plantações. Vargem Alta apresentou valores superiores de déficit hídrico (Def) está exposta para o nordeste, entretanto, Venda Nova do Imigrante orientada a sul registrou valores superiores de radiação solar (Srad), refletindo uma maior exposição à luz solar direta e reforçando a atuação de múltiplos fatores no déficit hídrico.

Essa intensificação da radiação solar é um fator que pode ter provocado o aumento no déficit hídrico com valores variando de 117,8 mm a 207,7 mm ao longo dos anos. Em contraste, as propriedades de Venda Nova e Marechal Floriano, orientadas para o sul, registraram menor incidência de radiação solar e déficits hídricos mais baixos, entre 76,2 mm e 171,8 mm. Esta menor exposição ao sol contribui para taxas reduzidas de evapotranspiração, culminando em uma demanda de água inferior por parte das plantas, evidenciando como a orientação geográfica das propriedades pode influenciar significativamente as necessidades de manejo da água na agricultura. Esses dados estão em consonância com o observado por Collischonn e Tucci (2014) que mensurou maiores valores de evapotranspiração quando a radiação solar foi mais intensa.

Vargem Alta com uma altitude de 1100 metros e aspecto nordeste, apresenta Cambissolo Háplico, que são solos de baixa capacidade de retenção de água, potencialmente limitados pela profundidade e presença de pedras, são propensos a déficits hídricos significativos, como indicado pelos valores mais elevados observados. O relevo ondulado e montanhoso, juntamente com a orientação nordeste, pode resultar em uma exposição solar intensa que, combinada com o tipo de solo, pode contribuir para o aumento do déficit hídrico. Assis Júnior et al., (2016) e Mota, Alencar, Assis Júnior, (2015) ao avaliarem Cambissolo sob diferentes usos, destacam a importância do manejo de solo e práticas de conservação e de água, como o papel da matéria orgânica na capacidade de armazenamento de água.

Venda Nova do Imigrante com altitude de 956 metros e aspecto sul, caracterizada por Argissolo Vermelho, que possui argila nos horizontes superficiais que contribuem para capacidade de armazenamento de água. Unido a isso, a posição sul pode significar uma menor incidência de radiação direta, podendo mitigar o déficit hídrico, o que é consistente com os dados que mostram déficits hídricos moderados em comparação com a Vargem Alta.

Marechal Floriano, com uma altitude de 1033 metros e aspecto sul e Latossolos Amarelos. Os Latossolos, com sua intensa intemperização e baixa retenção de umidade, são menos propensos à erosão, mas a compactação pode ser uma preocupação. A boa permeabilidade natural destes solos pode ajudar a minimizar o déficit hídrico, mas a gestão da água ainda é necessária, sobretudo em períodos secos.

O ano de 2020 se caracterizou por um déficit hídrico menos severo, o que possivelmente favoreceu a expressão dos atributos sensoriais desejáveis no café. Em contrapartida, os anos subsequentes, marcados por déficits hídricos mais pronunciados, refletiram negativamente na qualidade sensorial, como demonstrado pela segregação dos grupos na Figura 4D. Essas



corroboram os estudos de Abrar et al. (2014) e Pham et al. (2019) que destacam o papel crucial das variáveis climáticas e manejo da lavoura na determinação da qualidade final do café, sugerindo as interações entre clima e práticas agrícolas são essenciais para a manutenção dos padrões de qualidade.

A destacada performance do processamento natural na propriedade Venda Nova do Imigrante (B) a 956 m no ano de 2020 evidencia uma sinergia entre este método e as condições edafoclimáticas locais, como um déficit hídrico moderado, potencializando a produção de uma bebida de qualidade superior. Contrastando, as propriedades em Vargem Alta (1100 m) e Marechal Floriano (1033 m) não demonstraram variações significativas na qualidade do café atribuíveis aos métodos de processamento, sugerindo que, além das variações edafoclimáticas, outros fatores impactam na qualidade da bebida.

O resultado de 2020 vai em dissonância com o encontrado por Pereira et al. (2020), que ao estudar diferentes processamentos de café arábica, encontrou melhores resultados sensoriais no processamento *washed* em altitudes entre 907m e 1033m.

As Figuras 4A e 4B, juntamente com os dados da Tabela 2 e as informações climáticas da Tabela 1, reforçam a interação complexa entre as condições ambientais e as características sensoriais do café. O gráfico de dispersão ilustra essa diferenciação em 2020 com base nos componentes principais, sugerindo que os atributos sensoriais, que contribuem para a pontuação final, são distintamente influenciados pelas variáveis estudadas.

É possível relacionar as temperaturas máximas e mínimas adequadas, juntamente com a radiação solar e a precipitação registradas em Venda Nova do Imigrante em 2020, criou condições favoráveis que realçaram qualidades sensoriais específicas no café processado pelo método Natural, resultando em uma bebida de maior qualidade. Esses fatores podem ter contribuído para a formação dos agrupamentos observados na Figura 3B, refletindo a influência do ambiente no perfil sensorial do café.

No ano de 2021 em Marechal Floriano a 1033 m e Vargem Alta a 1100 m, as notas inferiores para o processamento natural indicam uma possível sensibilidade deste método às condições específicas dessas áreas. Os dados climáticos apresentados na Tabela 1 fornecem contexto para essas variações, onde o maior déficit hídrico em Vargem Alta e Marechal Floriano podem ter desfavorecido o processamento natural, impactando negativamente a qualidade da bebida. Já o comportamento dos processamentos *Washed Yeast Fermentation* e *Semi-dry* vão de encontro a pesquisa de Haile; Kang (2019); Pereira et al. (2018); Martins et al.

(2020) e Worku; Astatkie; Boeckx (2023) que perceberam a influência dos processos de pós-colheita nos atributos sensoriais do café.

Ainda em 2021, Venda Nova do Imigrante apresentou um déficit hídrico menor que outras localidades, mantendo a qualidade da bebida estável entre diferentes processamentos. Contudo, registrou a nota sensorial mais baixa dentre as amostras, coincidindo com o maior valor de radiação acumulada observado, indicando um impacto negativo da radiação na qualidade sensorial do café na altitude de 956m.

As Figuras 4C e 4D ilustram uma dispersão baseada nas características sensoriais dos cafés de diferentes altitudes e processamentos em 2021. O diagrama sugere que os cafés de Marechal Floriano a 1033 metros têm características sensoriais distintas que se correlacionam com a qualidade percebida, como evidenciado pela alta pontuação média em 2021 na Tabela 2. As nuances sensoriais dos cafés a esta altitude podem ser fruto das condições climáticas únicas desse ano e local, que segundo a Tabela 1, incluem temperaturas mais amenas e um déficit hídrico moderado, potencialmente favoráveis para a expressão de qualidades sensoriais como acidez e aroma.

O aumento no déficit hídrico nos anos seguintes, agravando no ano de 2022 parece ter comprometido o desenvolvimento ótimo dos grãos de café, culminando em uma qualidade inferior da bebida, independentemente do processo de tratamento utilizado. O declínio na qualidade global da bebida observada ao decorrer dos anos pode ser atribuído às variações nas condições ambientais, conforme evidenciado pelos dados climáticos fornecidos na Tabela 1. Especificamente, a diminuição da precipitação anual e aumento da radiação solar. Ahmed et al. (2021) corroboram essa influência, verificando em sua pesquisa que altitude está positivamente correlacionada com a melhoria dos atributos sensoriais, enquanto, o aumento da exposição à luz está associado à diminuição dos atributos sensoriais desejáveis.

Peloso et al. (2017) demonstraram que o déficit hídrico afeta negativamente as plantas de café, levando à redução da área foliar e da matéria seca, afetando a fotossíntese e o crescimento geral das plantas. Além disso, observou-se que o déficit hídrico pode levar à diminuição da fixação de frutos após a floração, impactando o rendimento total (PEZZOPANE *et al.*, 2010).

Em sua pesquisa, Sakai et al. (2013) conduziram uma análise de grãos de café arábica sob diferentes condições de disponibilidade de água no solo, indicando um impacto potencial no tamanho do grão e, conseqüentemente, na qualidade. Além disso, o estudo de Chemura

(2014) sobre a resposta de crescimento de plantas de café a diferentes níveis de irrigação sugere que a diferente disponibilidade de água influenciam o desenvolvimento da planta, afetando potencialmente a qualidade do café. Ronchi e Miranda (2020) ao investigarem o impacto dos níveis de déficit hídrico na floração do café arábica indicam a ligação entre o estresse hídrico e a qualidade do café.

Entretanto, apesar do impacto do déficit hídrico na qualidade da bebida, foi observado nas médias globais que a propriedade de Vargem Alta com maior altitude, possuiu melhor qualidade no ano de 2022 mesmo com o déficit hídrico mais intenso que as demais propriedades, indicando que outros fatores possivelmente ligados a altitude abrandou os efeitos da escassez de água. A melhor pontuação em 2022 em Vargem Alta vai de encontro aos estudos de Pereira et al. (2020) e Ferreira et al. (2022), que também encontraram melhores resultados sensoriais para cafés localizados em altitudes elevadas.

A não diferenciação estatísticas entre os tratamentos nos três experimentos em 2022 indica que as variações nas condições edafoclimáticas não exerceram um papel determinante na diferenciação da qualidade final da bebida entre os tratamentos adotados. Tal observação sugere a existência de outros fatores, além das condições ambientais, que possam influenciar a qualidade da bebida de café. Worku et al. (2018) em sua pesquisa concluíram que a qualidade final da bebida não são definidos exclusivamente pelo processamento pós-colheita.

A constatação de uma ausência de variação estatística significativa na qualidade da bebida entre diferentes métodos de processamento no ano de 2022, corroborada pelo estudo de Worku et al. (2018), aponta para a complexidade dos fatores que interagem na produção de cafés especiais, ressaltando a importância de uma abordagem holística que considere múltiplas variáveis além das condições climáticas e edáficas.

Em 2022 Vargem Alta experimentou o maior déficit hídrico (207,7 mm), impactando potencialmente todos os métodos de processamento de forma similar. Em contraste, Venda Nova do Imigrante e Marechal Floriano registraram déficits hídricos mais moderados, sugerindo condições menos extremas e potencialmente menos desfavoráveis à qualidade do café, entretanto tiveram pontuações médias finais menores que Vargem Alta, reforçando a percepção da presença de mais fatores determinantes para a qualidade final da bebida, como a altitude, uma vez que possuem altitude inferior a Vargem Alta, e conforme Chemura et al. (2021); Izzati (2019); Ferreira et al. (2022) e Zaidan et al. (2017) destacam, a maior altitude como um fator que favorece a uma melhor qualidade da bebida.

O melhor resultado em maiores altitudes pode ser explicado pelo fato de que em maiores altitudes a translocação de açúcar e compostos químicos do fruto ocorrem de maneira mais lenta e eficiente do que regiões de menor altitude Pereira et al. (2018) e Girma, Gure e Wedajo (2020).

Bressani et al. (2021) ainda destaca em seu estudo que solos localizados em altitudes mais elevadas fornecem uma maior quantidade de bactérias com propriedades funcionais para os frutos, o que podem impactar esses processos metabólicos dentro dos frutos, incluindo a translocação de açúcares e outros compostos, em função da maior umidade do solo, resultado das menores temperaturas.

Os resultados na Tabela 2 mostram que no ano de 2022 as variações nas pontuações finais entre os diferentes ambientes e tratamentos podem ajudar a entender as características sensoriais que distinguem os grupos na Figura 3F, por exemplo, agrupamento a 1033m em 2022 (Marechal Floriano) destaca-se no gráfico e pode ser associado a condições edafoclimáticas únicas, como maior radiação solar, que podem ter favorecido o desenvolvimento de atributos sensoriais específicos, como acidez e corpo, como observado por Ferreira et al. (2022).

Em suma, a análise global indica que as condições climáticas de 2022 influenciaram todos os métodos de processamento de maneira semelhante, destacando um ano particularmente desafiador para o cultivo e processamento do café. O aumento no déficit hídrico e as variações na qualidade física dos grãos reforçam a necessidade de estratégias adaptativas no manejo do café, considerando a variabilidade climática e as características específicas do solo.

A avaliação dos dados exibidos na Tabela 3 destaca a performance inconsistente do processamento Natural em diferentes anos e propriedades, evidenciando a sensibilidade deste método às variações edafoclimáticas. No qual, em 2020 o processamento Natural em Venda Nova do Imigrante registrou a maior nota, em 2021, em Marechal Floriano, apresentou a menor eficácia. Tais observações sugerem uma relação entre as condições ambientais específicas de cada ano e a eficácia dos métodos de processamento.

Como apresentado no presente estudo e nos estudos apresentados na literatura, é possível afirmar que o impacto das condições edafoclimáticas na qualidade do café é complexo. Fatores como temperatura, precipitação, radiação solar e déficit hídrico são cruciais no crescimento e desenvolvimento dos grãos de café, influenciando diretamente a qualidade da bebida produzida. Déficits hídricos elevados, por exemplo, podem restringir o crescimento adequado dos grãos, comprometendo a qualidade. Além disso, a radiação solar tem um papel

vital na fotossíntese e na maturação dos grãos, aspectos que também impactam a qualidade final do café.

Por fim, a integração dos dados sensoriais e climáticos das propriedades de Vargem Alta (A), Venda Nova do Imigrante (B) e Marechal Floriano (C) ao longo dos anos 2020, 2021 e 2022 fornecem uma compreensão de como as práticas de cultivo e processamento devem ser adaptadas às condições ambientais a cada ano para realçar a qualidade da bebida, onde o conhecimento das interações entre o ambiente e o processamento do café pode ser utilizado para maximizar a expressão desejável de nuances sensoriais.

Estudos corroboram que variáveis ambientais, incluindo temperatura, precipitação, altitude, são determinantes significativos na qualidade do café, refletindo diretamente em suas propriedades sensoriais e composição química (BARBOSA *et al.*, 2012; BERTRAND *et al.*, 2012). Adicionalmente, o contexto das mudanças climáticas apresenta desafios adicionais, impactando os metabólitos secundários e os atributos sensoriais do café, o que ressalta a importância da identificação de genótipos tolerantes ao déficit hídrico como uma medida essencial para a promoção de uma produção sustentável e adaptativa (AHMED *et al.*, 2021; MOLINA e RIVERA, 2022). Esta necessidade destaca a importância de abordagens integradas de pesquisas que considerem a complexidade das interações entre café e ambiente, visando a otimização da qualidade do café frente às adversidades climáticas.

Analisando as propriedades ao longo dos anos, é observado em Vargem Alta a homogeneidade dos resultados entre os diferentes métodos de processamento nos anos de 2020 e 2022 indicam que apesar das variações climáticas e do processamento, à altitude mais elevada, confere uma condição climática mais propícia ao cultivo de café de qualidade (FERREIRA, Williams P. M. *et al.*, 2016). Contudo, no ano de 2021 os processamentos *Semi-Dry* e *Yeast Fermentation* obtiveram destaque, a fermentação com culturas iniciadoras tem sido uma estratégia vantajosa para a melhoria do perfil sensorial, por agregar sabores e aromas diferenciados (BRESSANI *et al.*, 2021; MARTINEZ *et al.*, 2021 e DE SOUSA *et al.*, 2023), e segundo Martínez *et al.* (2019), a *S. cerevisiae* no café pode aumentar o teor de ácido cítrico e são mais conhecidas por produzirem compostos voláteis agradáveis para os consumidores.

No ano de 2020, em Venda Nova do Imigrante, destaca-se o método Natural, este resultado pode ser correlacionado com condições climáticas ideais que favoreceram a qualidade sensorial do café, com maior precipitação e menor radiação solar que podem ter contribuído para a maturação equilibrada dos frutos, refletindo em sua qualidade (ACHARYA *et al.*, 2021).

No entanto, as variações climáticas nos anos subsequentes, como o aumento do déficit hídrico e da temperatura, podem explicar a queda das pontuações observadas, sugerindo que a qualidade do café foi influenciada por essas mudanças ambientais, o que também foi observado por Borém et al. (2018); Ahmed et al. (2021) e Pappo et al. (2024), estes estudos ainda ressaltam que os efeitos do déficit hídrico e temperatura podem variar de acordo com a localização e elevação.

Marechal Floriano apresentou em 2021, resultados superiores para os métodos *Washed* e *Yeast Fermentation*, para regiões mais elevadas, como a desta localidade (1033m), a fermentação espontânea pode ser mais favorável devido a microbiota natural dos cafés (PEREIRA et al., 2018a), podendo ser correlacionada ao crescimento de microrganismos endógenos do café e às características do terroir desta localidade. Estes resultados divergem do encontrado por (WORKU et al., 2018), que não encontrou influência dos processamentos pós colheita na qualidade da bebida, mostrando que vários fatores influenciam na qualidade da bebida, sendo necessários mais estudos.

O ano de 2021 foi marcado por condições climáticas amenas em Marechal Floriano, onde observa-se menor déficit hídrico, temperaturas médias ligeiramente reduzidas, e maior precipitação em comparação com outros anos. Essas condições podem ter proporcionado um ambiente mais favorável para o desenvolvimento de perfis químicos e sensoriais desejáveis no café. Especificamente, favorecendo os processos fermentativos controlados (*Washed* e *Yeast Fermentation*), resultando em perfis sensoriais superiores.

A correlação dos dados climáticos e sensoriais evidenciam o papel determinante das condições climáticas na definição dos perfis sensoriais e, por extensão, na qualidade do café, destacando a influência que variáveis climáticas nas características sensoriais do café, estas correlações são corroboradas por diversos estudos (FERREIRA et al., 2016; LÄDERACH et al., 2016; ZHANG et al., 2016; CHEMURA et al., 2021).

Anos com maior precipitação tendem a apresentar uma correlação positiva com a qualidade do café, indicando que a quantidade de água adequada é benéfica para o desenvolvimento dos grãos de café, que é confirmado pelo déficit hídrico, que quando elevado resulta em uma qualidade sensorial reduzida, o que indica que o estresse hídrico tem um efeito negativo, como encontrado por Pappo et al. (2024) que ao analisar a redução da precipitação no café, também observou a queda na qualidade da bebida com associada a menor da precipitação. Getachew et al. (2022) e Vania et al. (2023) destacam as variáveis ambientais

como fatores importantes na floração do café e formação, maturação e composição química do grão e Cheng; Furtado e Henry, (2018) complementam destacando a importância crucial da maturação do grão na qualidade da bebida.

A análise de dados sugere que os anos de maior precipitação e menor déficit hídrico, estão associados a uma qualidade sensorial superior, enquanto as condições de estresse hídrico parecem afetar negativamente a qualidade (PAPPO *et al.*, 2024), particularmente para o método Natural, que pode ser mais sensível às variações climáticas.

Simmer *et al.* (2022), comparando diferentes épocas de colheitas do café arábica, perceberam que há um impacto significativo no perfil químico, sensorial e microbiológico. O presente estudo sugere que esta tendência também está presente entre diferentes safras para a mesma localização. Em relação às regiões espectrais reveladas, o ano 2020, ano de menor déficit hídrico e de maior precipitação, apresentaram variáveis de maior peso nas bandas relacionadas às ligações C=O ( $1650\text{ cm}^{-1}$ ), associados a carboidrato, lipídios e cafeína (ZHANG *et al.*, 2016; BONA *et al.*, 2017 e FIORESI *et al.*, 2021)

O ano de 2021, apresentou maiores variáveis de peso nas bandas relacionadas à presença de trigonelina, sendo uma molécula precursora para a formação de compostos voláteis como pirróis, piridinas, pirazinas e nicotinato de metila durante o processo de torra ( $1550\text{ cm}^{-1}$  e  $1450\text{ cm}^{-1}$ ), contribuindo para a formação de aromas desejáveis (ABREU *et al.*, 2020). Além disso, esta região espectral também pode estar associada a carboidratos (BONA *et al.*, 2017), grupos metil e metileno ( $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$  de alcanos), alongamento de ligações C = C de anéis aromáticos, ligações C – C de aromáticos e dobramento N – H de aminas secundárias, aminoácidos carboxilatos, proteínas e ácidos orgânicos (ZHANG, Chu *et al.*, 2016).

O ano de 2021 foi caracterizado por um déficit hídrico mais acentuado em comparação ao ano anterior, uma condição que pode estar relacionada à formação de distintos grupos químicos nas safras analisadas. A relevância do déficit hídrico para a qualidade do grão de café é sustentada por estudos como o de Ronchi *et al.* (2015), que elucidam o impacto negativo deste fator nas características qualitativas do café e reforçadas por Santos *et al.* (2018), Souza *et al.* (2019), e Saravia-Castillo, Figueroa e Borjas-Ventura, (2022) e que destacaram que a temperatura e estresse hídrico como fatores responsável por modificações na composição bioquímica do grão e maturação inadequada dos frutos.

A diferença na presença de trigonelina no ano de 2021 também pode ter sido provocada por essa diferença climática, como observado por Cassamo *et al.*, (2022), onde se relatou que o

conteúdo de trigonelina nos grãos de café é influenciado por fatores climáticos como altitude e radiação.

A localidade de Vargem Alta, em 2020 teve uma predominância de ácidos carboxílicos e aldeídos, como demonstrado ( $1650\text{ cm}^{-1}$ ) (ZHANG *et al.*, 2016; BONA *et al.*, 2017; FIORESI *et al.*, 2021). Em 2021, apresentou maiores variáveis de peso nas bandas relacionadas a estiramentos C=O ( $1700\text{ cm}^{-1}$ ) de ésteres, lipídios, cafeína e trigonelina (CRAIG; FRANCA e OLIVEIRA, 2011; DIAS *et al.*, 2018; BONA *et al.*, 2017). Nos grãos torrados, os lipídios estão intimamente relacionados aos atributos corporais da bebida, a cafeína ao amargor e, a trigonelina, sabor, aroma e qualidade geral (MUNYENDO *et al.*, 2021).

Outra região proeminente identificada em 2020 para Vargem Alta e Venda Nova do Imigrante correspondente a estiramento de C=C ( $3000\text{ cm}^{-1}$ ), indicando presença de lipídios e polissacarídeos (FLORES-VALDEZ *et al.*, 2020). Os lipídios contribuem para o corpo da bebida e para a formação de aromas e sabores do café devido à liberação de compostos voláteis como aldeídos, cetonas e álcoois durante a torra que afetam a qualidade da bebida (STANEK *et al.*, 2021).

Para a propriedade de Venda Nova do Imigrante no 2020 foi caracterizado por região espectral que estão ligadas a estiramento simétrico e assimétrico da ligação C-H, indicando ácidos graxos (FIGUEIREDO *et al.*, 2019) e vibrações assimétricas e simétricas de CH<sub>2</sub> lipídios (EL-ABASSY; DONFACK; MATERNY, 2011). A composição dos ácidos graxos nos grãos de café verde afeta as características sensoriais e a qualidade geral da bebida de café (ECHEVERRI-GIRALDO *et al.*, 2020). Ácidos graxos saturados estão associados a melhor qualidade sensorial e sabor (FIGUEIREDO *et al.*, 2019). Por outro lado, ácidos graxos insaturados podem estar relacionados a cafés com acidez, fragrância, corpo e sabor menos intensos (MEHARI *et al.*, 2019).

Em Marechal Floriano, o ano de 2020 apresentou uma banda indicando a presença de ácido clorogênico, ácido pirúvico e piridinas ( $3400\text{ cm}^{-1}$ ) (DIAS *et al.*, 2018; FIORESI *et al.*, 2021). No ano de 2021, foram observadas maiores absorções na região de alongamento das ligações C=O e C=C, que podem ser correlacionadas com moléculas de carboidratos e lipídeos ( $1700\text{ cm}^{-1}$ ) (ABREU *et al.*, 2020). Os carboidratos impactam positivamente na doçura da bebida, sendo adicionalmente responsáveis pelas notas de caramelo como resultado da reação de Maillard que ocorre entre açúcares e aminoácidos (BELCHIOR *et al.*, 2019).



A investigação da qualidade do café em três propriedades ao longo de três anos revelou que tanto as condições edafoclimáticas específicas quanto os métodos de processamento exercem influências significativas nos perfis químicos e sensoriais do café. Estudos como os de Sunarharum, Yuwono e Nadhiroh, (2018), Martins et al. (2020) e Ahmed et al. (2021) corroboram a complexa interação entre clima, práticas agrícolas e qualidade da bebida.

Dado o impacto das variáveis ambientais, recomenda-se que pesquisas futuras explorem práticas de manejo adaptativo, como irrigação e controle de sombreamento, que possam atenuar os efeitos das flutuações climáticas. Essas práticas devem ser adaptadas às especificidades de cada local para manter e potencializar a qualidade do café, mesmo diante de variabilidades anuais significativas.

Além disso, é crucial implementar práticas conservacionistas específicas para cafezais, visando a melhoria contínua da qualidade do café. Estratégias como manutenção de cobertura vegetal, adubação verde e sistemas agroflorestais não apenas melhoram a estrutura do solo e sua capacidade de retenção de água, mas também aumentam a biodiversidade do solo. Este enriquecimento biológico pode melhorar a composição química dos grãos, elevando características sensoriais cruciais como aroma e acidez. Adotar tais práticas representa uma resposta efetiva às mudanças climáticas e uma estratégia para atender às exigências de mercados especializados em cafés de alta qualidade.

Essas orientações não só propõem um caminho para futuros estudos, mas também oferecem aos produtores uma direção prática para adaptação e melhoria da qualidade do café, alinhadas às tendências atuais e futuras da agricultura sustentável.

## 7. CONCLUSÃO

Os fatores edafoclimáticos e os métodos de pós-processamento têm influência significativa na composição do perfil sensorial do café arábica.

Variações significativas entre as amostras foram observadas, relacionadas às condições climáticas de cada propriedade e safra.

A análise sensorial indicou que a qualidade sensorial do café é afetada por parâmetros climáticos, como temperatura, precipitação e déficit hídrico.

A análise de infravermelho médio (FTIR) revelou padrões distintos dos perfis químicos entre as amostras de café das três propriedades e ao longo das três safras estudadas, refletindo a influência dos fatores edafoclimáticos da localização geográfica e das condições específicas de cada ano no perfil químico do café.

A análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados espectrométricos indicou a presença de ácidos carboxílicos, aldeídos, e outras classes químicas importantes para o perfil sensorial do café, destacando a complexidade da interação entre os fatores edafoclimáticos e a composição química.

A discussão sobre os resultados de infravermelho reforça a compreensão de que as condições edafoclimáticas específicas de cada localidade e suas variações anuais têm um impacto significativo na composição química do café, afetando diretamente a qualidade sensorial da bebida.

A correlação entre os dados espectrométricos e as variações climáticas destaca a importância de adaptar práticas agrícolas conservacionistas e de processamento para otimizar a qualidade do café, considerando a influência significativa do ambiente de cultivo.

O estudo reforça a necessidade de práticas de manejo específicas e adaptações às mudanças climáticas para otimizar a qualidade do café, alinhada às exigências do mercado.

A continuidade das pesquisas sobre manejo e adaptação climática é recomendada para maximizar a qualidade dos cafés produzidos em diferentes condições edafoclimáticas.

## 8. REFERÊNCIAS

ABATZOGLOU, J. T.; DOBROWSKI, S. Z.; PARKS, S. A.; HEGEWISCH, K. C. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. **Scientific Data**, v. 5, n. 1, p. 1–12, 9 jan. 2018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>.

ABRAR, S.; NEGUSSIE, M.; JIMMA AGRICULTURAL RESEARCH CENTER; MESERET, D.; AWADA AGRICULTURAL RESEARCH SUB CENTER. Hybrid Coffee (*Coffea arabica* L) Genotypes Quality Evaluation under different Environment of Southern Ethiopia. **Greener Journal of Agricultural Sciences**, v. 4, n. 6, p. 245–251, 11 jul. 2014. <https://doi.org/10.15580/GJAS.2014.6.0523014244>.

ABREU, M. B.; MARCHEAFAVE, G. G.; BRUNS, R. E.; SCARMINIO, I. S.; ZERAIK, M. L. Spectroscopic and Chromatographic Fingerprints for Discrimination of Specialty and Traditional Coffees by Integrated Chemometric Methods. **Food Analytical Methods**, v. 13, n. 12, p. 2204–2212, 1 dez. 2020. <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01832-1>.

ACHARYA, B.; SRIVASTAVA, A.; PANDEY, M.; BK, K. Effect of different Altitudes in Qualitative and Quantitative Attributes of Green Coffee Beans (*Coffea arabica*) in Nepal. **International Journal of Horticulture, Agriculture and Food science**, v. Vol-5, p. 2456–8635, 9 jun. 2021. <https://doi.org/10.22161/ijhaf.5.3.1>.

AHMED, S.; BRINKLEY, S.; SMITH, E.; SELA, A.; THEISEN, M.; THIBODEAU, C.; WARNE, T.; ANDERSON, E.; VAN DUSEN, N.; GIULIANO, P.; IONESCU, K. E.; CASH, S. B. Climate Change and Coffee Quality: Systematic Review on the Effects of Environmental and Management Variation on Secondary Metabolites and Sensory Attributes of *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.708013>. Acesso em: 30 jan. 2024.

ALIXANDRE, R. D.; ZANDONADI, C. U.; AMARAL, J. F. T. do; FORNAZIER, M. J.; GUARÇONI, R. G.; DIAS, R. da S.; VIÇOSI, D. B.; MACETTE, H. A.; VENTURINI, C. de F.; ALIXANDRE, F. T.; LIMA, P. A. M. de; KROHLING, C. A. Physical and sensorial quality of arabica coffee cultivars submitted to two types of post-harvesting

processing. 18 abr. 2023. DOI 10.25186/v18i.2081. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/item/4431>. Acesso em: 30 jan. 2024.

ALONSO-SALCES, R. M.; SERRA, F.; RENIERO, F.; HÉBERGER, Ká. 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, 27 maio 2009. <https://doi.org/10.1021/jf8037117>.

ALONSO-TORRES, B.; HERNÁNDEZ-PÉREZ, J. A.; SIERRA-ESPINOZA, F.; SCHENKER, S.; YERETZIAN, C. Modeling and Validation of Heat and Mass Transfer in Individual Coffee Beans during the Coffee Roasting Process Using Computational Fluid Dynamics (CFD): FHHES Universities of Applied Sciences. **CHIMIA**, v. 67, n. 4, p. 291–291, 24 abr. 2013. <https://doi.org/10.2533/chimia.2013.291>.

AMAMO, A. A. Coffee Production and Marketing in Ethiopia. **European Journal of Business and Management**, v. 6, n. 37, p. 109–121, 30 dez. 2014. .

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1057–1064, nov. 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001100001>.

ASSIS JÚNIOR, R. N. de; MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ALENCAR, T. L. de. Pore network of an Inceptisol under different uses and relativized S-index as an indicator of soil physical quality. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1575–1583, set. 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900057>.

ASWATHI, K. N.; SHANKAR, S. R.; SEENIVASAN, K.; PRAKASH, I.; MURTHY, P. S. Metagenomics and metabolomic profiles of *Coffea canephora* processed by honey/pulped natural technique. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 79, p. 103058, 1 jul. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103058>.

BARBOSA, J. N.; BORÉM, F. M.; CIRILLO, M. Â.; MALTA, M. R.; ALVARENGA, A. A. de; ALVES, H. M. R. Coffee Quality and Its Interactions with Environmental Factors in Minas Gerais, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 5, 2012. DOI 10.5539/jas.v4n5p181. Disponível em: <https://doi.org/10.5539/jas.v4n5p181>. Acesso em: 18 fev. 2024.

BARRERA-LÓPEZ, J.; GONZÁLEZ-BARRIOS, A. F.; VÉLEZ, L. F.; TARQUINO, L. F.; LÓPEZ, H.; HERNANDEZ-CARRIÓN, M. Evaluation of roasting and storage conditions as a strategy to improve the sensory characteristics and shelf life of coffee. **Food Science and Technology International**, , p. 10820132221139890, 6 dez. 2022. <https://doi.org/10.1177/10820132221139890>.

BARRIOS-RODRÍGUEZ, Y. F.; ROJAS REYES, C. A.; TRIANA CAMPOS, J. S.; GIRÓN-HERNÁNDEZ, J.; RODRÍGUEZ-GAMIR, J. Infrared spectroscopy coupled with chemometrics in coffee post-harvest processes as complement to the sensory analysis. **LWT**, v. 145, p. 111304, 1 jun. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111304>.

BASTIAN, F.; HUTABARAT, O. S.; DIRPAN, A.; NAINU, F.; HARAPAN, H.; EMRAN, T. B.; SIMAL-GANDARA, J. From Plantation to Cup: Changes in Bioactive Compounds during Coffee Processing. **Foods**, v. 10, n. 11, p. 2827, nov. 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10112827>.

BELCHIOR, V.; BOTELHO, B. G.; OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S. Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Spectroscopy (ATR-FTIR) and chemometrics for discrimination of espresso coffees with different sensory characteristics. **Food Chemistry**, 8th Brazilian Workshop of Chemometrics: Application of Chemometrics techniques in food chemistry. v. 273, p. 178–185, 1 fev. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.026>.

BERTRAND, B.; BOULANGER, R.; DUSSERT, S.; RIBEYRE, F.; BERTHIOT, L.; DESCROIX, F.; JOËT, T. 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, 2012. DOI 10.1016/j.foodchem.2012.06.060. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.060>. Acesso em: 18 fev. 2024.

BILEN, C.; EL CHAMI, D.; MEREU, V.; TRABUCCO, A.; MARRAS, S.; SPANO, D. A Systematic Review on the Impacts of Climate Change on Coffee Agrosystems. **Plants**, v. 12, n. 1, p. 102, jan. 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12010102>.

BOAVENTURA, P. S. M.; ABDALLA, C. C.; ARAÚJO, C. L.; ARAKELIAN, J. S. COCRIAÇÃO DE VALOR NA CADEIA DO CAFÉ ESPECIAL: O MOVIMENTO DA

TERCEIRA ONDA DO CAFÉ. **Revista de Administração de Empresas**, v. 58, p. 254–266, jun. 2018. <https://doi.org/10.1590/S0034-759020180306>.

BONA, E.; MARQUETTI, I.; LINK, J. V.; MAKIMORI, G. Y. F.; DA COSTA ARCA, V.; GUIMARÃES LEMES, A. L.; FERREIRA, J. M. G.; DOS SANTOS SCHOLZ, M. B.; VALDERRAMA, P.; POPPI, R. J. Support vector machines in tandem with infrared spectroscopy for geographical classification of green arabica coffee. **LWT - Food Science and Technology**, SLACA 2015: “Food Science for quality of life and health ageing”. v. 76, p. 330–336, 1 mar. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.048>.

BORÉM, F. M.; ISQUIERDO, E. P.; ALVES, G. E.; RIBEIRO, D. E.; SIQUEIRA, V. C.; TAVEIRA, J. H. da S. QUALITY OF NATURAL COFFEE DRIED UNDER DIFFERENT TEMPERATURES AND DRYING RATES. **Coffee Science - ISSN 1984-3909**, v. 13, n. 2, p. 159–167, 26 jun. 2018. .

BOTE, A. D.; VOS, J. Tree management and environmental conditions affect coffee (*Coffea arabica* L.) bean quality. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 83, p. 39–46, 1 dez. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2017.09.002>.

BRACKEN, P.; BURGESS, P. J.; GIRKIN, N. T. Opportunities for enhancing the climate resilience of coffee production through improved crop, soil and water management. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 47, n. 8, p. 1125–1157, 14 set. 2023. <https://doi.org/10.1080/21683565.2023.2225438>.

BRESSANI, A. P. P.; MARTINEZ, S. J.; BATISTA, N. N.; SIMÃO, J. B. P.; DIAS, D. R.; SCHWAN, R. F. Co-inoculation of yeasts starters: A strategy to improve quality of low altitude Arabica coffee. **Food Chemistry**, v. 361, p. 130133, 1 nov. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130133>.

BRIOSCHI JUNIOR, D.; CARVALHO GUARÇONI, R.; DE CÁSSIA SOARES DA SILVA, M.; GOMES REIS VELOSO, T.; CATARINA MEGUMI KASUYA, M.; CATARINA DA SILVA OLIVEIRA, E.; MARIA RODRIGUES DA LUZ, J.; RIZZO MOREIRA, T.; GRANCIERI DEBONA, D.; LOUZADA PEREIRA, L. Microbial fermentation affects sensorial, chemical, and microbial profile of coffee under carbonic maceration. **Food Chemistry**, v. 342, p. 128296, 16 abr. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128296>.

BUNN, C.; LÄDERACH, P.; OVALLE RIVERA, O.; KIRSCHKE, D. A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. **Climatic Change**, v. 129, n. 1, p. 89–101, 1 mar. 2015. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>.

CARVALHO, A. C.; CARVALHO, D. F.; FILGUEIRAS, G. C.; ARAÚJO, A. C. D. S.; CARVALHO, A. V. D. PANORAMA E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO CAFÉ NO MERCADO INTERNACIONAL DE COMMODITIES AGRÍCOLAS: UMA ANÁLISE ESPECTRAL. **Revista Agroecossistemas**, v. 9, n. 2, p. 223–249, 10 abr. 2018. <https://doi.org/10.18542/ragros.v9i2.5003>.

CARVALHO, C. H. S. de; BARTELEGA, L.; SERA, G. H.; MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. de; SANTINATO, F.; HOTZ, A. L. Catálogo de cultivares de café arábica. 2022. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1145722>. Acesso em: 5 fev. 2024.

CARVALHO, D. F. de; SILVA, D. G. da; SOUZA, A. P. de; GOMES, D. P.; ROCHA, H. S. da. Coeficientes da equação de Angström-Prescott e sua influência na evapotranspiração de referência em Seropédica, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 838–844, ago. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000800011>.

CASSAMO, C. T.; MANGUEZE, A. V. J.; LEITÃO, A. E.; PAIS, I. P.; MOREIRA, R.; CAMPA, C.; CHIULELE, R.; REIS, F. O.; MARQUES, I.; SCOTTI-CAMPOS, P.; LIDON, F. C.; PARTELLI, F. L.; RIBEIRO-BARROS, A. I.; RAMALHO, J. C. Shade and Altitude Implications on the Physical and Chemical Attributes of Green Coffee Beans from Gorongosa Mountain, Mozambique. **Agronomy**, v. 12, n. 10, p. 2540, out. 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102540>.

CHEMURA, A. The growth response of coffee (*Coffea arabica* L) plants to organic manure, inorganic fertilizers and integrated soil fertility management under different irrigation water supply levels. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 3, n. 2, 2014. DOI 10.1007/s40093-014-0059-x. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40093-014-0059-x>. Acesso em: 18 fev. 2024.

CHEMURA, A.; MUDERERI, B. T.; YALEW, A. W.; GORNOTT, C. Climate change and specialty coffee potential in Ethiopia. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 8097, 14 abr. 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87647-4>.

CHENG, B.; FURTADO, A.; HENRY, R. J. The coffee bean transcriptome explains the accumulation of the major bean components through ripening. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 11414, 30 jul. 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29842-4>.

COLLISCHONN, B.; TUCCI, C. Relações Regionais entre Precipitação e Evapotranspiração Mensais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, p. 205–2014, 2014. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n3.p205-2014>.

COLODETTI, T. V.; TOMAZ, M. A.; RODRIGUES, W. N.; VERDIN FILHO, A. C.; CAVATTE, P. C.; REIS, E. F. dos. Arquitetura da copa do cafeeiro arábica conduzido com diferentes números de ramos ortotrópicos. **Revista Ceres**, v. 65, p. 415–423, out. 2018. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201865050006>.

CONAB. **Boletim de Produção cafeeira de 2023**. Anual. [S. l.]: Companhia Nacional de Abastecimento, 2023. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/50685\\_9a1021b64436b24e993ef7d33271e532](https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/50685_9a1021b64436b24e993ef7d33271e532). Acesso em: 19 mar. 2024.

CORREIA, R. M.; TOSATO, F.; DOMINGOS, E.; RODRIGUES, R. R. T.; AQUINO, L. F. M.; FILGUEIRAS, P. R.; LACERDA, V.; ROMÃO, W. Portable near infrared spectroscopy applied to quality control of Brazilian coffee. **Talanta**, v. 176, p. 59–68, 1 jan. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.08.009>.

CRAIG, A. P.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. Discrimination between Immature and Mature Green Coffees by Attenuated Total Reflectance and Diffuse Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 8, p. C1162–C1168, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02359.x>.

CUNHA, A. de M.; FEITOZA, H. N.; FEITOZA, L. R.; OLIVEIRA, F. S. de; LANI, J. L.; CARDOSO, J. K. F.; TRINDADE, F. S. Atualização da legenda do mapa de reconhecimento de solos do estado do espírito Santo e implementação de interface no Geobases para uso dos dados em SIG. **Geografares**, v. 2, n. 22, p. 32–65, 2016. .



DAVIS, A. P.; GOLE, T. W.; BAENA, S.; MOAT, J. The Impact of Climate Change on Indigenous Arabica Coffee (*Coffea arabica*): Predicting Future Trends and Identifying Priorities. **PLOS ONE**, v. 7, n. 11, p. e47981, 7 nov. 2012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047981>.

DAVIS, A. P.; GOVAERTS, R.; BRIDSON, D. M.; STOFFELEN, P. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 152, n. 4, p. 465–512, 1 dez. 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00584.x>.

DAVIS, A. P.; RAKOTONASOLO, F. Six new species of coffee (*Coffea*) from northern Madagascar. **Kew Bulletin**, v. 76, n. 3, p. 497–511, 1 set. 2021. <https://doi.org/10.1007/s12225-021-09952-5>.

DE BRUYN, F.; ZHANG, S. J.; POTHAKOS, V.; TORRES, J.; LAMBOT, C.; MORONI, A. V.; CALLANAN, M.; SYBESMA, W.; WECKX, S.; DE VUYST, L. Exploring the Impacts of Postharvest Processing on the Microbiota and Metabolite Profiles during Green Coffee Bean Production. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 83, n. 1, p. e02398-16, 15 dez. 2016. <https://doi.org/10.1128/AEM.02398-16>.

DE SOUSA, L. H. B. P.; DA LUZ, J. M. R.; DA SILVA, M. de C. S.; MORELI, A. P.; VELOSO, T. G. R.; GUARÇONI, R. C.; MOREIRA, T. R.; BARROS, M. V. P.; KASUYA, M. C. M.; MARCATE, J. P. P.; BRIOSCHI JÚNIOR, D.; GOMES, W. dos S.; PEREIRA, L. L.; OLIVEIRA, E. C. da S. Relationship between sensory and microbial profiles of fermented coffee by dry and washed methods. **Food Chemistry Advances**, v. 2, p. 100259, 1 out. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100259>.

DIAS, R. C. E.; VALDERRAMA, P.; MARÇO, P. H.; DOS SANTOS SCHOLZ, M. B.; EDELMANN, M.; YERETZIAN, C. Quantitative assessment of specific defects in roasted ground coffee via infrared-photoacoustic spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 255, p. 132–138, 30 jul. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.076>.

DOS SANTOS, D. G.; COELHO, C. C. de S.; FERREIRA, A. B. R.; FREITAS-SILVA, O. Brazilian Coffee Production and the Future Microbiome and Mycotoxin Profile Considering the Climate Change Scenario. **Microorganisms**, v. 9, n. 4, p. 858, abr. 2021. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9040858>.

ECHEVERRI-GIRALDO, L. F.; ORTIZ, A.; GALLEGRO, C. P.; IMBACHÍ, L. C. Caracterización de la fracción lipídica del café verde en variedades mejoradas de *Coffea arabica* L. **Revista Cenicafé**, v. 71, n. 2, p. 39–52, 29 dez. 2020. <https://doi.org/10.38141/10778/71203>.

EL-ABASSY, R. M.; DONFACK, P.; MATERNY, A. Discrimination between Arabica and Robusta green coffee using visible micro Raman spectroscopy and chemometric analysis. **Food Chemistry**, v. 126, n. 3, p. 1443–1448, 1 jun. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.132>.

ELHALIS, H.; COX, J.; FRANK, D.; ZHAO, J. The role of wet fermentation in enhancing coffee flavor, aroma and sensory quality. **European Food Research and Technology**, v. 247, n. 2, p. 485–498, 1 fev. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03641-6>.

ELIAS, E. H.; FLYNN, R.; IDOWU, O. J.; REYES, J.; SANOGO, S.; SCHUTTE, B. J.; SMITH, R.; STEELE, C.; SUTHERLAND, C. Crop Vulnerability to Weather and Climate Risk: Analysis of Interacting Systems and Adaptation Efficacy for Sustainable Crop Production. **Sustainability**, v. 11, n. 23, p. 6619, jan. 2019. <https://doi.org/10.3390/su11236619>.

FARAH, A.; FERREIRA DOS SANTOS, T. Chapter 1 - The Coffee Plant and Beans: An Introduction. In: PREEDY, V. R. (org.). **Coffee in Health and Disease Prevention**. San Diego: Academic Press, 2015. p. 5–10. DOI 10.1016/B978-0-12-409517-5.00001-2. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095175000012>. Acesso em: 29 jan. 2024.

FENG, L.; WU, B.; ZHU, S.; HE, Y.; ZHANG, C. Application of Visible/Infrared Spectroscopy and Hyperspectral Imaging With Machine Learning Techniques for Identifying Food Varieties and Geographical Origins. **Frontiers in Nutrition**, v. 8, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2021.680357>. Acesso em: 30 jan. 2024.

FERRAZ, G. E.; LÓPEZ, M. E.; GONÇALVES, F. M. A.; MALTA, M. R.; LIMA, R. R. de; CARVALHO, G. R. de; MEINHARDT, L. W.; ZHANG, D.; CHALFUN-JUNIOR, A.; FERRAZ, G. E.; LÓPEZ, M. E.; GONÇALVES, F. M. A.; MALTA, M.

R.; LIMA, R. R. de; CARVALHO, G. R. de; MEINHARDT, L. W.; ZHANG, D.; CHALFUN-JUNIOR, A. Progeny selections of coffee cultivar “Mundo Novo” with potential for the specialty coffee market. **Beverage Plant Research**, v. 3, n. 1, p. 1–11, 18 dez. 2022. <https://doi.org/10.48130/BPR-2023-0001>.

FERREIRA, A. C. C.; MONTANUCI, F. D. Influência da temperatura e método de secagem do café (*Coffea arabica*) nas características físico-químicas e sensoriais da bebida de café. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 14, n. 2, 16 dez. 2020. DOI 10.3895/rbta.v14n2.8380. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/rbta/article/view/8380>. Acesso em: 29 jan. 2024.

FERREIRA, D. S.; EDUARDO DA SILVA OLIVEIRA, M.; RODRIGUES RIBEIRO, W.; ALTOÉ FILETE, C.; TOLEDO CASTANHEIRA, D.; CESAR PEREIRA ROCHA, B.; POLONINI MORELI, A.; CATARINA DA SILVA OLIVEIRA, E.; CARVALHO GUARÇONI, R.; PARTELLI, F. L.; LOUZADA PEREIRA, L. Association of Altitude and Solar Radiation to Understand Coffee Quality. **Agronomy**, v. 12, n. 8, p. 1885, ago. 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081885>.

FERREIRA, W. P. M.; QUEIROZ, D. M.; SILVAC, S. A.; TOMAZ, R. S.; CORRÊA, P. C. Effects of the Orientation of the Mountainside, Altitude and Varieties on the Quality of the Coffee Beverage from the “Matas de Minas” Region, Brazilian Southeast. **American Journal of Plant Sciences**, v. 07, n. 08, p. 1291, 2016. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.78124>.

FIGUEIREDO, L. P.; BORÉM, F. M.; ALMEIDA, M. R.; OLIVEIRA, L. F. C. de; ALVES, A. P. de C.; SANTOS, C. M. dos; RIOS, P. A. Raman spectroscopy for the differentiation of Arabic coffee genotypes. **Food Chemistry**, v. 288, p. 262–267, 1 ago. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.093>.

FILETE, C. A.; MOREIRA, T. R.; DOS SANTOS, A. R.; DOS SANTOS GOMES, W.; GUARÇONI, R. C.; MORELI, A. P.; AUGUSTO, M. I.; DE OLIVEIRA ABREU, R.; SIMMER, M. M. B.; CALIMAN, A. D. C.; GUIMARÃES, C. V.; DA SILVA BERILLI, S.; FERRÃO, M. A. G.; DA FONSECA, A. F. A.; PARTELLI, F. L.; BERILLI, A. P. C. G.; DA SILVA OLIVEIRA, E. C.; PEREIRA, L. L. The New Standpoints for the Terroir of *Coffea canephora* from Southwestern Brazil: Edaphic and Sensorial Perspective. **Agronomy**, v. 12, n. 8, p. 1931, ago. 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081931>.

FIORESI, D. B.; PEREIRA, L. L.; CATARINA DA SILVA OLIVEIRA, E.; MOREIRA, T. R.; RAMOS, A. C. Mid infrared spectroscopy for comparative analysis of fermented arabica and robusta coffee. **Food Control**, v. 121, p. 107625, 1 mar. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107625>.

FIRDISSA, E.; MOHAMMED, A.; BERECHA, G.; GAREDEW, W. Coffee Drying and Processing Method Influence Quality of Arabica Coffee Varieties (Coffee arabica L.) at Gomma I and Limmu Kossa, Southwest Ethiopia. **Journal of Food Quality**, v. 2022, p. e9184374, 6 abr. 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/9184374>.

FLORES-VALDEZ, M.; MEZA-MÁRQUEZ, O. G.; OSORIO-REVILLA, G.; GALLARDO-VELÁZQUEZ, T. Identification and Quantification of Adulterants in Coffee (Coffea arabica L.) Using FT-MIR Spectroscopy Coupled with Chemometrics. **Foods**, v. 9, n. 7, p. 851, jul. 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9070851>.

GETACHEW, M.; TOLASSA, K.; FRENNE, P. D.; VERHEYEN, K.; TACK, A. J. M.; HYLANDER, K.; AYALEW, B.; BOECKX, P. 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, 2022. DOI 10.1007/s13593-022-00801-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00801-8>. Acesso em: 8 mar. 2024.

GETANEH, E.; FANTA, S. W.; SATHEESH, N. Effect of Broken Coffee Beans Particle Size, Roasting Temperature, and Roasting Time on Quality of Coffee Beverage. **Journal of Food Quality**, v. 2020, p. e8871577, 15 dez. 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8871577>.

GIRMA, B.; GURE, A.; WEDAJO, F. Influence of Altitude on Caffeine, 5-Caffeoylquinic Acid, and Nicotinic Acid Contents of Arabica Coffee Varieties. **Journal of Chemistry**, v. 2020, 2020. DOI 10.1155/2020/3904761. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2020/3904761>. Acesso em: 18 fev. 2024.

GOMES, L. C.; BIANCHI, F. J. J. A.; CARDOSO, I. M.; FERNANDES, R. B. A.; FILHO, E. I. F.; SCHULTE, R. P. O. Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 294, p. 106858, 1 jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106858>.

GUERREIRO FILHO, O.; RAMALHO, M. A. P.; ANDRADE, V. T. Alcides Carvalho and the selection of Catuaí cultivar: interpreting the past and drawing lessons for the future. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, p. 460–466, dez. 2018. <https://doi.org/10.1590/1984-70332018v18n4p69>.

GUIMARÃES, E. R.; LEME, P. H. M. V.; DE REZENDE, D. C.; PEREIRA, S. P.; DOS SANTOS, A. C. The brand new Brazilian specialty coffee market. **Journal of Food Products Marketing**, v. 25, n. 1, p. 49–71, 2 jan. 2019. <https://doi.org/10.1080/10454446.2018.1478757>.

HAILE, M.; KANG, W. H. The Role of Microbes in Coffee Fermentation and Their Impact on Coffee Quality. **Journal of Food Quality**, v. 2019, p. e4836709, 7 mar. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/4836709>.

HAILE, M.; KANG, W. H.; HAILE, M.; KANG, W. H. The Harvest and Post-Harvest Management Practices' Impact on Coffee Quality. **Coffee - Production and Research**. [S. l.]: IntechOpen, 2019. DOI 10.5772/intechopen.89224. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/70151>. Acesso em: 30 jan. 2024.

HAMEED, A.; HUSSAIN, S. A.; IJAZ, M. U.; ULLAH, S.; PASHA, I.; SULERIA, H. A. R. Farm to Consumer: Factors Affecting the Organoleptic Characteristics of Coffee. II: Postharvest Processing Factors. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 5, p. 1184–1237, 2018. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12365>.

HEEGER, A.; KOSIŃSKA-CAGNAZZO, A.; CANTERGIANI, E.; ANDLAUER, W. Bioactives of coffee cherry pulp and its utilisation for production of Cascara beverage. **Food Chemistry**, v. 221, p. 969–975, 15 abr. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.067>.

HERRERA, J. C.; LAMBOT, C. Chapter 1 - The Coffee Tree—Genetic Diversity and Origin. In: FOLMER, B. (org.). **The Craft and Science of Coffee**. [S. l.]: Academic Press, 2017. p. 1–16. DOI 10.1016/B978-0-12-803520-7.00001-3. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035207000013>. Acesso em: 29 jan. 2024.

ICO, I. C. O. **Agregação de Valor aos Robustas**. **Uganda Coffee Development Authority**. [S. l.]: ICO, jun. 2010. Disponível em: <http://www.ico.org/documents/pscb-123-p-robusta.pdf>.

ILLY, A.; VIANI, R. **Espresso Coffee: The Science of Quality**. [S. l.]: Academic Press, 2005.

IZZATI, R. Analysis of Taste Quality of *Coffea Arabica* L. In Several Altitudes at Gayo Lues District. **International Journal of Advanced Research**, v. 7, n. 6, 2019. DOI 10.21474/ijar01/9243. Disponível em: <https://doi.org/10.21474/ijar01/9243>. Acesso em: 18 fev. 2024.

JAYANNA, B.; KIM, S.-C.; SHIN, M.; KIM, C.; LIM, C.; AN, H. Responses to Biotic and Abiotic Stresses and Transgenic Approaches in the Coffee Plant. **Journal of the Korean Society of International Agriculture**, v. 31, p. 359–377, 31 dez. 2019. <https://doi.org/10.12719/KSIA.2019.31.4.359>.

JOËT, T.; SALMONA, J.; LAFFARGUE, A.; DESCROIX, F.; DUSSERT, S. Use of the growing environment as a source of variation to identify the quantitative trait transcripts and modules of co-expressed genes that determine chlorogenic acid accumulation. **Plant, Cell & Environment**, v. 33, n. 7, p. 1220–1233, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02141.x>.

KALASHNIKOV, D. A.; PATEROVA, A. V.; KULIK, S. P.; KRIVITSKY, L. A. Infrared spectroscopy with visible light. **Nature Photonics**, v. 10, n. 2, p. 98–101, fev. 2016. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2015.252>.

KC, K. B.; MONTOCCHIO, D.; BERG, A.; FRASER, E. D. G.; DANESHFAR, B.; CHAMPAGNE, C. How climatic and sociotechnical factors influence crop production: a case study of canola production. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 12, p. 2063, 23 nov. 2020. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03824-6>.

LÄDERACH, P.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; NAVARRO-RACINES, C.; ZELAYA, C.; MARTINEZ-VALLE, A.; JARVIS, A. Climate change adaptation of coffee production in space and time. **Climatic Change**, v. 141, n. 1, p. 47–62, 1 mar. 2017. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1788-9>.

LÄDERACH, P.; VILLEGAS, J. R.; NAVARRO-RACINES, C. E.; ZELAYA, C.; VALLE, A. I. M.; JARVIS, A. Climate change adaptation of coffee production in space and time. **Climatic Change**, v. 141, n. 1, 2016. DOI 10.1007/s10584-016-1788-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1788-9>. Acesso em: 8 mar. 2024.

- LAUKALĒJA, I.; KRUMA, Z. Quality of specialty coffee: balance between aroma, flavour and biologically active compound composition: review. 10 dez. 2018. [*S. l.: s. n.*], 10 dez. 2018. p. 240–247. <https://doi.org/10.22616/rrd.24.2018.038>.
- LEEUVEN, C. van; FRIANT, P.; CHONÉ, X.; TREGOAT, O.; KOUNDOURAS, S.; DUBOURDIEU, D. Influence of Climate, Soil, and Cultivar on Terroir. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 55, n. 3, p. 207–217, 1 jan. 2004. <https://doi.org/10.5344/ajev.2004.55.3.207>.
- LIANG, N.; SUN, S.; ZHANG, C.; HE, Y.; QIU, Z. Advances in infrared spectroscopy combined with artificial neural network for the authentication and traceability of food. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 11, p. 2963–2984, 11 abr. 2022. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1862045>.
- LOUZADA PEREIRA, L.; CARVALHO GUARÇONI, R.; SOARES CARDOSO, W.; CÔRREA TAQUES, R.; RIZZO MOREIRA, T.; DA SILVA, S. F.; SCHWENGBERTEN CATEN, C. Influence of Solar Radiation and Wet Processing on the Final Quality of Arabica Coffee. **Journal of Food Quality**, v. 2018, p. e6408571, 11 fev. 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/6408571>.
- MACEDO, D.; CESÁRIO, M.; SOUZA, G.; CELA GREVEN, B.; PASKOCIMAS, C. A.; MARTINELLI, A.; MELO, D.; NASCIMENTO, R. Infrared Spectroscopy Techniques in the Characterization of SOFC Functional Ceramics. [*S. l.: s. n.*], 2012.
- MACRA, I.; POP, G. Behaviour of some maize hybrids in the soil and climate conditions of SCDA Lovrin. **Research Journal of Agricultural Science**, v. 45, n. 4, 2013. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153272721>. Acesso em: 30 jan. 2024.
- MALHI, G. S.; KAUR, M.; KAUSHIK, P. Impact of Climate Change on Agriculture and Its Mitigation Strategies: A Review. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1318, jan. 2021. <https://doi.org/10.3390/su13031318>.
- MARÍA MOLINA, D.; MEDINA RIVERA, R. Identifying Coffea genotypes tolerant to water deficit. **Coffee Science**, v. 17, p. 1–11, 2022. <https://doi.org/10.25186/v17i.1994>.
- MARTENS, J.; VAN OUTERSTERP, R. E.; VREEKEN, R. J.; CUYCKENS, F.; COENE, K. L. M.; ENGELKE, U. F.; KLUIJTMANS, L. A. J.; WEVERS, R. A.;

BUYDENS, L. M. C.; REDLICH, B.; BERDEN, G.; OOMENS, J. Infrared ion spectroscopy: New opportunities for small-molecule identification in mass spectrometry - A tutorial perspective. **Analytica Chimica Acta**, v. 1093, p. 1–15, 6 jan. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.10.043>.

MARTINEZ, S. J.; RABELO, M. H. S.; BRESSANI, A. P. P.; DA MOTA, M. C. B.; BORÉM, F. M.; SCHWAN, R. F. Novel stainless steel tanks enhances coffee fermentation quality. **Food Research International**, v. 139, p. 109921, 1 jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109921>.

MARTINS, P. M. M.; BATISTA, N. N.; MIGUEL, M. G. D. C. P.; SIMÃO, J. B. P.; SOARES, J. R.; SCHWAN, R. F. Coffee growing altitude influences the microbiota, chemical compounds and the quality of fermented coffees. **Food Research International**, v. 129, p. 108872, mar. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108872>.

MCGILL, C.; FORSUELO, M.; GUAN, Y.; GREEN, W. H. Predicting Infrared Spectra with Message Passing Neural Networks. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 61, n. 6, p. 2594–2609, 28 jun. 2021. <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.1c00055>.

MEDEIROS, R. D. V. V.; RODRIGUES, P. M. A. A ECONOMIA CAFEEIRA NO BRASIL E A IMPORTÂNCIA DAS INOVAÇÕES PARA ESSA CADEIA. **A Economia em Revista - AERE**, v. 25, n. 1, p. 1, 5 out. 2017. <https://doi.org/10.4025/aere.v25i1.35511>.

MEHARI, B.; REDI-ABSHIRO, M.; CHANDRAVANSI, B. S.; COMBRINCK, S.; MCCRINDLE, R.; ATLABACHEW, M. GC-MS profiling of fatty acids in green coffee (*Coffea arabica* L.) beans and chemometric modeling for tracing geographical origins from Ethiopia. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 8, p. 3811–3823, 2019. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9603>.

MENDES, E.; DUARTE, N. Mid-Infrared Spectroscopy as a Valuable Tool to Tackle Food Analysis: A Literature Review on Coffee, Dairies, Honey, Olive Oil and Wine. **Foods**, v. 10, n. 2, p. 477, fev. 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10020477>.

MERGA SAKATA, W.; GEBRESELASSIE ABTEW, W.; GAREDEW, W. Organoleptic Quality Attributes and Their Association with Morphological Traits in



Arabica Coffee (*Coffea arabica* L.) Genotypes. **Journal of Food Quality**, v. 2022, p. e2906424, 4 out. 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2906424>.

MERGA, W.; ALEMAYEHU, D. Effects of Climate Change on Global Arabica Coffee (*Coffea arabica* L) Production. 1 jan. 2019. <https://doi.org/10.15580/GJPBCS.2019.1.072319143>.

MESQUITA, C. M.; DE REZENDE, J. E.; CARVALHO, J. S.; FABRI JUNIOR, M. A.; MORAES, N. C.; DIAS, P. T.; DE CARVALHO, R. M.; DE ARAUJO, W. G. **MANUAL DO CAFÉ Colheita e Preparo. (Coffea arábica L.) - EMATER**. Belo Horizonte, MG: EMATER, 2016. Disponível em: <https://docplayer.com.br/51869816-Manual-do-cafe-colheita-e-preparo-coffee-arabica-l.html>. Acesso em: 30 jan. 2024.

MIRANDA, E. E. de;(Coord. ). Brasil em Relevo. 2005. **Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite**. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>.

MOTA, J. C. A.; ALENCAR, T. L. de; ASSIS JÚNIOR, R. N. de. ALTERAÇÕES FÍSICAS DE UM CAMBISSOLO CULTIVADO COM BANANEIRA IRRIGADA NA CHAPADA DO APODI, CEARÁ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1015–1024, ago. 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140018>.

MUÑOZ-VILLERS, L. E.; GERIS, J.; ALVARADO-BARRIENTOS, M. S.; HOLWERDA, F.; DAWSON, T. Coffee and shade trees show complementary use of soil water in a traditional agroforestry ecosystem. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 24, n. 4, p. 1649–1668, 7 abr. 2020. <https://doi.org/10.5194/hess-24-1649-2020>.

MUNYENDO, L. M.; NJOROGE, D. M.; OWAGA, E. E.; MUGENDI, B. Coffee phytochemicals and post-harvest handling—A complex and delicate balance. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 102, p. 103995, 1 set. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103995>.

NARITOMI, J.; SOARES, R. R.; ASSUNÇÃO, J. J. Institutional Development and Colonial Heritage within Brazil. **The Journal of Economic History**, v. 72, n. 2, p. 393–422, maio 2012. <https://doi.org/10.1017/S0022050712000071>.

NAYAK, P.; SOLANKI, H. EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON CROP PRODUCTION IN INDIA. **International Association of Biologicals and**

**Computational Digest**, v. 1, n. 2, p. 98–106, 5 out. 2022.  
<https://doi.org/10.56588/iabcd.v1i2.52>.

OIC. **International Coffee Organization - Relatório sobre o Mercado de Café (2023/24)/pt/Market-Report-23-24-p.asp**. Anual. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.icocoffee.org/documents/cy2023-24/cmr-1223-p.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2024.

PAIVA, R. N. Comportamento agronômico de progênies de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Varginha-MG. 27 fev. 2009. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/6735>. Acesso em: 29 jan. 2024.

PAPPO, E.; KEENE, S.; SMITH, H.; SONG, Y.; COLQUHOUN, T.; WILSON, C.; FLORY, S. L. Effects of reduced rainfall on coffee quality and volatile composition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 104, n. 1, p. 488–499, 2024. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12949>.

PARTELLI, F. L.; GILES, J. A. D.; OLIOSI, G.; COVRE, A. M.; FERREIRA, A.; RODRIGUES, V. M. Tributun: a coffee cultivar developed in partnership with farmers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, p. e30002025, 17 jul. 2020. <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n2c21>.

PELOSO, A. de F.; TATAGIBA, S. D.; REIS, E. F. dos; PEZZOPANE, J. E. M.; AMARAL, J. F. T. do. Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, v. 12, n. 3, 2017. DOI 10.25186/cs.v12i3.1314. Disponível em: <https://doi.org/10.25186/cs.v12i3.1314>. Acesso em: 18 fev. 2024.

PERDONÁ, M. J.; SORATTO, R. P.; MARTINS, A. N.; SUGUINO, E.; MANCUSO, M. A. C. Irrigação e certificação da cafeicultura na Região Centro-Oeste de São Paulo. **Bragantia**, v. 71, p. 377–384, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012005000034>.

PEREIRA, L. F. B.; FRANCO JUNIOR, K. S.; BARBOSA, C. K. R. The influence of natural fermentation on coffee drink quality. 2020. DOI 10.25186/cs.v15i.1673. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/12749>. Acesso em: 30 jan. 2024.

PEREIRA, L. L.; CARVALHO GUARÇONI, R.; SOARES DE SOUZA, G.; BRIOSCHI JUNIOR, D.; RIZZO MOREIRA, T.; SCHWENGBER TEN CATEN, C. Propositions on the Optimal Number of Q-Graders and R-Graders. **Journal of Food Quality**, v. 2018, p. e3285452, 12 fev. 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/3285452>.

PEREIRA, L. L.; GUARÇONI, R. C.; MORELI, A. P.; PINHEIRO, P. F.; PINHEIRO, C. A.; MOREIRA, T. R.; SIQUEIRA, E. de A.; CATEN, C. S. ten. Physicochemical parameters of arabica fermented coffee in different altitudes. 2021. DOI 10.25186/v16i.1877. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/12790>. Acesso em: 30 jan. 2024.

PEREIRA, L. L.; GUARÇONI, R. C.; PINHEIRO, P. F.; OSÓRIO, V. M.; PINHEIRO, C. A.; MOREIRA, T. R.; TEN CATEN, C. S. New propositions about coffee wet processing: Chemical and sensory perspectives. **Food Chemistry**, v. 310, p. 125943, 25 abr. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125943>.

PEREIRA, L. L.; MARCATE, J. P. P.; CALIMAN, A. D. C.; GUARÇONI, R. C.; MORELI, A. P. Physical Classification and Sensory Coffee Analysis. *In*: LOUZADA PEREIRA, L.; RIZZO MOREIRA, T. (orgs.). **Quality Determinants In Coffee Production**. Food Engineering Series. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 373–405. DOI 10.1007/978-3-030-54437-9\_8. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9_8). Acesso em: 30 jan. 2024.

PEREZ, M.; DOMÍNGUEZ-LÓPEZ, I.; LÓPEZ-YERENA, A.; VALLVERDÚ QUERALT, A. Current strategies to guarantee the authenticity of coffee. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 63, n. 4, p. 539–554, 5 fev. 2023. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1951651>.

PEZZOPANE, J. R. M.; CASTRO, F. da S.; PEZZOPANE, J. E. M.; BONOMO, R.; SARAIVA, G. S. Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, 2010. DOI 10.1590/s1806-66902010000300004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1806-66902010000300004>. Acesso em: 18 fev. 2024.

PHAM, Y.; REARDON-SMITH, K.; MUSHTAQ, S.; COCKFIELD, G. The impact of climate change and variability on coffee production: a systematic review. **Climatic**

**Change**, v. 156, n. 4, p. 609–630, 1 out. 2019. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02538-y>.

PIRES, F. de C.; PEREIRA, R. G. F. A.; BAQUETA, M. R.; VALDERRAMA, P.; ALVES DA ROCHA, R. Near-infrared spectroscopy and multivariate calibration as an alternative to the Agtron to predict roasting degrees in coffee beans and ground coffees. **Food Chemistry**, v. 365, p. 130471, 15 dez. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130471>.

PIZZAIA, J. P. L.; SALCIDES, I. R.; ALMEIDA, G. M. de; CONTARATO, R.; ALMEIDA, R. de. Arabica coffee samples classification using a Multilayer Perceptron neural network. *In*: 2018 13TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRY APPLICATIONS (INDUSCON), nov. 2018. **2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)** [...]. [S. l.: s. n.], nov. 2018. p. 80–84. DOI 10.1109/INDUSCON.2018.8627271. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8627271>. Acesso em: 30 jan. 2024.

QUINTÃO, R. T.; BRITO, E. P. Z.; BELK, R. W. THE TASTE TRANSFORMATION RITUAL IN THE SPECIALTY COFFEE MARKET. **Revista de Administração de Empresas**, v. 57, p. 483–494, out. 2017. <https://doi.org/10.1590/S0034-759020170506>.

RANA, R.; KUMAR, A.; BHATIA, R. Impact of infra red spectroscopy in quantitative estimation: An update. **Asian Journal of Pharmaceutical Analysis**, v. 10, n. 4, p. 218–230, 2020. <https://doi.org/10.5958/2231-5675.2020.00040.X>.

RAVEENDRAN, A.; MURTHY, P. S. New trends in specialty coffees - “the digested coffees”. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 17, p. 4622–4628, 23 jun. 2022. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1877111>.

RIBEIRO, B. B.; MENDONÇA, L. M. V. L.; ASSIS, G. A.; MENDONÇA, J. M. A. de; MALTA, M. R.; MONTANARI, F. F. Avaliação química e sensorial de blends de *Coffea canephora* Pierre e *Coffea arabica* L. abr. 2014. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/8027>. Acesso em: 30 jan. 2024.

ROBERT, J. V.; DE GOIS, J. S.; ROCHA, R. B.; LUNA, A. S. Direct solid sample analysis using synchronous fluorescence spectroscopy coupled with chemometric tools for the geographical discrimination of coffee samples. **Food Chemistry**, v. 371, p. 131063, 1 mar. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131063>.

RODRIGUES, W. N.; TOMAZ, M. A.; FERRÃO, M. a. G.; MARTINS, L. D.; COLODETTI, T. V.; BRINATE, S. V. B.; AMARAL, J. F. T.; SOBREIRA, F. M.; APOSTÓLICO, M. A. Biometry and diversity of Arabica coffee genotypes cultivated in a high density plant system. **Genetics and molecular research: GMR**, v. 15, n. 1, 11 fev. 2016. <https://doi.org/10.4238/gmr.15017724>.

RODRIGUES, W. P.; VIEIRA, H. D.; BARBOSA, D. H. S. G.; SOUSA FILHO, G. R.; PARTELLI, F. L. Agronomic performance of arabica coffee genotypes in northwest Rio de Janeiro State. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 3, p. 5664–5673, 2014. <https://doi.org/10.4238/2014.July.25.22>.

RODRIGUEZ, Y. F. B.; GUZMAN, N. G.; HERNANDEZ, J. G. EFFECT OF THE POSTHARVEST PROCESSING METHOD ON THE BIOCHEMICAL COMPOSITION AND SENSORY ANALYSIS OF ARABICA COFFEE. **Engenharia Agrícola**, v. 40, p. 177–183, 22 abr. 2020. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n2p177-183/2020>.

RONCHI, C. P.; ARAÚJO, F. C. de; ALMEIDA, W. L. de; SILVA, M. A. A. da; MAGALHÃES, C. E. de O.; OLIVEIRA, L. B. de; DRUMOND, L. C. D. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao deficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, 2015. DOI 10.1590/s0100-204x2015000100003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2015000100003>. Acesso em: 9 mar. 2024.

RONCHI, C. P.; MIRANDA, F. R. Flowering Percentage in Arabica Coffee Crops Depends on the Water Deficit Level Applied During the Pre-Flowering Stage1. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, 2020. DOI 10.1590/1983-21252020v33n121rc. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n121rc>. Acesso em: 18 fev. 2024.

SAKAI, E.; BARBOSA, E. A. A.; SILVEIRA, J. M. de C.; PIRES, R. C. de M. Coffea arabica (cv Catuaí) production and bean size under different population arrangements and soil water availability. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 1, 2013. DOI 10.1590/s0100-69162013000100015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-69162013000100015>. Acesso em: 18 fev. 2024.

SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. Cultivo do milho : clima e solo - Ainfo - Embrapa. **infoteca.cnptia.embrapa.br**. Sete Lagoas, MG: [s. n.], 2002. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/486999/1/Com38.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2024.

SANTOS, R. A. dos; PRADO, M. A.; PERTIERRA, R.; PALACIOS, H. A. Análises de açúcares e ácidos clorogênicos de cafés colhidos em diferentes estádios de maturação e após o processamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, n. 0, 2018. DOI 10.1590/1981-6723.16317. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.16317>. Acesso em: 8 mar. 2024.

SANTOS, K. M.; MOURA, M. F. V.; AZEVEDO, F. G.; LIMA, K. M. G.; RAIMUNDO JR., I. M.; PASQUINI, C. Classification of Brazilian Coffee Using Near-Infrared Spectroscopy and Multivariate Calibration. **Analytical Letters**, v. 45, n. 7, p. 774–781, 1 maio 2012. <https://doi.org/10.1080/00032719.2011.653905>.

SARAVIA-CASTILLO, G.; FIGUEROA, L. T. y; BORJAS-VENTURA, R. Auxins and Cytokinins elicit a differentiated response in the formation of shoots and roots in *Cattleya maxima* Lindl and *Phalaenopsis amabilis* (L) Blume. **Scientia Agropecuaria**, v. 13, n. 1, p. 63–69, 28 fev. 2022. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.006>.

SCAA, S. C. A. **Protocolo para análise sensoral de Café Metodologia SCAA**. [S. l.: s. n.], 2008. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://coffeetraveler.net/wp-content/files/901-SCAA\\_CuppingProtocols\\_TSC\\_DocV\\_RevDec08\\_Portuguese.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://coffeetraveler.net/wp-content/files/901-SCAA_CuppingProtocols_TSC_DocV_RevDec08_Portuguese.pdf).

SCAA, S. C. A. **Protocolo para análise sensoral de Café Metodologia SCAA**. [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://coffeetraveler.net/wp-content/files/901-SCAA\\_CuppingProtocols\\_TSC\\_DocV\\_RevDec08\\_Portuguese.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://coffeetraveler.net/wp-content/files/901-SCAA_CuppingProtocols_TSC_DocV_RevDec08_Portuguese.pdf).

SCHOLZ, M. B. dos S.; SILVA, J. V. N. da; FIGUEIREDO, V. R. G. de; KITZBERGER, C. S. G. Atributos sensoriais e características físico-químicas de bebida de cultivares de café do IAPAR. jan. 2013. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/7928>. Acesso em: 30 jan. 2024.

SILVA, C. Microbial activity during coffee fermentation. **Cocoa and coffee fermentations**, , p. 397–430, 1 jan. 2014. .

SILVA, D. T.; SALDANHA, C. B.; MARTINS, L. O. S.; LOPES, J. M.; SILVA, M. S. Coffee Production and Geographical Indications (GI): An Analysis of the World Panorama and the Brazilian Reality. **Journal of Sustainable Development**, v. 16, n. 3, p. 1–47, 2023. .

SILVA, C. S. da; COELHO, A. P. de F.; LISBOA, C. F.; VIEIRA, G.; TELES, M. C. de A. Post-harvest of coffee: factors that influence the final quality of the beverage. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 30, n. Contínua, p. 49–62, 27 abr. 2022. <https://doi.org/10.13083/reveng.v30i1.12639>.

SIMMER, M. M. B.; SOARES DA SILVA, M. de C.; PEREIRA, L. L.; MOREIRA, T. R.; GUARÇONI, R. C.; VELOSO, T. G. R.; DA SILVA, I. M. R.; ENTRINGER, T. L.; KASUYA, M. C. M.; DA LUZ, J. M. R.; MORELI, A. P.; DA SILVA OLIVEIRA, E. C. Edaphoclimatic conditions and the soil and fruit microbiota influence on the chemical and sensory quality of the coffee beverage. **European Food Research and Technology**, v. 248, n. 12, p. 2941–2953, 1 dez. 2022. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04102-y>.

SOARES, L. B.; DORNELAS, M. A. Coffees in Brazil: A bibliometric study about specialty coffees. **Seven Editora**, 15 jun. 2023. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/1581>. Acesso em: 30 jan. 2024.

SOMPORN, C.; KAMTUO, A.; THEERAKULPISUT, P.; SIRIAMORNUN, S. Effect of shading on yield, sugar content, phenolic acids and antioxidant property of coffee beans (*Coffea Arabica* L. cv. Catimor) harvested from north-eastern Thailand. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 9, p. 1956–1963, 2012. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5568>.

SOUZA, M. L. de; PASSAMANI, F. R. F.; ÁVILA, C. L. da S.; BATISTA, L. R.; SCHWAN, R. F.; SILVA, C. F. Use of wild yeasts as a biocontrol agent against toxigenic fungi and OTA production. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, p. 349–358, set. 2017. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i3.32659>.

STANEK, N.; ZARĘBSKA, M.; BIŁOS, Ł.; BARABOSZ, K.; NOWAKOWSKA-BOGDAN, E.; SEMENIUK, I.; BŁASZKIEWICZ, J.; KULESZA, R.; MATEJUK, R.; SZKUTNIK, K. Influence of coffee brewing methods on the chromatographic and

spectroscopic profiles, antioxidant and sensory properties. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 21377, 1 nov. 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01001-2>.

SUNARHARUM, Wenny B.; WILLIAMS, D. J.; SMYTH, H. E. Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. **Food Research International**, v. 62, p. 315–325, 1 ago. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.030>.

SUNARHARUM, Wenny B.; YUWONO, S. S.; NADHIROH, H. Effect of different post-harvest processing on the sensory profile of Java Arabica coffee. **Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering**, v. 1, n. 1, 2018. DOI 10.21776/ub.afssae.2018.001.01.2. Disponível em: <https://doi.org/10.21776/ub.afssae.2018.001.01.2>. Acesso em: 7 mar. 2024.

SWAMI, S. 1 1 S. of N. R. M. Innovative soil-crop management systems for climate smart sustainable agriculture. , p. I, maio 2023. <https://doi.org/10.22438/jeb/44/3/Editorial>.

TAVARES, B. C.; OLIVEIRA, A. N. de. A oferta de Turismo de Cafés pela perspectiva dos(as) cafeicultores(as) brasileiros(as). **PASOS Revista de Turismo y Patrimonio Cultural**, v. 21, n. 3, p. 551–562, 18 jun. 2023. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2023.21.038>.

TAVARES, K. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; NUNES, C. A.; PINHEIRO, A. C. M.; RODARTE, M. P.; GUERREIRO, M. C. Espectroscopia no infravermelho médio e análise sensorial aplicada à detecção de adulteração de café torrado por adição de cascas de café. **Química Nova**, v. 35, p. 1164–1168, 2012a. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000600018>.

TAVARES, K. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; NUNES, C. A.; PINHEIRO, A. C. M.; RODARTE, M. P.; GUERREIRO, M. C. Espectroscopia no infravermelho médio e análise sensorial aplicada à detecção de adulteração de café torrado por adição de cascas de café. **Química Nova**, v. 35, p. 1164–1168, 2012b. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000600018>.

THOMAZIELLO, R. A.; INSTITUTO AGRONOMICO, C. por; FAZUOLI, L. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Cafe arabica: cultura e tecnicas de producao. 2000. Disponível em:



<https://agris.fao.org/search/en/providers/122621/records/647396ca3ed73003714cf206>.  
Acesso em: 18 abr. 2024.

TOLESSA, K.; D'HEER, J.; DUCHATEAU, L.; BOECKX, P. Influence of growing altitude, shade and harvest period on quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 9, p. 2849–2857, 2017. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8114>.

VAN MULLEM, J. J.; DE SOUSA BUENO FILHO, J. S.; DIAS, D. R.; SCHWAN, R. F. Chemical and sensory characterization of coffee from *Coffea arabica* cv. Mundo Novo and cv. Catuai Vermelho obtained by four different post-harvest processing methods. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 102, n. 14, p. 6687–6695, 2022. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12036>.

VANIA, T.; BENAVIDES-FRIAS, C.; JACOBI, J.; SPERANZA, C. I. Ecological quality as a coffee quality enhancer. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 43, n. 1, 2023. DOI 10.1007/s13593-023-00874-z. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00874-z>. Acesso em: 8 mar. 2024.

VEGRO, C. L. R.; DE ALMEIDA, L. F. Chapter 1 - Global coffee market: Socio-economic and cultural dynamics. *In*: DE ALMEIDA, L. F.; SPERS, E. E. (orgs.). **Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil**. Woodhead Publishing Series in Consumer Sci & Strat Market. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2020. p. 3–19. DOI 10.1016/B978-0-12-814721-4.00001-9. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128147214000019>. Acesso em: 29 jan. 2024.

VELOSO, T. G. R.; DA SILVA, M. de C. S.; CARDOSO, W. S.; GUARÇONI, R. C.; KASUYA, M. C. M.; PEREIRA, L. L. Effects of environmental factors on microbiota of fruits and soil of *Coffea arabica* in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 14692, 7 set. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71309-y>.

VERBURG, R.; RAHN, E.; VERWEIJ, P.; VAN KUIJK, M.; GHAZOUL, J. An innovation perspective to climate change adaptation in coffee systems. **Environmental Science & Policy**, v. 97, p. 16–24, 1 jul. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.03.017>.

VOLSI, B.; TELLES, T. S.; CALDARELLI, C. E.; CAMARA, M. R. G. da. The dynamics of coffee production in Brazil. **PLOS ONE**, v. 14, n. 7, p. e0219742, 23 jul. 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219742>.

WIBOWO, N. A.; DJUFRY, F.; SYAFARUDDIN; IFLAH, T.; DANI. The Quality of Arabica Coffee Beans Evaluation at Various Processing in Luwu Regency South Sulawesi, Indonesia. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1038, n. 1, p. 012068, jun. 2022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1038/1/012068>.

WORKU, M.; ASTATKIE, T.; BOECKX, P. Quality and biochemical composition of Ethiopian coffee varied with growing region and locality. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 115, p. 105015, 1 jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.105015>.

WORKU, M.; DE MEULENAER, B.; DUCHATEAU, L.; BOECKX, P. Effect of altitude on biochemical composition and quality of green arabica coffee beans can be affected by shade and postharvest processing method. **Food Research International**, v. 105, p. 278–285, 1 mar. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.016>.

WORKU, M.; UPADHAYAY, H. R.; LATRUWE, K.; TAYLOR, A.; BLAKE, W.; VANHAECKE, F.; DUCHATEAU, L.; BOECKX, P. Differentiating the geographical origin of Ethiopian coffee using XRF- and ICP-based multi-element and stable isotope profiling. **Food Chemistry**, v. 290, p. 295–307, 30 ago. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.135>.

XU, S.; LIU, Y.; SUN, Z.; CHEN, G.; MA, F.; YANG, N.; FILHO, E. de M. V.; FISK, I. D. Effects of agro-forestry systems on the physical and chemical characteristics of green coffee beans. **Frontiers in Nutrition**, v. 10, 2023. DOI 10.3389/fnut.2023.1198802. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10369047/>. Acesso em: 30 jan. 2024.

YENER, S.; ROMANO, A.; CAPPELLIN, L.; GRANITTO, P. M.; APREA, E.; NAVARINI, L.; MÄRK, T. D.; GASPERI, F.; BIASIOLI, F. Tracing coffee origin by direct injection headspace analysis with PTR/SRI-MS. **Food Research International**, v. 69, p. 235–243, 1 mar. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.046>.

ZAIDAN, Ú. R.; CORRÊA, P. C.; FERREIRA, W. P. M.; CECON, P. R. Ambiente e variedades influenciam a qualidade de cafés das matas de minas. **Coffee Science - ISSN 1984-3909**, v. 12, n. 2, p. 240–247, 4 jun. 2017. .

ZHANG, C.; WANG, C.; LIU, F.; HE, Y. Mid-Infrared Spectroscopy for Coffee Variety Identification: Comparison of Pattern Recognition Methods. **Journal of Spectroscopy**, v. 2016, 2016. DOI 10.1155/2016/7927286. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2016/7927286>. Acesso em: 8 mar. 2024.

ZHANG, S. J.; DE BRUYN, F.; POTHAKOS, V.; CONTRERAS, G. F.; CAI, Z.; MOCCAND, C.; WECKX, S.; DE VUYST, L. Influence of Various Processing Parameters on the Microbial Community Dynamics, Metabolomic Profiles, and Cup Quality During Wet Coffee Processing. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2019.02621>. Acesso em: 30 jan. 2024.