



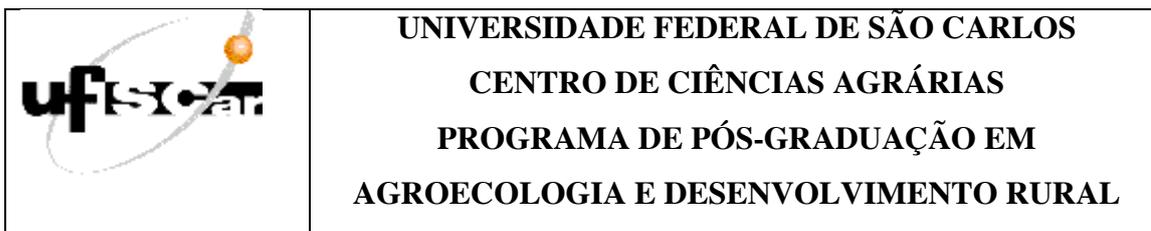
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL

**EFEITO DO MANEJO CONVENCIONAL E ORGÂNICO NA QUALIDADE DO
GRÃO E BEBIDA DE CAFÉ**

JESSICA DE MELO GONCALVES

Araras-SP

2022



**EFEITO DO MANEJO CONVENCIONAL E ORGÂNICO NA QUALIDADE DO
GRÃO E BEBIDA DE CAFÉ**

JESSICA DE MELO GONCALVES

ORIENTADORA: PROFA. DRA. MARTA REGINA VERRUMA BERNARDI

COORIENTADORA: PROFA. DRA. ANASTÁCIA FONTANETTI

COORIENTADOR: PROF. DR. GILBERTO RODRIGUES LISKA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE EM AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL.

Araras-SP

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Goncalves, Jessica de Melo

Efeito do manejo convencional e orgânico na qualidade do grão e bebida de café / Jessica de Melo Goncalves -- 2022.

51f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras

Orientador (a): Marta Regina Verruma Bernardi

Banca Examinadora: Marta Regina Verruma Bernardi, André Eduardo de Souza Belluco, Vanda Renata Reis

Bibliografia

1. Agricultura orgânica. I. Goncalves, Jessica de Melo. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8
7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Jessica de Melo Gonçalves, realizada em 30/08/2022.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Marta Regina Verruma Bernardi (UFSCar)

Prof. Dr. André Eduardo de Souza Belluco (UFSCar)

Profa. Dra. Vanda Renata Reis (UNAR)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural.

AGRADECIMENTOS

- À minha orientadora Profa. Marta Regina Verruma Bernardi, que me aceitou como orientanda e me auxiliou durante toda jornada;
- Aos meus co-orientadores Profa. Anastácia Fontanetti e Prof. Gilberto Rodrigues Liska que contribuíram durante a pesquisa. E a todos professores que, de alguma forma, me fortaleceram e me apoiaram durante todo processo;
- À Maria Helena Sachi do Amaral da Biblioteca Araras - UFSCar;
- À minha família, meu pai Ailton, minha mãe Teresinha e irmã Jaqueline que me deram a base para superar cada desafio e ao meu avô Vitor Gonçalves por deixar o legado na cafeicultura na minha família e ao João Francisco nosso futuro sucessor;
- Aos meus amigos de pós-graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural, Maeli Trindade, Natalia Cheung, Candela Arias, Marcelo Xavier e Maicon Caatingueiro que apesar do pouco tempo de convívio presencial, através do nosso laço nos fortalecemos uns aos outros ao longo desta trajetória;
- Ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural e à Secretária do PPGADR, Cris, pelo carinho, atenção e paciência;
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

	Página
ÍNDICE DE TABELAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
3. REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1. Café	13
3.2. Produção de café no Brasil	13
3.3. Cafés especiais	14
3.4. Qualidade da bebida de café	15
3.5. Características químicas físicas e sensoriais do café	16
3.6. Sistemas de produção de café	18
3.7. Minerais na qualidade do café	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1. Caracterização do local de estudo	25
4.2. Atributos químicos do solo	26
4.3. Análise química do tecido foliar	27
4.4. Colheita, secagem dos grãos e teor de umidade	27
4.5. Análise física dos grãos	27
4.6. Preparo da bebida e análise sensorial	28
4.7. Preparo da bebida e análise sensorial	29
4.8. Análise dos dados	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1. Atributos químicos do solo	31
5.2. Teores foliares de nutrientes	35
5.3. Análise física dos grãos	36
5.4. Análise sensorial da bebida	37
6. CONCLUSÃO	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

ÍNDICE DE TABELAS

		Página
Tabela 1.	Teores de argila, silte, areia e classificação textural dos solos das lavouras cafeeiras nos sistemas convencional e orgânico. Poço Fundo, MG, 2021.	26
Tabela 2.	Resultados das médias e probabilidade de significância (<i>p-value</i>) dos atributos químicos dos solos sob os sistemas café convencional e orgânico.	32
Tabela 3.	Resultados das médias e probabilidade de significância (<i>p-value</i>) dos teores foliares de nutrientes nos cafeeiros sob sistema convencional e orgânico.	35
Tabela 4.	Resultados das médias e probabilidade de significância (<i>p-value</i>) de sólidos solúveis totais (°Brix) nos manejos orgânico e convencional de café.	36
Tabela 5.	Resultados das análises físicas e umidade dos grãos nos manejos orgânico e convencional do café.	37
Tabela 6.	Resultados da análise sensorial nos manejos orgânico e convencional de café.	39
Tabela 7.	Correlações entre os parâmetros avaliados (atributos do solo) e os três primeiros componentes principais com as respectivas proporções da variância explicada por cada componente principal.	42

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Talhões de café com manejo convencional e orgânico.	26
Figura 2.	Secagem dos grãos de café em terreiro suspenso	28
Figura 3.	Gráfico de correlações e teste <i>t</i> -Student para testar a hipótese nula de que a correlação populacional é nula entre os atributos químicos de solo nos cafeeiros sob sistema convencional e orgânico. Comparações em que há a aceitação da hipótese nula estão marcadas com × e considerou-se 5% como nível de significância	38
Figura 4.	Escores das componentes principais 1 (a), 2 (b) e 3 (c) para os atributos químicos de solo. Visualização bidimensional dos escores das componentes principais 1 e 2. CONV: Sistema convencional; ORG: Sistema orgânico (d)	40
Figura 5.	Gráfico de correlações e teste <i>t</i> -Student para testar a hipótese nula de que a correlação populacional é nula entre os teores foliares de nutrientes nos cafeeiros sob sistema convencional e orgânico. Comparações em que há a aceitação da hipótese nula estão marcadas com × e considerou-se 5% como nível de significância	41
Figura 6.	Escores das componentes principais 1 (a), 2 (b) e 3 (c) para os teores foliares de nutrientes nos cafeeiros. Visualização bidimensional dos escores das componentes principais 1 e 2. CONV: Sistema convencional; ORG: Sistema orgânico	43

EFEITO DO MANEJO CONVENCIONAL E ORGÂNICO NA QUALIDADE DO GRÃO E BEBIDA DE CAFÉ

Autora: Jessica de Melo Goncalves

Orientadora: Profa. Dra. Marta Regina Verruma Bernardi

Co-orientadora: Profa. Dra. Anastácia Fontanetti

Co-orientador: Prof. Dra. Gilberto Rodrigues Liska

RESUMO

As diferentes práticas de manejo adotadas nos sistemas de cultivo do café podem influenciar os atributos químicos do solo e conseqüentemente a nutrição mineral das plantas interferindo na qualidade dos frutos, grãos e bebida de café. O objetivo do estudo foi avaliar os efeitos dos atributos químicos do solo e nutrição mineral foliar na qualidade do grão e bebida de cafeeiros (Catuaí Vermelho, *Coffea arabica* L.) em sistemas convencional e orgânico. O pH e os teores de matéria orgânica, magnésio, boro, cobre, ferro e manganês no solo não diferiram entre os sistemas convencional e orgânico. Os maiores teores de enxofre e fósforo no solo foram observados no sistema orgânico e os maiores teores de zinco e potássio no sistema convencional. Os teores foliares de nitrogênio, fósforo, magnésio e boro foram superiores nos cafeeiros no sistema convencional e os teores foliares de potássio e zinco no sistema orgânico. Verificou-se evidências sobre o comportamento das amostras de solo e tecido foliar dos dois sistemas, que ofereceram condições favoráveis para o desenvolvimento dos frutos, apresentando no sistema orgânico maiores valores de SST e diâmetros de grãos e na qualidade da bebida do café os atributos sensoriais apresentaram notas similares, ambos os cafés receberam pontuação 83, sendo classificados como cafés especiais.

Palavras-chave: análise foliar, análise física, análise sensorial.

EFFECT OF CONVENTIONAL AND ORGANIC MANAGEMENT ON THE QUALITY OF BEAN AND COFFEE DRINKS

Author: Jessica de Melo Goncalves

Advisor: Profa. Dra. Marta Regina Verruma Bernardi

Co-advisor: Profa. Dra. Anastácia Fontanetti

Co-advisor: Prof. Dr. Gilberto Rodrigues Liska

ABSTRACT

The different soil management practices adopted in coffee cultivation systems can influence the chemical attributes of the soil and consequently the mineral nutrition of plants, interfering with the quality of fruits, beans and coffee beverage. The different soil management practices adopted in coffee cultivation systems can influence the chemical attributes of the soil and consequently the mineral nutrition of plants, interfering with the quality of fruits, beans and coffee beverage. The objective of the study was to evaluate the effects of soil chemical attributes and leaf mineral nutrition on the quality of coffee beans and beverage (Catuaí Vermelho, *Coffea arabica* L.) under conventional and organic systems. Soil chemical attributes, leaf contents, grain and beverage quality were evaluated. The pH and the contents of organic matter, magnesium, boron, copper, iron and manganese in the soil did not differ between the conventional and organic systems. The highest levels of sulfur and phosphorus in the soil were observed in the organic system and the highest levels of zinc and potassium in the conventional system. The foliar contents of nitrogen, phosphorus, magnesium and boron were higher in the coffee plants in the conventional system and the foliar contents of potassium and zinc in the organic system. There was evidence on the behavior of soil samples and leaf tissue from the two systems, which offered favorable conditions for fruit development, presenting in the organic system higher values of TSS and grain diameters and in the quality of the coffee beverage the sensory attributes presented similar scores, both coffees received a score of 83, being classified as specialty coffees.

Keywords: leaf analysis, physical analysis, sensory analysis.

1. INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira, nas últimas décadas, tem passado por diversas modificações no processo produtivo com objetivo de melhorar a qualidade dos grãos e da bebida, principalmente para atender à crescente demanda nacional e internacional por cafés especiais.

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo e um dos poucos produtos agrícolas valorizados em função da sua qualidade, quanto melhor a qualidade do café, maior a agregação de valor e preço pago pelo produto (GUTIERREZ; BARRERA, 2015).

A classificação de um café como especial deve atender a atributos sensoriais estabelecidos pela Associação Americana de Cafés Especiais. Nesta classificação são concedidas, em uma escala de zero a dez, aos atributos fragrância/aroma, sabor, acidez, corpo, finalização (sabor residual), balanço (equilíbrio), uniformidade, doçura, xícara limpa e avaliação geral (impressão global) e a nota final é composta pelo somatório das notas individuais dos atributos e para ser considerado café especial, é necessário obter, no mínimo, 80 pontos (SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA – SCAA (2015)).

Os principais fatores que podem influenciar a composição química dos grãos e a qualidade da bebida são os genéticos (intrínsecos aos genótipos/variedades), edafoclimáticos (altitude, regime hídrico, solo etc.) práticas de produção e beneficiamento (MALTA et al., 2008; SUNAHARUM; WILLIAMS; SMYTH, 2014). Neste contexto, as diferentes estratégias de manejo e construção da fertilidade do solo adotadas pelos agricultores podem influenciar a qualidade dos grãos de café e bebida devido aos efeitos na nutrição mineral do cafeeiro.

A influência da nutrição mineral do cafeeiro sobre o produto final, deve-se a sua atuação no metabolismo da planta, no acúmulo de compostos químicos desejáveis, e por seu papel na produção de substâncias que impedem o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis nos grãos (MARTINEZ et al., 2014). A nutrição mineral também determina a composição orgânica do grão verde, que após torrado produz compostos que conferem características de aroma e sabor do café (SILVA et al., 1999).

Caracteriza-se como sistema orgânico de produção, todo aquele que adota um conjunto de técnicas específicas, visando a sustentabilidade econômica e ecológica, incluindo a minimização da dependência de energia não renovável e a maximização dos benefícios sociais. Esse tipo de produção está baseado nos princípios da diversificação, reciclagem, processos biológicos e reprodução dos habitats naturais, possibilitando a autorregulação dos sistemas, sendo favorável no manejo de pragas e doenças (BRASIL, 2003a; QUEIROGA et al., 2021). Malta et al. (2008), observaram superioridade das bebidas de cafés advindas de lavoura em conversão para o sistema orgânico em relação ao da lavoura desenvolvida no sistema convencional.

2. OBJETIVOS

O estudo teve como objetivos avaliar os efeitos dos atributos químicos do solo e da nutrição mineral na qualidade dos grãos e bebida de cafeeiros produzidos em sistema convencional e orgânico.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Café

O cafeeiro é uma planta de origem etíope, da família Rubiaceae e do gênero *Coffea*, possui cerca de 90 espécies registradas das quais 25 são exploradas comercialmente. O café, fruto do cafeeiro, é responsável pela produção de uma bebida, que leva o mesmo nome do fruto, apreciado em diversas partes do planeta. Das 25 espécies exploradas, quatro possuem significativa relevância no mercado mundial: *Coffea arábica*, *Coffea canéfora*, *Coffea liberica* e *Coffea dewevrei*; sendo o *Coffea arábica* o mais produzido e exportado (SOUZA et al., 2004; INTERNATIONAL COOFFE ORGANIZATION - ICO, 2021).

De acordo com Camargo e Camargo (2001), o café arábica demora dois anos para completar o ciclo fenológico de frutificação, passando por seis fases, a primeira é a fase vegetativa com sete meses, de setembro a março, todos com dias longos; a segunda fase também é vegetativa, de abril a agosto, quando há indução das gemas vegetativas dos nós para gemas reprodutivas. Já na terceira fase ocorre a floração e expansão dos frutos, de setembro a dezembro. As florações ocorrem cerca de 8 a 15 dias após o aumento do potencial hídrico nas gemas florais (choque hídrico), causado por chuva ou irrigação, a quarta fase é de granação dos frutos, de janeiro a março; a quinta fase de maturação dos frutos e põe fim a sexta fase, de senescência e morte dos ramos produtivos, não primários, em julho e agosto.

Os frutos estão expostos a incidência de microrganismos como leveduras, fungos, bactérias, nas fases de pré e pós-colheita e tem sido um dos principais fatores que influenciam a qualidade do café que, encontrando condições favoráveis para se desenvolverem, infectam os grãos (MARTINEZ et al., 2014).

3.2. Produção de café no Brasil

O Brasil é o maior exportador de café e na safra 2020/21 o país foi responsável por cerca de 19% das exportações mundiais de café. A produção brasileira está concentrada nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo, sendo esses estados responsáveis por cerca de 92% da produção nacional (BRASIL, 2020).

O café é um dos produtos mais tradicionais da agricultura brasileira e muitas mudanças ocorreram, principalmente nas últimas décadas, em termos de manejo e tecnologias de produção. O sistema convencional de produção de café é caracterizado por uma simplificação e artificialização dos agroecossistemas, formado por plantas geneticamente idênticas e altamente dependentes de insumos externos. Assim, juntamente com o crescimento da demanda dos consumidores por produtos de maior qualidade e que atendam as questões socioambientais ligadas ao processo de produção do café, e com o objetivo de aumentar a competitividade, surgiram sistemas alternativos de produção do café, como o sistema orgânico e o sustentável (CARVALHO, 2002; LOPES et al., 2012).

3.3. Cafés especiais

O segmento de cafés especiais surgiu no Brasil como uma opção para os produtores atraírem compradores que queriam um produto de qualidade e características próprias (DORNELA et al., 2017). Segundo a Brasil Specialty Coffee Association - BSCA (2021), os cafés especiais são grãos isentos de impurezas e defeitos que possuem atributos sensoriais diferenciados que incluem bebida limpa e doce, corpo e acidez equilibrados, qualificam sua bebida acima dos 80 pontos na análise sensorial e devem ter rastreabilidade certificada e respeitar os critérios de sustentabilidade ambiental, econômica e social em todas as etapas de produção.

A metodologia SCAA é a mais utilizada, devido a aceitação internacional, porém, ainda há legislações locais que visam assegurar a qualidade do café nos países produtores. A Instrução Normativa que estabelece os padrões de qualidade de grãos de café, considera, além do teste de qualidade sensorial, a presença de defeitos intrínsecos (grãos que apresentam características defeituosas em detrimento do manejo) e extrínsecos (materiais estranhos, como torrões de solo, pedras ou paus, incorporados ao café durante a colheita). Entre os defeitos intrínsecos, destacam-se os grãos ardidos; grãos verdes e grãos brocados e também, classifica os grãos quanto ao tamanho, valendo-se de peneiras com crivos em frações de 1/64, entre 9/64 e 20/64 (BRASIL, 2003b).

Segundo protocolo de avaliação de cafés especiais estabelecido pela SCAA (2015), são avaliados em onze atributos (fragrância/aroma, uniformidade, ausência de

defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio, defeitos e avaliação global). Para estes atributos foram dadas notas baseadas em uma escala com intervalos de 0,25, representando os níveis de qualidade: 6,00 a 6,75 (bom), 7,00 a 7,75 (muito bom), 8,00 a 8,75 (excelente), 9,00 a 9,75 (excepcional) que classificam o café nas categorias: abaixo da qualidade especial para notas abaixo de 80; muito bom (*premium*) entre 80 e 84,99 (abaixo de 85); excelente (*especial origin*) para notas entre 85 e 89,99; exemplar (especial raro) notas entre 90 e 100.

As normas para classificação foram regidas pela Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Os defeitos são características negativas dos grãos de café e possuem diferentes pesos na classificação final, afetando a qualidade. A classificação por tipo corresponde à separação dos defeitos extrínsecos: pau, pedra, torrão, casca, marinheiro, coco e defeitos intrínsecos das amostras de café são grãos imperfeitos, grãos pretos, verdes, ardidos, brocados, quebrados, conchos e mal granados. Os grãos pretos, verdes e ardidos são agrupados em número de defeitos chamados de PVA, sendo estes defeitos provocados por erros no processo de colheita e secagem inadequada (BRASIL, 2003b).

Na avaliação física dos grãos, a classificação por “peneira” separa e diferencia os grãos quanto ao seu tamanho (gráudo, médio e miúdo) e formato (chato e moca). É realizada para obter maior uniformização dos grãos na amostra, tendo em vista que a qualidade da torração é influenciada por essa homogeneidade (PIMENTA, 2020).

Na determinação da granulometria, pesa-se 100 g de grãos de café beneficiados de cada amostra, isenta de defeitos, que serão despejados sobre as peneiras dispostas na ordem decrescente e na determinação do peso, realiza-se a pesagem dos grãos retidos em cada peneira. A classificação de café por peneira discrimina os grãos beneficiados pelas suas dimensões em: grão chato grosso: peneira 17 (café grande); grão chato médio: peneiras 15 e 16 (café médio); grão chato: peneiras 12, 13 e 14 (café miúdo ou chatinho); grão moca grosso: peneiras 11 a 13 (moca grande); grão moca médio: peneira 10 (moca médio); grão moquinha: peneiras 8 e 9 (moquinha) (BRASIL, 2003b).

De acordo com a metodologia da SCAA (2015) ela caracteriza e quantifica onze atributos sensoriais da bebida do café, sendo as seguintes características descritas: fragrância/aroma, sabor, sabor residual, acidez, corpo, balanço, uniformidade, xícara limpa, doçura e nota final.

3.4. Qualidade da bebida de café

A qualidade final do grão beneficiado é resultado da interação de vários fatores, tais como: condições climáticas, adubação, tratamentos fitossanitários, estágio de maturação dos frutos, cuidados na colheita, secagem, beneficiamento e armazenagem (SIMÕES et al., 2008).

Para se obter um café de boa qualidade minimizando os riscos de ocorrência de alterações indesejadas, faz-se uso da secagem dos grãos, sendo uma das mais importantes fases no processamento do café, podendo influenciar na qualidade final do produto. Devido à alta umidade no momento da colheita (60 a 70% b.u.) os frutos do café, apresentam condições favoráveis a alterações deteriorativas em decorrência da respiração, oxidação, fermentação e desenvolvimento de fungos e bactérias (REINATO; BORÉM; 2005).

A solução para evitar tais problemas é a realização da colheita seletiva, a qual é procedida no ponto de maior maturação da lavoura, com os frutos no estágio “cereja” (RIBEIRO, 2013). Os frutos verdes causam perdas na classificação por tipo, na qualidade e rendimento da bebida (BARBOSA, 2013). Os frutos em processo de senescência (passas e secos) podem provocar processos de fermentação de álcoois e ácidos, o que afeta negativamente na bebida (MESQUITA et al., 2016).

A deterioração da qualidade do café somente foi revertida depois de uma ação coletiva implementada em 1989 pela Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC) por meio de uma autorregulamentação conhecida como “Selo de Pureza ABIC” (SAES, 1997).

De acordo com a revisão realizada por Laukalēja e Krūma (2018) a escolha correta do pós-colheita e da maturidade dos grãos influencia na estabilidade dos compostos não voláteis e a torra influencia significativamente todos os compostos biologicamente ativos e importantes aromas e sabores voláteis sendo o nível de torra leve a médio indicados, pois podem fornecer estabilidade entre o aroma floral, frutado, notas de sabor e compostos fenólicos.

3.5. Características químicas físicas e sensoriais do café

A qualidade da bebida é representada pelo sabor e aroma formado no grão torrado que está associado diretamente com a composição química do grão cru e os compostos químicos presentes no grão de café que são influenciados por vários fatores ao longo da cadeia de produção (SUNAHARUM et al., 2014).

O teor de açúcar nos grãos de café fornecem precursores essenciais para a produção de sabor durante o processo de torra. Estes açúcares são responsáveis pela doçura da bebida, um dos atributos de sabor mais desejáveis em cafés especiais (MARQUES et al., 2008). Durante o processo de torra, a composição química dos grãos participa de reações importantes, como a caramelização, reação de *Maillard* entre outras, originando diversos produtos relacionados com a transformação do sabor e do aroma da bebida (CARVALHO, 1994).

Em relação ao sabor de acordo com a International Standards Organization - ISO (1992), pode ser definido como combinação complexa de sensações olfativas, gustativas e trigeminais percebidas, durante a degustação, que pode ser influenciado por efeitos táteis, térmicos, dolorosos e/ou cinestésicos. A bebida do café possui sabor característico originado dos grãos e diretamente influenciado por clima, manejo cultural, e processos pós-colheita. A análise sensorial é uma ferramenta de grande importância, principalmente para a indústria do café, e com base nos distintos métodos, utilizados por diversos tipos de provadores, é possível descrever qualidades e quantificar atributos da bebida do café (PIZARRO, 2010).

A avaliação da qualidade do café no Brasil, para a comercialização, é realizada pela prova de xícara, em que os provadores profissionais descrevem qualitativamente a bebida e cujos parâmetros são padrões de comercialização do café verde (BRASIL, 2003b). A avaliação comercial do café é realizada por especialistas e tendo como base alguns atributos como acidez, ausência de defeitos e corpo. Através da análise descritiva, método de identificação sensorial, é possível descrever, quantificar e medir esses atributos percebidos pelos provadores (SILVA, 2003; PIZARRO, 2010; XAVIER; CELESTINO, 2015).

As bebidas de alta qualidade apresentam equilíbrio no sabor, e doçura, acidez e corpo desejáveis, diferente daquelas consideradas de baixa qualidade, caracterizadas por

um alto teor de grãos defeituosos que atribuem à bebida elevada acidez e adstringência (GONÇALVES, 2006).

A acidez percebida no café é um atributo importante para a análise sensorial do produto e sua intensidade é influenciada por diversos fatores como condições climáticas durante secagem e colheita, local de origem, tipo de processamento e estágio de maturação (SIQUEIRA; ABREU 2006). A acidez resultante dos ácidos málico e cítrico tem efeito desejável na qualidade do café, enquanto, àquela resultante dos ácidos acético, láctico, propiônico e butírico é indesejável (CHALFOUN, 1996).

Silva (2003) avaliou, através de análise descritiva quantitativa, quatro marcas comerciais de café orgânico torrado e moído e uma marca de café convencional do mesmo tipo de torra e lote de fabricação. Os atributos avaliados foram: cor, turbidez, aroma queimado, aroma fermentado, aroma de grão verde, aroma de amêndoa, aroma caramelizado, sabor queimado, sabor adstringente, gosto amargo, gosto amargo residual e gosto ácido. Segundo a autora, as amostras de café convencional e orgânica tiveram maior influência dos atributos turbidez, sabor adstringente, sabor queimado, gosto amargo residual, gosto ácido e aroma de amêndoa.

3.6. Sistemas de produção de café

A produção de cafés de formas alternativas ao manejo convencional vem crescendo entre os agricultores e se tornando uma alternativa tecnológica e econômica em função da grande demanda dos mercados nacionais e internacionais, resultado da conscientização da população em relação à importância da preservação do meio ambiente. De acordo com Lopes et al. (2012) a cafeicultura gerou um crescimento econômico importante para o país, porém pode-se observar que ao longo dos anos de produção foram desencadeados muitos impactos socioambientais como alto índice de desmatamento da Mata Atlântica e do Cerrado para implantação dos monocultivos de café, a contaminação e degradação dos recursos hídricos pelo constante uso dos agroquímicos e destruição das matas ciliares, intoxicações e mortes de trabalhadores ocasionadas pelos agrotóxicos, além do empobrecimento do solo e desequilíbrio ambiental.

A adubação é uma prática agrícola comum, na qual os fertilizantes orgânicos e inorgânicos são usados principalmente para melhorar a nutrição das plantas e, conseqüentemente, a produtividade das culturas (FRANCIOLI et al., 2016).

Segundo Sarcinelli e Rodriguez (2006), a agroecologia é uma alternativa para driblar o pacote tecnológico oferecido aos agricultores devido às suas características de substituição de insumos químicos por recursos naturais locais. Em seus estudos realizaram a análise e comparação de três propriedades com diferentes sistemas de produção cafeeira (agroecológicos e convencionais) e demonstraram que ambos os modelos possuem vantagens competitivas e pontos fracos que podem inviabilizar economicamente a produção cafeeira. Como resultados apontaram para a necessidade da melhoria na administração da pequena empresa rural cafeeicultora, adoção de técnicas de gestão administrativa e a utilização sustentável dos recursos ambientais disponíveis naturalmente nas propriedades, podendo assim trilhar o caminho do desenvolvimento sustentável da cafeeicultura.

A diversificação no cultivo de café é uma importante estratégia para manter o equilíbrio econômico da propriedade (MBOW et al., 2014). Ocorreu no início da década de 1980 o estabelecimento de normas privadas internacionais para agricultura orgânica através da International Federation of Organic Agriculture Moviments (IFOAM) (WILLER; LERNOUD, 2019).

Na cafeeicultura orgânica, a diversificação do sistema pode ser obtida pela incorporação de árvores que proporcionam sombra, aporte de matéria orgânica, maior ciclagem de nutrientes e conservação do solo, hospedagem de maior diversidade de organismos; além de serem fontes de alimentos, lenha e madeira para os agricultores (AGUIAR-MENEZES et al., 2007).

A cafeeicultura orgânica também está inserida na cadeia produtiva do café como uma alternativa dos pequenos produtores à escalonação da produção do café convencional como forma de compensar a queda estrutural dos preços. Embora muitos desses produtores apresentem um volume maior de mão-de-obra e menor produtividade, se comparado com o sistema convencional, podem apresentar um desempenho econômico melhor, devido aos menores custos efetivos e valor agregado (THEODORO et al., 2003).

Segundo Lopes e Ferraz (2009), caracterizando agroecossistemas cafeeiros sob manejos convencional, organomineral, orgânico e agroflorestal conduzidos nos municípios de Machado e Poço Fundo com base no Diagnóstico Rural Participativo (DRP), pode se verificar que o agroecossistema convencional é extremamente dependente de fontes externas de insumos, principalmente agroquímicos e o sistema orgânico também utiliza insumos de fora da propriedade como o farelo de mamona, esterco de animais e produtos orgânicos industrializados e atingiu a maior média de produtividade entre os sistemas (45 sacas ha⁻¹).

De acordo com Lerner (2019) o PMO (Plano de Manejo Orgânico) é um documento confeccionado anualmente pelo Departamento de Certificação em conjunto com o Departamento Técnico em todas as propriedades orgânicas e, após, é enviado ao IBD, servindo como guia para a elaboração da auditoria externa. O PMO consiste de uma entrevista com o produtor(a), na qual são indagados a respeito do manejo e condução da lavoura abordando o tempo de transição de cada talhão (24 meses para comercializar como orgânico no BR e 35 meses, para exportação); limpeza de máquinas, caso o uso seja conjunto com algum produtor convencional; processos de beneficiamento e transporte; origem dos fertilizantes adquiridos ou modo de fabricação pelo produtor(a); sistema de produção de outras culturas; tipos de consorciação de culturas; sistema de criação de animais e destinação do esterco; presença de árvores na lavoura; destinação do lixo orgânico e lixo seco; estado atual das barreiras vegetais em divisas a fim de impedir a contaminação por deriva de agrotóxicos.

A cafeicultura orgânica pode seguir padrões de cultivo extensivos, caracterizado por um ciclo fechado de nutrientes, ou padrões intensivos que dependem de adubos orgânicos, muitas vezes originados fora da unidade de produção (SOUZA et al., 2004).

O café arábico se desenvolve melhor em temperaturas entre 19 e 22 °C e pluviosidade na faixa de 1500 a 1900 mm. É ideal que seja cultivado em solos bem drenados, ricos em colóides orgânicos (húmus) e levemente ácidos (RICCI et al., 2002).

O preparo da área deve ser feito utilizando-se práticas de conservação do solo, como cordões de contenção, terraceamento, entre outros. O uso de maquinário agrícola só é permitido se o declive não ultrapassar 15%, devendo-se evitar ao máximo a reversão da camada arável com o intuito de evitar erosões. O plantio direto e o cultivo

mínimo são recomendáveis pois reduzem a erosão e favorecem as atividades biológicas do solo (SOUZA et al., 2004).

A adubação deve ser planejada levando em consideração as análises de solo e foliar. Não é permitido o uso de fertilizantes classificados como químicos. A recomendação é para o uso de adubos verdes e adubos orgânicos, preferencialmente produzidos na unidade produtiva, como a cama de aviário, esterco e restos vegetais, de grande importância para a manutenção da matéria orgânica do solo (SOUZA et al., 2004).

As plantas invasoras devem ser manejadas e controladas, diferentemente do sistema convencional, onde são eliminadas. Essas plantas são capazes de reciclar nutrientes nas camadas mais profundas, promover a descompactação do solo, aumentar a retenção de água e diversidade de espécies que podem auxiliar no controle de pragas (RICCI et al., 2002).

De acordo com Wegner et al. (2011) as principais vantagens da produção orgânica é o respeito à saúde do trabalhador, equilíbrio do agroecossistema, possibilitando que se receba um preço maior em relação ao café convencional, com propriedades familiares adquirindo possibilidades de inserção no mercado internacional com um produto de alto valor agregado. As principais desvantagens são a falta de assistência e orientação quanto à maneira de uso de adubos e fertilizantes, a mão-de-obra ocasiona por representar um custo elevado, a burocracia e o custo envolvidos com a certificação podem representar entraves (WEGNER et al., 2011).

As certificações dão suporte à rastreabilidade do produto, e possibilitam que qualquer tentativa de burlar o processo de certificação seja identificada sendo possível que providências sejam tomadas a tempo de proteger o consumidor final e o próprio sistema de certificação (RICCI et al., 2002).

3.7. Minerais na qualidade do café

Os nutrientes minerais fazem parte de diversas funções do metabolismo das plantas, e são divididos em três grupos, sendo os primários exigidos em maiores quantidades, e os nutrientes secundários e micronutrientes em menores quantidades, porém sendo tão importante quanto o primeiro (POTASH PHOSPHATE INSTITUTE - PPI, 1998).

O nitrogênio é um nutriente exigido em grandes quantidades, sendo essencial para o crescimento das plantas. Geralmente é absorvido e transportado pelos vasos condutores nas formas de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), sendo o nitrato a forma mais comum absorvida pela maioria das culturas (PPI, 1998). Os sintomas da deficiência de nitrogênio para o café se caracterizam pela clorose uniforme do limbo e das nervuras foliares, com posterior necrose e queda foliar, diminuição do porte da planta e queda prematura dos frutos e secamento dos ramos da ponta até a base (MESQUITA et al., 2016).

De acordo com PPI (1998), o fósforo é um nutriente essencial para o crescimento das plantas, absorvido principalmente como íon ortofosfato primário (H_2PO_4^-) e em pequenas quantidades em íon ortofosfato secundário (HPO_4^{2-}), atua em diversos processos fisiológicos das plantas, atuando na formação e crescimento das raízes, favorecendo um crescimento mais rápido e aumentando a resistência aos rigores do inverno, a eficiência do uso da água e a resistência a certas doenças. Os sintomas comuns de deficiência de fósforo são o decréscimo na taxa de crescimento, morte de tecidos nas folhas, pecíolos e frutos.

O potássio é um macronutriente primário absorvido pelas plantas na forma de íon K^+ , sendo essencial aos processos fotossintéticos e de uso de água. A deficiência desse mineral diminui a taxa fotossintética da planta, conseqüentemente aumentando sua respiração, o que diminui o suprimento de carboidrato nas plantas. Sintomas típicos de deficiência de potássio são a murcha e queima da margem foliar, retardo no crescimento e desenvolvimento radicular, diminuição de frutos e sementes e aumento da suscetibilidade a doenças (PPI, 1998).

O potássio atua na formação de grãos de café maduros, estimulando atividades enzimáticas, síntese e translocação de carboidratos, melhorando assim a qualidade da bebida (MALAVOLTA et al., 1997). De acordo com Martinez et al. (2014), combinado com o nitrogênio, o potássio pode ainda apresentar efeitos positivos na produção de grãos, teor de cafeína, açúcares totais e redutores e fenóis totais

O cálcio é um macronutriente absorvido pelas plantas na forma de cátion (Ca^{+2}), sendo essencial no desenvolvimento radicular e foliar, estruturação das plantas, fixação do nitrogênio e na ativação de vários sistemas enzimáticos (PPI, 1998). É importante principalmente na fase de implantação das lavouras de café, e sua presença nas camadas

mais profundas permite um maior aprofundamento e conseqüentemente maior resistência à déficits hídricos. Além disso, o cálcio demonstra-se importante no desenvolvimento das gemas do cafeeiro, maturação dos frutos e formação de proteínas (MESQUITA et al., 2016).

O magnésio é um nutriente secundário absorvido em forma de cátion (Mg^{++}) pelas plantas, exercendo várias funções como a ativação de sistemas enzimáticos, participação no metabolismo do fosfato, respiração da planta e principalmente estar ativamente envolvido no processo de fotossíntese, sendo o átomo central na molécula da clorofila (PPI, 1998), possui alta mobilidade, portanto os sintomas de deficiência para a cultura do cafeeiro se iniciam nas folhas mais velhas e também nas folhas mais próximas aos frutos com aparecimento de clorose entre as nervuras evoluindo para queda prematura das folhas. Ainda por ser um nutriente fundamental na fotossíntese, sua deficiência se reflete no reduzido crescimento geral do cafeeiro (MESQUITA et al., 2016).

O enxofre é um nutriente secundário absorvido no solo pelas plantas em forma de ânion (SO_4^{2-}) ou em forma de gás dióxido de enxofre (SO_2) pelas folhas. Para a cultura do café é um importante constituinte de aminoácidos, proteínas e é essencial no desenvolvimento radicular da cultura. Possui baixa mobilidade na planta, sendo sua deficiência caracterizada por um amarelecimento nas folhas mais novas, avançando para uma clorose generalizada na planta com posterior desfolhamento e encurtamento dos internódios (MESQUITA et al., 2016). Para Yeretizian et al. (2019), compostos contendo enxofre como trissulfeto de dimetilo e bis(2-metil-3-furil) dissulfeto, juntamente com fenóis e furanonas são de grande importância para o aroma do café torrado. De acordo com estudos descritos por Uekane et al. (2013), são quatro as principais substâncias sulfuradas mais importantes no aroma do café torrado, sendo elas 2-furfuriltiol, dimetil sulfeto, dimetil dissulfeto e tiofeno, tendo origem na degradação direta de aminoácidos sulfurados como a cisteína, cistina e metionina, e relacionadas com a interação dos aminoácidos com açúcares redutores e intermediários da reação de *Maillard* e a degradação de *Strecker*.

O boro é um micronutriente que exerce influência no desenvolvimento reprodutivo das plantas, sendo essencial no crescimento do tubo polínico e germinação dos grãos de pólen. É importante na formação das proteínas e na translocação de

açúcares na planta (PPI, 1998). De acordo com Mesquita et al. (2016), junto com o zinco é o micronutriente mais limitante na produção do cafeeiro, atuando na alongação e divisão celular é muito exigido no ápice, ponta dos ramos laterais e meristemas radiculares.

O cobre é um micronutriente responsável pela catalisação de vários processos no metabolismo das plantas, pela formação da clorofila e é fundamental para a promoção de variadas reações (MARTINEZ et al., 2014). Geralmente é encontrado em quantidades insuficientes para a cultura do cafeeiro e diversos fatores contribuem para isso, como calagem excessiva e alto teor de matéria orgânica. A deficiência de cobre é observada em folhas mais novas, com o encurvamento do limbo e necrose começando das bordas das folhas (MESQUITA et al., 2016).

O zinco é um dos micronutrientes mais importantes para as plantas, pois é um dos principais limitantes na produção das culturas, auxiliando na síntese de substâncias atuantes no crescimento e no sistema enzimático, sendo fundamental na produção de clorofila, carboidratos e ativação de algumas reações metabólicas (PPI, 1998), pode limitar a produção do café, está diretamente ligado ao crescimento e reprodução da planta, influenciando o tamanho dos frutos e pegamento da florada. Os sintomas de deficiência de zinco no cafeeiro aparecem nas folhas mais novas, ocorrendo um estreitamento e um maior desenvolvimento das nervuras em comparação com o parênquima (MESQUITA et al., 2016).

Lacerda (2014), observou doses de zinco para diversos atributos, incluindo atividade da polifenoloxidase, enzima de grande importância para o paladar da bebida, sendo menores doses de zinco resultando em bebida dura e maiores doses resultando em bebida mole. o amarelecimento entre as nervuras que permanecem verdes (MESQUITA et al., 2016).

O ferro é um micronutriente que participa da formação da clorofila, agindo como um carregador de oxigênio e auxiliando na formação de determinados sistemas respiratórios que envolvem enzimas (PPI, 1998). É mais acumulado pelo cafeeiro em virtude da alta disponibilidade nos solos. Atua principalmente no sistema enzimático das plantas, ativando diversas reações metabólicas com ação direta na fotossíntese e síntese de clorofila. Faz parte do processo de aceleração da germinação e maturidade das plantas e possui relação com a disponibilidade de fósforo e cálcio (PPI, 1998).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização do local de estudo

O estudo foi desenvolvido no município de Poço Fundo, Minas Gerais, durante a safra 2020/21 em dois talhões com 0,20 ha cada, sendo um conduzido no sistema convencional ($21^{\circ} 46.143'S$, longitude $46^{\circ} 1.355'O$, e 1.070 de altitude) e o outro em sistema orgânico ($21^{\circ} 46.171'S$ e $46^{\circ} 1.345'O$, e 1.050 de altitude) (Figura 1).

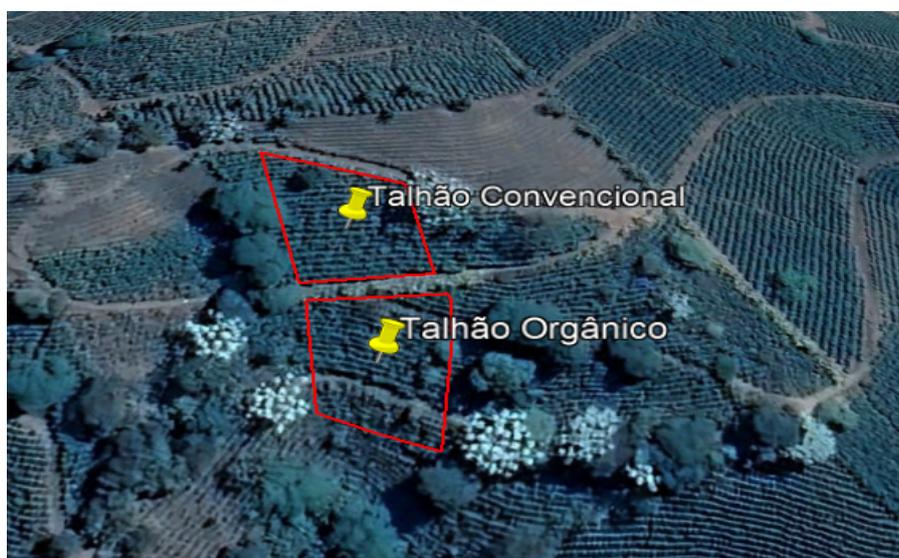


Figura 1. Localização dos talhões de café, em sistema convencional e orgânico.

Fonte: Google Earth, 21/08/2021.

Os talhões foram implantados no ano de 2000 com a variedade Catuaí Vermelho (*Coffea arabica* L.). O espaçamento utilizado foi de 2,5 m entre as linhas e de 1 metro na linha entre os cafeeiros. O solo das áreas é caracterizado como Latossolo Vermelho. A classe textural dos dois talhões de solo estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Teores de argila, silte, areia e classificação textural dos solos das lavouras cafeeiras nos sistemas convencional e orgânico. Poço Fundo, MG, 2021.

	Sistema		Especificação
	Convencional	Orgânico	
	g kg ⁻¹		Método
Argila	507,50	560,62	Densímetro
Silte	81,25	93,75	Densímetro
Areia Total	411,25	345,62	Densímetro
Classificação USDA (1999)	Argiloso	Argiloso	Triângulo Textural

O talhão de café orgânico de acordo com recomendações no Plano de Manejo Orgânico (PMO), recebeu fertilização com farinha de osso em duas parcelas de 500 g.planta⁻¹ em novembro 2019 e fevereiro de 2020 e adubação verde nas entrelinhas com feijão-guandu (*Cajanus cajan* L. Mill sp.) em setembro de 2019. O talhão de café convencional recebeu adubação mineral na dose de 150 g do formulado NPK (20-00-10) e aplicação foliar dos micronutrientes boro e zinco nos meses de outubro, dezembro de 2020 e fevereiro de 2021. Os tratos culturais: adubação, capina, arruação e colheita são realizados manualmente em ambos os talhões.

4.2. Atributos químicos do solo

As avaliações dos atributos químicos do solo foram realizadas no mês de julho de 2021. Na ocasião foram coletadas em cada sistema, convencional e orgânico, com auxílio de um enxadão, quatro amostras compostas de solos, obtidas a partir de dez sub-amostras simples na profundidade de 0-0,20m, advindas de dez pontos, distribuídos aleatoriamente nos 0,20 ha de cada sistema, sob projeção da copa dos cafeeiros. Posteriormente as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e conduzidas para análise química em laboratório e analisadas quanto ao pH e teores de matéria orgânica, alumínio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco (RAIJ et al., 2001).

4.3. Análise química do tecido foliar

As amostras foliares dos cafeeiros para a determinação do estado nutricional das plantas foram obtidas no mês de julho de 2021. Coletou-se quatro amostras (com 100 folhas cada) nos sistemas convencional e orgânico. As folhas foram colhidas de quatro cafeeiros distribuídos em 10 pontos aleatórios nos 0,20 ha de cada sistema, excluindo as plantas localizadas nas bordas dos talhões. Nos cafeeiros foram coletadas o 3º e 4º par de folhas dos ramos produtivos, na porção mediana do cafeeiro (AMOSTRAGEM..., 2003). As folhas verdes foram acondicionadas em sacos de papel e posteriormente encaminhadas ao laboratório para a determinação dos teores de nutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, conforme metodologia descrita por Sarruge e Haag (1974).

4.4. Análise do teor de sólidos solúveis dos frutos

A coleta dos grãos para determinação do teor de sólidos solúveis dos grãos foi realizada de forma manual e seletiva no estágio de plena maturação fisiológica dos grãos, conhecido popularmente como cereja maduro. Foram realizados 10 pontos de amostragem por tratamento, amostrando cinco plantas por ponto e em cada planta foram colhidos cinco grãos na porção mediana do cafeeiro e nos quatro sentidos de exposição ao sol (norte, sul, leste e oeste).

A leitura da concentração de sólidos solúveis totais (SST) foi conduzida com um refratômetro portátil RT-30ATC, fez-se a leitura do suco pela compressão dos grãos, avaliando 50 plantas por tratamento e 250 frutos.

4.5. Colheita, secagem dos grãos e teor de umidade

Foram amostrados 10 pontos, distribuídos aleatoriamente, em cada sistema (orgânico e convencional) e em cada ponto cinco cafeeiros, e em cada planta foram colhidos 2 litros de café. A colheita dos frutos foi realizada manualmente no estágio de maturação “cereja maduro” no mês de julho de 2021 nos ramos localizados na porção mediana, nos quatro sentidos de exposição ao sol (norte, sul, leste e oeste).

Após a colheita, os frutos foram lavados e separados por densidade, utilizando um recipiente com água e uma peneira, onde os frutos “boias” que flutuaram foram retirados e descartados, permanecendo na amostra os frutos “cerejas”.

Posteriormente os frutos foram secos em estrutura de terreiro suspenso (Figura 2). em 20 parcelas, com dimensão de 1 m² contendo 6 litros de fruto por parcela. Os frutos foram revolvidos a cada 50 min no período das 9h00 às 15h00 e cobertos por lona de ráfia e lona preta no período da noite. No período de “meia seca”, quando os frutos atingiram 18% de umidade, os frutos passaram a ser amontoados no final da tarde para a homogeneização da secagem. Após 20 dias de secagem, os frutos foram recolhidos e levados para a homogeneização da seca. Após 30 dias os frutos retornaram ao terreiro suspenso até atingirem 12,5% de umidade (BRASIL, 2003b). Para a determinação da umidade dos frutos foi utilizado o aparelho Gehaka Agri, modelo G600.



Figura 2. Processo de seca dos frutos de café em terreiro suspenso.

4.6. Análise física dos grãos

Os frutos secos foram beneficiados utilizando-se de descascador de amostra portátil da marca Carmomac[®]. Posteriormente os grãos foram classificados quanta a granulometria. Para determinação da granulometria pesou-se 300 g dos grãos verdes, que foram passados nas peneiras (BRASIL, 2003b), os grãos retidos em cada peneira foram retirados, pesados e os dados apresentados em porcentagem.

4.7. Preparo da bebida e análise sensorial

A qualidade sensorial da bebida foi determinada no Laboratório, localizado no município de Três Pontas (MG). A avaliação dos atributos sensoriais foi realizada por dois avaliadores (*Q-grader*), conforme a metodologia proposta pela Specialty Coffee Association - SCA (LINGLE; MENON, 2017). Foram utilizadas 20 amostras, sendo 10 amostras, com 300 gramas de grãos verde beneficiados, para cada sistema (convencional e orgânico), Foram levados ao torrador da marca Carmomac® cerca de 120 gramas de café cru verde, apenas os grãos que ficaram retidos na peneira 15 acima, e torrados entre 8 a 10 min até o ponto de torra clara, as torras foram executadas com 24 horas de antecedência e levados ao moedor da marca Jmil moagem com granulometria média/grossa após 8 horas de descanso após a torra, em seguida as amostras foram lacradas e abertas apenas no momento da prova.

Em cada amostra foram degustadas 5 xícaras, sendo adotada a concentração ótima 8,25 gramas de café moído em 150 mL de água. O ponto de infusão da água deu-se após atingir 92-95 °C. Os avaliadores iniciaram as avaliações quando a temperatura das xícaras atingiu 55 °C, respeitando o tempo de 3 a 5 min para a degustação após a infusão (SCAA, 2015).

Onze atributos sensoriais foram avaliados: fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio, defeitos e avaliação global). Os três primeiros atributos são avaliados de forma objetiva, pontuados numa escala de 0 a 10 pontos, atribuindo dois pontos para cada xícara que apresenta normalidade do atributo. Os demais são avaliados de forma subjetiva, atribuindo-se notas numa escala de 6 a 10 pontos para cada atributo, com intervalo de 0,25 ponto. A soma dessas notas gera a pontuação total. Foram dadas notas baseadas em uma escala com intervalos de 0,25, representando os níveis de qualidade: 6,00 a 6,75 (bom), 7,00 a 7,75 (muito bom), 8,00 a 8,75 (excelente), 9,00 a 9,75 (excepcional) que classificam o café nas categorias: abaixo da qualidade especial para notas abaixo de 80; muito bom (*premium*) entre 80 e 84,99 (abaixo de 85); excelente (*especial origin*) para notas entre 85 e 89,99; exemplar (*especial raro*) notas entre 90 e 100.

4.8. Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) segundo o delineamento inteiramente casualizado e as médias comparadas pelo teste F em nível de 5 % de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas no software estatístico R (R Core Team, 2020) com auxílio do pacote ExpDes (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2021).

Para as análises sensoriais das amostras de café, utilizou-se as notas médias dos avaliadores para cada atributo sensorial e a representação gráfica do perfil sensorial para a visualização do equilíbrio das notas sensoriais. Os dados foram ainda submetidos à análise multivariada para a melhor compreensão do efeito das variáveis estudadas. Para tanto se utilizou a análise de componentes principais (PCA) para a discriminação das amostras a partir da interação entre cultivares e ambientes, resultando no agrupamento dos pontos de acordo com os atributos sensoriais e composição química. Para esta análise foi utilizado o software estatístico R.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Atributos químicos do solo

Os resultados das análises dos teores de minerais do solo estão sendo apresentados na Tabela 2. Houve efeito dos sistemas de cultivo para os teores de fósforo, potássio, enxofre e zinco no solo. O teor de fósforo foi maior no sistema orgânico, classificado como alto e médio no convencional (RAIJ et al., 1997) Os resultados diferem dos verificados por Malta et al. (2008) os quais avaliaram a fertilidade do solo de cafezais orgânicos no município de Poço Fundo, MG e verificaram a maior frequência de teores de fósforo classificados como médio a muito baixo nos solos, tanto pelo método de extração de fósforo por Melich 1 quanto o fósforo remanescente.

Theodoro et al. (2003), analisando os atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico sob os sistemas de café orgânico, café em conversão para orgânico, café convencional e mata nativa verificaram que maiores teores de fósforo nos sistemas café orgânico e café em conversão. Os autores atribuíram os elevados valores de fósforo ao uso, em ambos os sistemas, de termofosfato que apresentam solubilidade média e, podem elevar os teores de fósforo disponíveis ao longo do tempo de cultivo. Ainda, segundo os autores, outro fator é o suprimento de fósforo via matéria orgânica, proporcionado com a liberação do fósforo causada pela elevação do pH, além daquele que foi adicionado pela adubação. Durante a decomposição inicial dos resíduos orgânicos ocorre a acidificação do solo, devido a ionização de ácidos carboxílicos, fenólicos e álcoois terciários da matéria orgânica, entretanto no estágio final de mineralização da matéria orgânica, a oxidação libera elétrons aumentando o pH dos solos (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

O teor de potássio foi maior no sistema de café convencional (Tabela 2). Apesar do teor de potássio no solo no sistema orgânico ser adequado (1,6 a 3,0 mmol.cdm⁻³) (RAIJ et al., 1997), o potássio no sistema convencional foi duas vezes superior ao orgânico. Malta et al. (2008) verificaram que 57% das lavouras cafeeiras sob sistema orgânico avaliadas apresentaram teor de potássio no solo classificado como médio. A adubação potássica no sistema orgânico ficou restrita a ciclagem de nutrientes realizada pela adubação verde com feijão-guandu que em média acumula 11,3 g de potássio por

kg de massa seca (CACERES; ALCARDE, 1995). Enquanto o fornecimento de potássio pelo formulado (20-00-10) foi de 45 g (somando as três aplicações) por cafeeiro no sistema convencional.

O potássio exerce importante efeito na qualidade de bebida de café, pois é um dos principais nutrientes que atuam no metabolismo dos compostos nitrogenados e carboidratos, sendo fundamental na ação de algumas enzimas regulatórias como a fosfofrutocinase e piruvatoquinase. A deficiência de potássio pode acarretar o acúmulo de carboidratos e compostos nitrogenados solúveis (MARTINEZ et al., 2014; CLEMENTE et al., 2015), comprometendo a qualidade da bebida.

Tabela 2. Atributos químicos do solo de cafeeiros nos sistemas convencional e orgânico. Poço Fundo, MG, 2021.

Atributos	Unidade	Convencional	Orgânico	<i>p-value</i>
Matéria Orgânica	g.dm ⁻³	40,65	41,05	0,9435
Fósforo	mg.dm ⁻³	17,07	61,30	0,0008
Potássio	mmolc.dm ⁻³	03,03	1,60	0,0158
Cálcio	mmolc.dm ⁻³	55,33	34,70	0,0971
Magnésio	mmolc.dm ⁻³	11,575	09,20	0,3720
Enxofre	mg.dm ⁻³	31,775	70,45	0,0010
Boro	mg.dm ⁻³	0,6925	0,6950	0,9812
Cobre	mg.dm ⁻³	0,6250	0,3500	0,1908
Zinco	mg.dm ⁻³	14,500	8,000	8,000
Manganês	mg.dm ⁻³	105,25	109,50	0,4934
Ferro	mg.dm ⁻³	105,43	108,625	0,5464
Alumínio	mmolc.dm ³	2,6	7,4	-
pH	-	5,06	4,55	-

**p-value* em negrito destaca valor inferior ao nível de significância de acordo com o ($p \leq 0,05$).

O teor de enxofre no solo sob sistema de café orgânico foi superior ao café em convencional (Tabela 2), em ambos os sistemas os valores foram classificados como alto (RAIJ et al., 1997). Segundo Yeretzián et al. (2019), compostos contendo enxofre como trissulfeto de dimetilo e bis (2-metil-3-furil) dissulfeto, juntamente com fenóis e

furanonas são de grande importância para o aroma do café torrado. Para Uekane et al. (2013), são quatro as principais substâncias sulfuradas mais importantes no aroma do café torrado, sendo elas 2-furfuriltiol, dimetil sulfeto, dimetil dissulfeto e tiofeno, tendo origem na degradação direta de aminoácidos sulfurados como a cisteína, cistina e metionina, e relacionadas com a interação dos aminoácidos com açúcares redutores e intermediários da reação de *Maillard* e a degradação de Strecker.

O teor de zinco no solo foi maior no sistema convencional (Tabela 2). No convencional ocorreu adubação foliar com zinco. Porém, em ambos os sistemas os teores de zinco no solo foram classificados como alto ($<1,2 \text{ mg.dm}^{-3}$) (RAIJ et al., 1997).

Lacerda (2014) observou resposta quadrática às doses de zinco para diversos atributos, incluindo atividade da polifenoloxidase, enzima de grande importância para o paladar da bebida, sendo menores doses de zinco resultando em bebida dura e maiores doses resultando em bebida mole.

O pH e os teores de matéria orgânica, cálcio, magnésio, boro, cobre, ferro e manganês no solo não diferiram entre os sistemas convencional e orgânico (Tabela 2).

O pH em cloreto de cálcio (CaCl_2) são considerados adequados (4,4-5,0) de acordo com os limites de interpretação de acidez da camada arável do solo (RAIJ et al., 1997). Os teores de matéria orgânica estão adequados de acordo com os valores de referência 30-60 g.dm^{-3} (RAIJ et al., 1997).

Os teores de cálcio no solo sob café convencional (55,33 mmolc.dm^{-3}) e café orgânico (34,70 mmolc.dm^{-3}) estão acima do nível ótimo (24 mmolc.dm^{-3}) enquadrado na classe “bom”, pela Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG) (RIBEIRO; GUIMARÃES, ALVAREZ, 1999). Vale ressaltar que esses valores foram obtidos pela diferença do nível ótimo de magnésio para a cultura do café, com os valores de referência de cálcio mais magnésio de acordo com Alves (2012), pois não há referência de cálcio no solo isoladamente para a cultura de café.

Os teores de magnésio no solo sob café orgânico e café convencional estão acima do valor considerado alto ($< 8 \text{ mmolc.dm}^{-3}$) (RAIJ et al., 1997). No entanto, quando verifica-se a relação magnésio dividido por potássio, estas foram superiores a dois, em ambos os sistemas, indicando equilíbrio entre os nutrientes (RAIJ, 2011).

Os teores de boro no solo sob café orgânico e café convencional (Tabela 2) são considerados altos ($> 0,60 \text{ mg.dm}^{-3}$) de acordo com a Raij et al. (1997). Clemente (2014) destaca o efeito positivo do boro na atividade polifenoloxidase (PPO) que está diretamente relacionada à qualidade da bebida e o aumento da atividade desta enzima permite a separação da bebida em classes de melhor qualidade.

Os teores de cobre no solo em ambos os sistemas estão dentro da faixa média ($0,3\text{-}0,8 \text{ mg dm}^{-3}$) (RAIJ et al., 1997). De acordo com Martinez (2014) o uso do cobre melhora o desenvolvimento e a produtividade dos cafezais e favorece a qualidade dos grãos e da bebida de café.

A adubação com cobre teve efeito positivo quanto à produção de grãos, atividade de enzima PPO, teores de sacarose, cafeína, trigonelina e glicose, elementos avaliados na determinação de qualidade da bebida do café (CLEMENTE, 2014; LACERDA, 2014).

Os teores de manganês no solo estão dentro da faixa média em ambos os sistemas ($1,3\text{-}5,0 \text{ mg.dm}^{-3}$). Para os teores de zinco no solo, os valores se encontram altos ($< 1,2 \text{ mg.dm}^{-3}$) (RAIJ et al., 1997).

5.2. Teores foliares de nutrientes

Os teores foliares de nitrogênio, fósforo, magnésio e boro foram superiores nos cafeeiros no sistema convencional comparado ao orgânico (Tabela 3).

Tabela 3. Teores de nutrientes foliares em cafeeiros nos sistemas convencional e orgânico. Poço Fundo, MG, 2021.

Nutrientes	Unidade	Sistema Orgânico	Sistema Convencional	<i>p-value</i> *
Nitrogênio	dag.kg ⁻¹	2,7	3,0	0,00440
Fósforo	dag.kg ⁻¹	0,11	0,16	0,00003
Potássio	dag.kg ⁻¹	1,9	1,3	0,0050
Cálcio	dag.kg ⁻¹	1,1	1,1	1,00000
Magnésio	dag.kg ⁻¹	0,35	0,63	0,00004
Enxofre	dag.kg ⁻¹	0,1	0,1	0,23430
Boro	mg.kg ⁻³	28,0	48,0	0,00480
Cobre	mg.kg ⁻³	8,25	9,25	0,11350
Ferro	mg.kg ⁻³	126,75	118,50	0,41500
Manganês	mg.kg ⁻³	105,25	109,50	0,49340
Zinco	mg.kg ⁻³	14,5	8,0	0,00010

**p-value* em negrito destaca valor inferior ao nível de significância ($p \leq 0,05$).

Cabe destacar que o sistema orgânico apresentou o maior teor de fósforo no solo (Tabela 2), fato que não refletiu em maior teor foliar deste nutriente. Os teores de magnésio e boro no solo foram semelhantes entre os sistemas. Porém, maiores nas folhas de café convencional. A colheita das folhas para a análise foi realizada no mês de julho, quando os frutos já estavam no final da maturação. Nesse sentido, parte dos nutrientes foliares já haviam translocado para os frutos. Laviola et al. (2007) observaram competição de folhas/frutos por cálcio, magnésio e enxofre na época de maior expansão do fruto, maior demanda dele por nutrientes. Os maiores teores de nitrogênio, fósforo, magnésio e boro nas folhas do café convencional podem indicar uma maior chance de recuperação vegetativa das plantas para a safra 2021/2022.

Os teores foliares de potássio e zinco foram maiores no café orgânico (Tabela 3). Esses resultados diferem do obtido na análise de solo, em que o café convencional apresentou os maiores teores de potássio e zinco (Tabela 2).

5.3. Análise física dos grãos

Os grãos de café obtidos no sistema orgânico apresentaram maiores diâmetros do que os grãos do sistema convencional, maior porcentagem retida na peneira 17/18 e menor na peneira fundo e catação. Já os grãos do sistema convencional concentraram a maior porcentagem nas peneiras fundo e catação (12,57%) (Tabela 4).

De acordo com Matiello et al. (2010), a deficiência de potássio, reduz o tamanho dos grãos e aumenta a porcentagem de grãos chochos, afetando negativamente a qualidade da bebida. O teor foliar de potássio foi superior no café orgânico (Tabela 3), pode-se explicar o maior tamanho dos grãos no sistema orgânico. O teor de umidade dos grãos de café foi semelhante entre os sistemas convencional e orgânico (Tabela 4).

Tabela 4. Classificação dos grãos de café dos sistemas convencional e orgânicos nas peneiras 17/18 a 10 (moca), umidade após secagem e valores de SST no fruto cereja. Poço Fundo, MG, 2021

Peneira (%)	Manejo	
	Orgânico	Convencional
Peneira 17/18	56,01	49,53
Peneira 16	15,75	16,60
Peneira 15	6,070	8,29
Peneira 13/14	1,16	1,85
Peneira moca 10	13,82	12,27
Fundo	1,37	1,73
Fundo + catação	7,31	12,57
Umidade (%)	12,85	12,77
Sólidos solúveis (°Brix)	23,7	22,4

Verificou-se diferença entre os sistemas de cultivo para os teores médios de SST (°Brix) nos frutos de café. Os valores médios de sólidos solúveis totais foram maiores nos frutos de café do sistema orgânico. Estudo realizado por Alves (2009) indicou forte correlação entre qualidade da bebida e sólidos solúveis totais (°Brix) dos frutos maduros de café; 95% dos cafés que alcançaram nota superior a 80 apresentaram valores superiores a 20 °Brix no momento da colheita.

5.4. Análise sensorial da bebida

Os atributos sensoriais avaliados apresentaram notas bem similares (Tabela 5). Em relação a variável uniformidade, xícara limpa e doçura ambos os sistemas receberam as notas máximas (10) e, os cafés receberam pontuação 83. De acordo com Mello (2016), sabor e aroma são dependentes da composição original dos grãos e são atributos que determinam a qualidade da bebida na prova de xícara.

Tabela 5. Análise sensorial da bebida de café dos sistemas orgânico e convencional. Poço Fundo, MG, 2021.

Atributos	Manejo	
	Orgânico	Convencional
	Pontuação	Pontuação
Aroma	7,6	7,5
Uniformidade	10	10
Xícara limpa	10	10
Doçura	10	10
Sabor	7,6	7,6
Acidez	7,6	7,5
Corpo	7,5	7,6
Sabor residual	7,5	7,6
Balanço	7,5	7,5
Nota Final	7,6	7,6
SCAA	83,07	83,34

Com o intuito de quantificar as relações entre os atributos químicos do solo nos cafeeiros sob sistema convencional e orgânico, a correlação entre os parâmetros de solo fósforo e enxofre é de 84% (p-valor < 0,05), o que indica que se espera que amostras de solo com altos valores de potássio tenham altos valores de enxofre também (Figura 3).

Por outro lado, amostras com altos níveis de cobre têm baixos níveis de ferro. Observam-se correlações estatisticamente nulas, ou seja, não houve evidência estatística suficiente para afirmar que, por exemplo, os atributos químicos de solo cálcio e enxofre

apresentam relação linear (p -valor $> 0,05$). Com raciocínio análogo, interpretam-se os outros atributos químicos dois a dois na Figura 3. Embora o teste *t-Student* para correlações pareadas possa inferir independência entre os atributos químicos de solo, estes se fazem presentes no solo e é razoável mensurar o efeito conjunto desses atributos. Dessa forma, apresenta-se a seguir a análise de componentes principais.

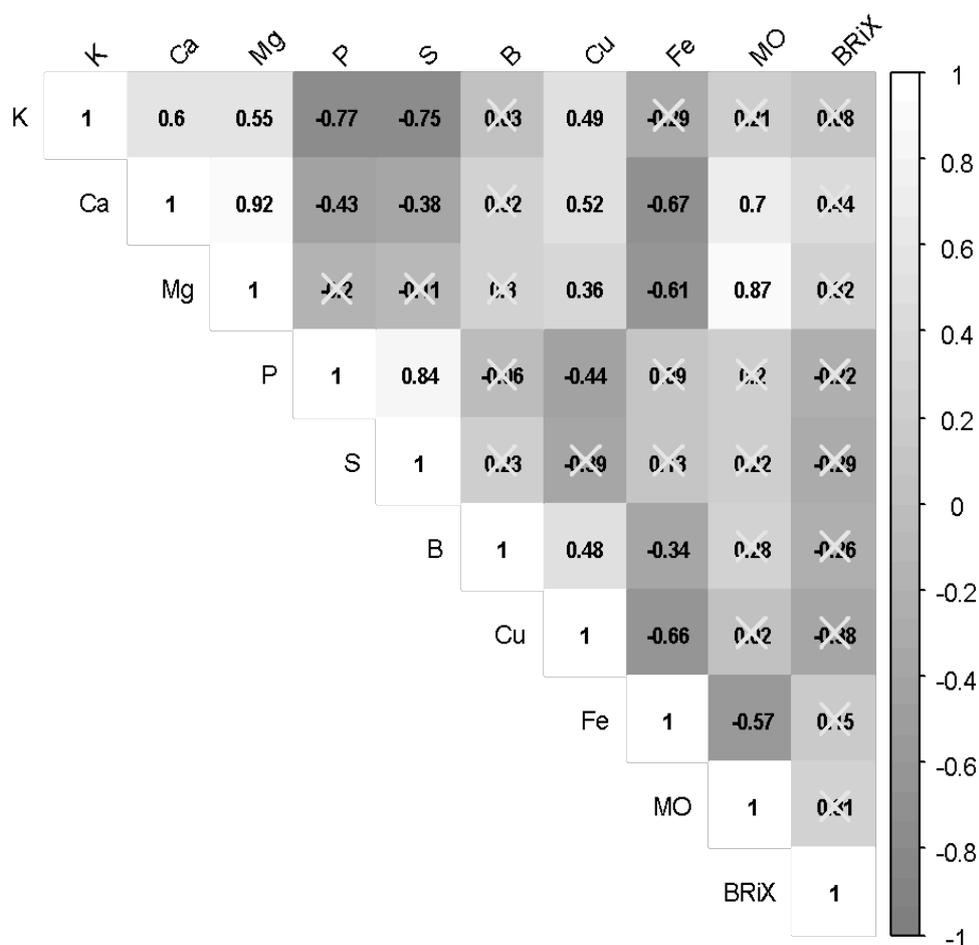


Figura 3. Gráfico de correlações e teste *t-Student* para testar a hipótese nula de que a correlação populacional é nula entre os atributos químicos de solo nos cafeeiros sob sistema convencional e orgânico. Comparações em que há a aceitação da hipótese nula estão marcadas com x e considerou-se 5% como nível de significância.

Os três primeiros componentes principais explicaram 85,55% da variabilidade das respostas, o que demonstra ótima explicação da variação ocorrida entre as amostras, em relação aos atributos químicos (Tabela 6). Altas porcentagens de variação explicada

pela análise de componentes principais também foram encontradas por Fassio et al. (2017) com 76,85% e Fassio et al. (2016), obtiveram 93,25% na análise de relações de compostos químicos e sensoriais em grãos de cafés especiais. Considerando a PC1 (Componente Principal 1), os parâmetros de solo potássio, cálcio, magnésio e ferro são altamente correlacionados com essa componente principal, considerando correlações superiores a 70% (-70%). Conforme apontado por Hinkle; Wiersma; Jurs (2002), variáveis com correlações superiores a 0,7 ou inferiores a -0,7 são consideradas como altamente correlacionadas. Para essa componente, espera-se que amostras de solo com altos escores, tenham altos valores de ferro e baixos valores de potássio, cálcio e magnésio. O PC3 está relacionado aos teores de sólidos solúveis (°Brix). Amostras com alto teor de SST (°Brix) tem altos escores.

Tabela 6. Correlações entre os parâmetros avaliados (atributos do solo) e os três primeiros componentes principais com as respectivas proporções da variância explicada por cada componente principal.

Atributos avaliados	PCI	PC2	PC3
Potássio	-0,7733	0,4656	-0,0056
Cálcio	-0,9484	0,1600	0,2030
Magnésio	-0,8563	0,3834	0,2548
Fósforo	0,5808	<i>0,7403</i>	0,0479
Enxofre	0,5222	<i>0,8074</i>	-0,0737
Boro	-0,3482	0,4262	-0,5163
Cobre	-0,6659	-0,0967	-0,6748
Ferro	<i>0,7133</i>	-0,3813	0,2893
Matéria Orgânica	-0,5823	0,6893	0,3704
SST (°Brix)	-0,2302	-0,1123	<i>0,8805</i>
Proporção da Variação (%)	43,06	24,14	
Total (%)		85,55	

*As variáveis em negrito e itálico indicam grupos de variáveis a serem formados.

Os escores da PC1 nos dois sistemas trazem evidências de que todas as amostras cultivadas sob o sistema orgânico são positivas, o que indica que para esse sistema os atributos químicos de solo têm maiores concentrações de ferro e menores teores de potássio, cálcio e magnésio (Figura 4a). Para a PC2, as amostras advindas do sistema orgânico trouxeram evidências de altos níveis de fósforo, enxofre e matéria orgânica (Figura 4b). A PC3 está dedicada ao teor de sólidos solúveis e a maioria das amostras do sistema convencional apresentaram escores positivos e, por sua vez, os maiores

níveis dos sólidos solúveis (Figura 4c). Conjuntamente, as amostras de solo do sistema orgânico apresentaram os maiores níveis de ferro, fósforo e enxofre, uma vez que todas estão localizadas no quadrante superior direito da Figura 4d.

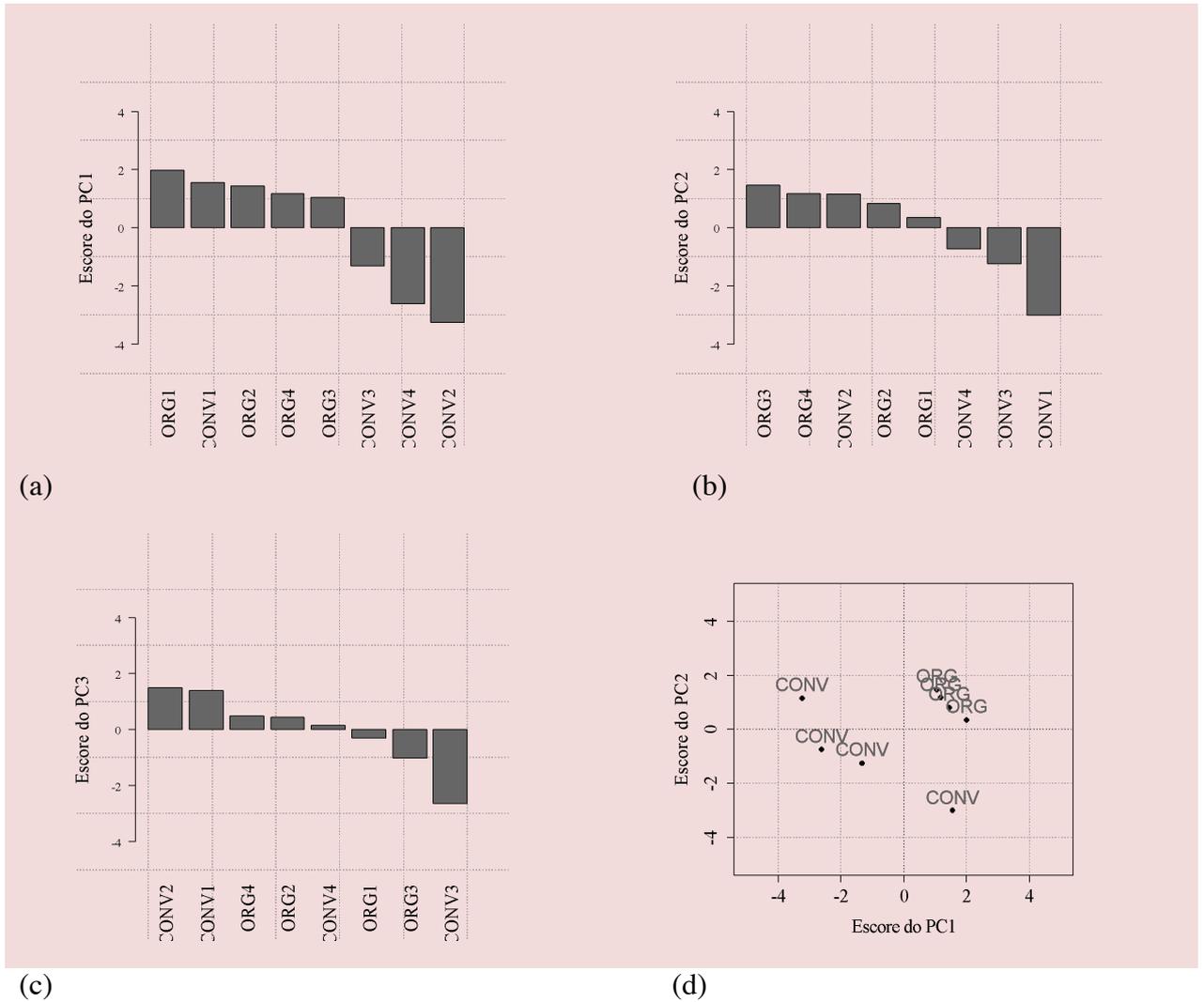


Figura 4. Escores das componentes principais 1 (a), 2 (b) e 3 (c) para os atributos químicos de solo. Visualização bidimensional dos escores das componentes principais 1 e 2. CONV: Sistema convencional; ORG: Sistema orgânico (d).

Entre os teores foliares dos nutrientes dos cafeeiros sob sistema convencional e orgânico, a correlação entre os parâmetros nutricionais fósforo e magnésio é de 98% (p-valor < 0,05), o que indica que espera-se que amostras de folhas com altos valores de magnésio tenham altos valores de fósforo também (Figura 5). Por outro lado, amostras com altos níveis de potássio têm baixos níveis de boro. Também ocorreram correlações

estatisticamente nulas pelo teste *t*-Student considerando-se 5% como nível de significância.

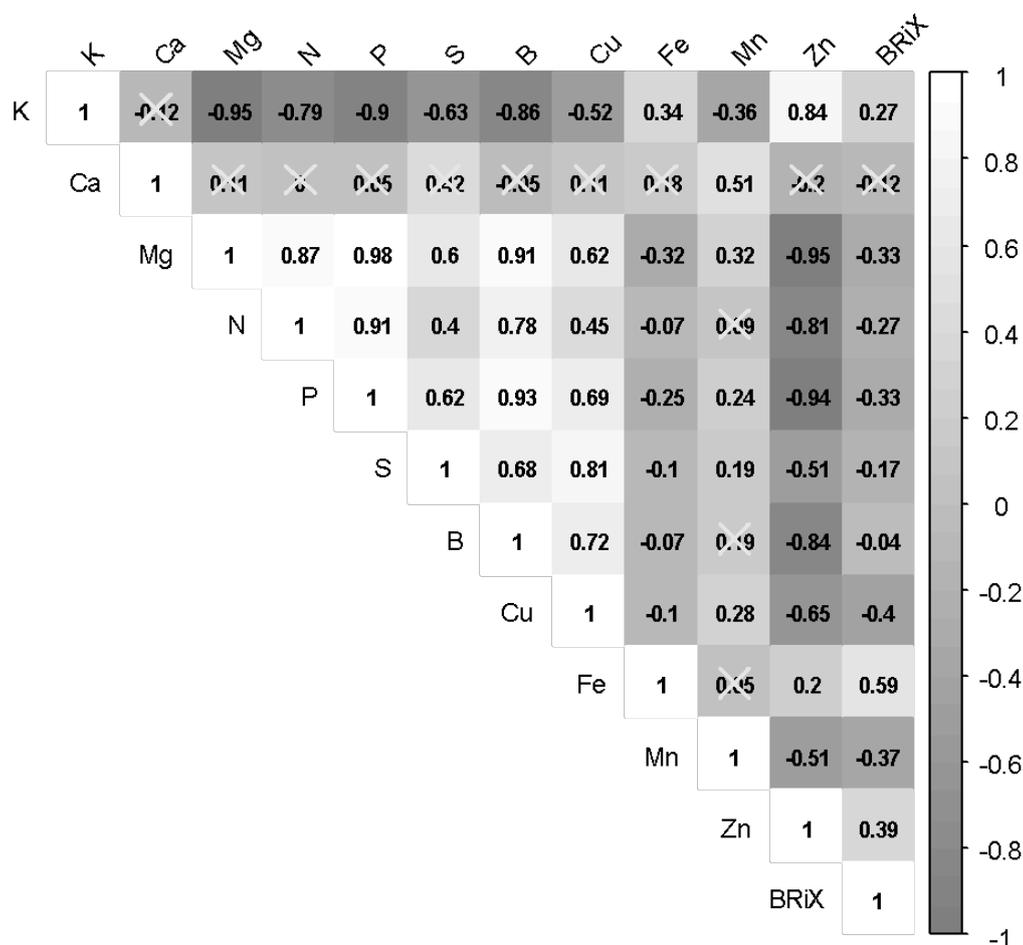


Figura 5. Gráfico de correlações e teste *t*-Student para testar a hipótese nula de que a correlação populacional é nula entre os teores foliares de nutrientes nos cafeeiros sob sistema convencional e orgânico. Comparações em que há a aceitação da hipótese nula estão marcadas com x e considerou-se 5% como nível de significância.

Os três primeiros componentes principais explicaram 82,12% da variabilidade das respostas, o que também demonstra ótima explicação da variação ocorrida entre as amostras, em relação aos teores foliares de nutrientes (Tabela 7). Altas porcentagens de variação explicadas pela análise de componentes principais também foram encontradas por Malta et al. (2021) com 95,88% na análise de relações de atributos sensoriais em grãos de cafés especiais. Considerando a PC1, somente os parâmetros de tecido vegetal

cálcio, ferro, manganês não são correlacionados com esse componente principal. Essa componente pode ser vista como um balanço entre os grupos de nutrientes (potássio, zinco) e (magnésio, nitrogênio, fósforo, enxofre, boro e cobre), de modo que altos escores implicam em amostras com baixos valores das variáveis do primeiro grupo e altos valores para o segundo grupo. O PC3 está relacionado ao SST e ferro. Amostras com alto teor de SST e ferro tiveram os menores escores.

Tabela 7. Correlações entre os parâmetros avaliados (teores foliares de nutrientes) e os três primeiros componentes principais com as respectivas proporções da variância explicada por cada componente principal.

Nutrientes	PC1	PC2	PC3
Potássio	-0,9256	-0,0839	-0,0158
Cálcio	0,1741	-0,8516	-0,1825
Magnésio	0,9773	0,1167	0,0179
Nitrogênio	0,8340	0,2824	-0,1046
Fósforo	0,9772	0,1744	-0,0309
enxofre	0,7157	-0,2352	-0,2247
Boro	0,9106	0,2424	-0,2849
Cobre	0,7572	-0,1335	-0,0620
Ferro	-0,2691	-0,1937	-0,8462
Manganês	0,3848	-0,7394	0,0836
Zinco	-0,9438	0,0621	-0,0102
SST (°Brix)	-0,3999	0,2762	-0,7876
Proporção da variação (%)	55,65	13,77	12,71
Total (%)	82,12		

*As variáveis em negrito e itálico indicam grupos de variáveis a serem formados.

Os escores da PC1 nos dois sistemas trazem evidências de que todas as amostras cultivadas sob o sistema orgânico foram positivas, o que indica que para esse sistema os teores foliares de nutrientes têm maiores concentrações para o grupo formado pelos nutrientes magnésio, nitrogênio, fósforo, enxofre, boro e cobre e menores teores de potássio e zinco (Figura 6a). Para a PC2, as amostras advindas do sistema convencional trouxeram evidências de altos níveis de cálcio e manganês (Figura 6b). A PC3 está dedicada ao ferro e SST e há uma equidade entre os sistemas, de modo que ambos sistemas apresentam quantidade semelhante de ferro e SST (Figura 6c). Conjuntamente, as amostras foliares do sistema orgânico apresentaram os maiores escores para o grupo formado pelos nutrientes magnésio, nitrogênio, fósforo, enxofre, boro e cobre e menores teores de cálcio e manganês (Figura 6d).

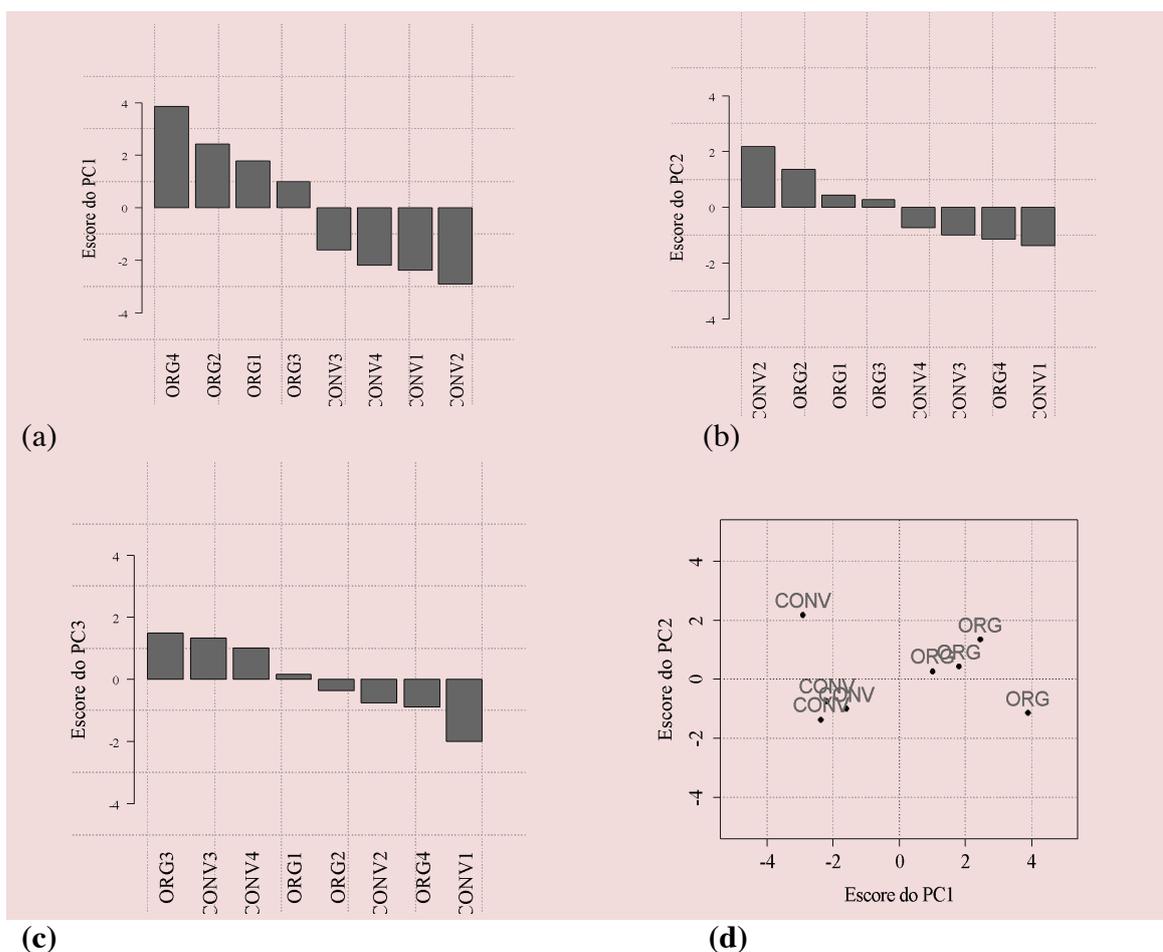


Figura 6. Escores das componentes principais 1 (a), 2 (b) e 3 (c) para os teores foliares de nutrientes nos cafeeiros. Visualização bidimensional dos escores das componentes principais 1 e 2. CONV: Sistema convencional; ORG: Sistema orgânico (d).

A análise multivariada realizada permitiu levantar evidências sobre o comportamento das amostras de solo e tecido foliar da variedade Catuaí Vermelho (*Coffea arabica* L.) nos dois sistemas de cultivo. Caracterizar cultivares do cafeeiro, bem como estudar relações entre processos de cultivo, colheita e pós-colheita tem se constituído uma estratégia de interesse econômico e sustentável, conforme encontrado em pesquisas realizadas por Borém et al. (2020); Silva et al. (2020). As evidências apontadas poderão viabilizar estudos mais aprofundados para aumentar a precisão dos padrões encontrados pelas análises de componentes principais realizadas e outras variáveis poderão ser consideradas, como as sensoriais e físicas. Salienta-se que estudos do tipo serão contemplados em pesquisas futuras.

6. CONCLUSÃO

- O pH e teores de matéria orgânica, magnésio, boro, cobre, ferro e manganês no solo não diferiram entre os sistemas convencional e orgânico;
- Os maiores teores de enxofre e fósforo no solo foram observados no sistema orgânico e os maiores teores de zinco e potássio no sistema convencional. Os teores foliares de nitrogênio, fósforo, magnésio e boro foram superiores nos cafeeiros no sistema convencional e os teores foliares de potássio e zinco no sistema orgânico;
- Os frutos de café orgânico apresentaram o maior valor médio de SST e grãos com maiores diâmetros;
- Quanto à análise sensorial as variáveis uniformidade, xícara limpa e doçura em ambos os sistemas receberam as notas máximas (10) e, os cafés receberam pontuação 83, classificados como especiais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR-MENEZES, E. de L.; SANTOS, C. M. A. dos; RESENDE, A. L. S.; SOUZA, S. A. da S.; COSTA, J. R.; RICCI, M. dos S. F. **Susceptibilidade de cultivares de café a insetos-pragas e doenças em sistema orgânico com e sem arborização**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 34 p.

ALVES, L. C. **Faixas de suficiência e níveis ótimos de atributos da fertilidade do solo para a cultura do café em Minas Gerais**. 2012. 58 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

AMOSTRAGEM de plantas para análise química. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. [3 p.]. Disponível em: <https://agrisolum.com.br/manuais/download/folha>. Acesso em: 17 set. 2021.

BARBOSA, F. O. B. A. **Potencial para expresso de cafés especiais do Sul de Minas: avaliação física, química e sensorial**. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

BORÉM, F. M.; CIRILLO, M.A.; ALVES, A. P. C.; SANTOS, C.M.; LISKA, G.R.; RAMOS, M.F.; LIMA, R.R. Coffee sensory quality study based on spatial distribution in the Mantiqueira mountain region of Brazil. **Journal of Sensory Studies**, [S. I.], v. 35, n. 2, 2020.

BRASIL. **Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003**. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2003a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/110.831.htm. Acesso em: 10 out. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n. 8, de 11 de junho de 2003**. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado e de café verde. Brasília, DF: MAPA, 2003b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Sumário executivo: café**. Brasília, DF: MAPA, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/agroestatisticas/sumario-executivo-de-comercializacao-e-abastecimento/sumario-executivo-cafe.pdf/view>. Acesso em: 1 maio 2021.

BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION - BSCA. **A BSCA**. [S. I.]: BSCA, 2022. Disponível em: <https://bsca.com.br/a-bsca>. Acesso em: 01 maio 2022.

CACERES, N.T.; ALCARDE, J.C. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). **Revista STAB**, Piracicaba, v. 13, n. 5, p. 16-20, 1995

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CARVALHO, G. R. **Avaliação de sistemas de produção de café na região do Sul de Minas Gerais: um modelo de análise de decisão**. 2002. 68 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CARVALHO, V. D. de; CHAGAS, S. J. de R.; CHALFOUN, S. M.; BOTREL, N. JUSTE JÚNIOR, E.S.G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 449-454, 1994.

CHALFOUN, S. M. S. **O café (*Coffea arabica* L.) na Região Sul de Minas Gerais: relação da qualidade com fatores ambientais, estruturais e tecnológicos**. 1996. 171 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

CLEMENTE, J. M. **Boron, copper and zinc effects on photosynthesis, enzymatic activity, nutritional status, production, chemical composition and cup quality of coffee**. 2014. 106 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

CLEMENTE, J. M.; MARTINEZ, H. E. P.; ALVES, L. C.; FINGER, F. L.; CECON, P. R. Effects of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 3, n. 37, p. 297-305, 2015.

DORNELA, F. J.; SILVA, M. C.; PAULA, V. M. F.; PAULA, V. A. F. Posicionamento do café especial no mercado consumidor nacional: o caso do capoeira coffee. *In*: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO - SEMEAD, 20., 2017, São Paulo. **Anais [...]**. Lavras: UFLA, 2017. p. 1-16.

FASSIO, L. O.; MALTA, M.R.; CARVALHO, G.R.; LISKA, G.R.; LIMA, P.M.de.; PIMENTA, C.J. Sensory Description of cultivars (*Coffea Arabica* L.) resistant to rust and its correlation with caffeine, trigonelline, and chlorogenic acid compounds. **Beverages**, [S.l.], v. 2, n. 1, p.1, 2016.

FASSIO, L. O.; MALTA, M.R.; CARVALHO, G.R.; LISKA, G.R.; LIMA, P.M.; NADALETI, D.H.S.; FONSECA, A.J.; PIMENTA, C.J. Fatty acids profile of *Coffea arabica* L. resistant to leaf rust grown in two environments of Minas Gerais, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 9, n. 12, p. 88, 2017.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes**: experimental designs package. R package version 1.2.1. [Alfenas]: [s. n.], 2021. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes>. Acesso em: 5 nov. 2021.

FRANCIOLI, D.; SCHULZ, E.; LENTENDU, G.; WUBET, T.; BUSCOT, F.; REITZ, T. Mineral vs. organic amendments: microbial community structure, activity and abundance of agriculturally relevant microbes are driven by long - term fertilization strategies. **Frontiers in Microbiology**, [S.l.], v. 7, p. 1446, 2016.

GONÇALVES, A. M. O. **Influência dos defeitos dos grãos de café na bebida pelo consumidor**. 2006. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

GUTIERREZ, N.; BARRERA, O. Selección y entrenamiento de un panel en análisis sensorial de café *Coffea arabica* L. **Revista de Ciências Agrícolas**, San Juan de Pasto, v. 32, n. 2, p. 77-87, 2015.

HINKLE, D. E.; WIERSMA, W.; JURIS, S. G. **Applied statistics for the behavioral sciences**. [S.l.]: Houghton Mifflin, 2002.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO. **Botanical aspects**. London, 2021. Disponível em: https://www.ico.org/trade_statistics.asp. Acesso em: 1 maio. 2021.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION - ISO. **Standard 5492: sensory analysis-vocabulary**. Vienna: ISO, 2008. 107 p.

LACERDA J. S. **Produção, composição química e qualidade da bebida de café arábica em razão da dose de cobre e zinco**. 2014. 97 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D.; MENDONÇA, S. M. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [online], v. 31, p. 1451-1462, 2007. [Acessado 24 Outubro 2022] , pp. 1451-1462. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600022>>.

LAUKALĒJA, I.; KRŪMA, Z. Quality of specialty coffee balance between aroma, flavour and biologically active compound composition: review. **Research for Rural Development**, [S. l.], v. 1, n. 12, p.240-247, 2018.

LERNER, B. L. **A diversificação do mercado de café no Sul de Minas Gerais**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

LINGLE, T. R.; MENON, S. N. Cupping and grading: discovering character and quality. In: FOLMER, B. (ed.). **The craft and science of coffee**. London: Academic Press, 2017. p.181-203.

LOPES, P. R.; ARAÚJO, K. C. S.; FERRAZ, J. M. G.; LOPES, I. M.; FERNANDES, L. G. Produção de café agroecológico no sul de Minas Gerais: sistemas alternativos à produção intensiva em agroquímicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 25-38, 2012.

LOPES, P. R.; FERRAZ, J. M. G. Caracterização do manejo de agroecossistemas cafeeiros convencional, organo-mineral, orgânico e agroflorestal em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 805-809, 2009.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.
- MALTA, M. R.; THEODORO, V. C. A. T.; REZENDE, S. R.; CHAGAS, R.; GUIMARÃES, R. J.; CARVALHO, J. G. Characterization of coffee crops cultivated on organic system in the south of Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1402-1407, 2008.
- MALTA, M. R.; OLIVEIRA, A. C. B. de; LISKA, G. R.; CARVALHO, G. R.; PEREIRA, A. A.; SILVA, A. D.; ALVAR, L. N.; MOTA, D. M. Selection of elite genotypes of *Coffea arabica* L. to produce specialty coffees. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [S. l.], v. 5, [s. n.] 2021.
- MARQUES, E. R.; BORÉM, F. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; BIAGGIONI, M. A. M. Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café arábica (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes períodos de temperaturas de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1557-1562, 2008.
- MARTINEZ, H. E. P.; CLEMENTE, J. M.; LACERDA, J. S. N.; POLTRONIERI, Y.; PEDROSA, A. W. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 61, p. 838-848, 2014.
- MATIELLO, J. B., SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. Rio de Janeiro: Fundação Procafé, 2010. 546p.
- MBOW, C.; NOORDWIJK, M.; LUEDELING, L.; NEUFELDT, N.; PETER AMINANG, P.; KOWERO, G. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, [S. l.], v. 6, p. 61-67, 2014. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.014>> Acesso em: 15 agosto 2022.
- MELLO, D. C. Qualidade nutricional do café orgânico. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 30, n. 256-257, p. 26-32, 2016.
- MESQUITA, C. M. de; REZENDE J. E. de; CARVALHO, J. S.; JÚNIOR, M. A. F.; MORAES N. C.; DIAS, P. T.; CARVALHO, M. de; ARAÚJO, W. G. de. **Manual do café: manejo de cafezais em produção**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 72p.
- PIMENTA, C. J. **Qualidade do café**. Lavras: Editora UFLA, 2020. 273p.
- PIZARRO, C. A. Análise sensorial e o café: uma revisão. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, Medianeira, v. 1, n. 2, p. 16-24, 2010.
- POTASH PHOSPHATE INSTITUTE - PPI. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1998. 177 p.

- QUEIROGA, V. P.; GOMES, J.; MELO, B.; ALBUQUERQUE, E. **Cultivo do café (*Coffea arabica* L.) orgânico sombreado para produção de grãos de alta qualidade.** Campina Grande: AREPB, 2021. 279p.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 5 nov. 2021.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.
- REINATO, C. H. R.; BORÉM, F. M. Interferência da secagem natural e artificial na composição química e análise sensorial do café despulpado. *In:* SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. **Anais [...].** Brasília, D.F.: Embrapa Café, 2005. p. 5.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V.H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. 359 p.
- RIBEIRO, D. E. **Interação genótipo e ambiente na composição química e qualidade sensorial de cafés especiais em diferentes formas de processamento.** 2013. 62 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- RICCI, M. dos S. F.; ARAÚJO, M. do C. F.; FRANCH, C. M. de C. **Café: recomendações técnicas.** Brasília, DF: [s. n.], 2002. 158 p.
- SAES, M.S.M. **A racionalidade econômica da regulamentação no mercado brasileiro de café.** São Paulo: Annablume; Fapesp, 1997.
- SANTOS, H. G. dos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.
- SARCINELLI, O.; RODRIGUEZ, E. O. Análise do desempenho econômico e ambiental de diferentes modelos de cafeicultura em São Paulo – Brasil: estudo de caso na região cafeeira da Média Mogiana do Estado de São Paulo. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, [S. l.],** v. 5, p. 13-26, 2006.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análise química de plantas.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1974. 56 p.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA - SCAA. **SCAA protocols:** cupping specialty coffee. SCAA, 2015. 10 p. Disponível em: <http://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>. 2015. Acesso em: 8 jun. 2021.

SILVA, A. F. **Perfil sensorial da bebida de café (*Coffea arabica* L.) orgânico**. 2003. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G.; CHAGAS, S. J. R.; COSTA, L. Fontes e doses de potássio na produção e qualidade do grão de café beneficiado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 3, p.335-345, 1999. Disponível em:<DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000300003>>. Acesso em: 24 outubro 2022.

SIMÕES, R. O.; FARONI, L. R. D.; QUEIROZ, D. M. Qualidade dos grãos de café (*Coffea arabica* L.) em coco processados por via seca. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n .2, p. 139-146, 2008.

SILVA, F. L. F.; NASCIMENTO, G. O.; LOPES, G. S.; MATOS, W. O.; CUNHA, R. L.; MALTA, M. R.; LISKA, G. R.; OWENE, R. M.; TREVISAN, T. S. The concentration of polyphenolic compounds and trace elements in the *Coffea arabica* leaves: Potential chemometric pattern recognition of coffee leaf rust resistance. **Food Research International**, [S. l.], v. 134, [s. n.], 2020. Disponível em: <DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.07.003>> Acesso em: 15 agosto 2022.

SIQUEIRA, H. H.; ABREU, C. M. P. Composição físico-química e qualidade do café submetido a dois tipos de torração em com diferentes formas de processamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 112-117, 2006.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. *In*: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. H.; BARROS, N.F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 205-274.

SOUZA, F. de F.; SANTOS, J. C. F.; COSTA, J. N. M.; SANTOS, M. M. dos. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004. 21 p.

SUNAHARUM, W. B.; WILLIAMS, D. J.; SMYTH, H. E. Complexity of coffee flavor: a compositional and sensory perspective. **Food Research International**, [S. l.], v. 62, p. 315-325, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.030>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996914001409>. Acesso em: 24 out. 2022.

THEODORO, V. C. de A.; CARVALHO, J.G. de; CORRÊA, J.B.C.; GUIMARÃES, R.J. Avaliação do estado nutricional de agroecossistemas de café orgânico no estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1222-1230, 2003.

UEKANE, T. M.; ROCHA-LEÃO; REZENDE, C. M. Compostos sulfurados no aroma do café: origem e degradação. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 5, p. 891-911, 2013.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys**. 2nd. ed. Washington, DC: USDA, 1999. 871 p.

WEGNER, R. C.; BLISKA, F. M; TURCO, P. H. N. Viabilidade da produção de café orgânico no Brasil: vantagens e desvantagens. *In*: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., Araxá, 2011. **Anais** [...]. Araxá, 2011.

XAVIER, M. F. F.; CELESTINO, S.M.C. **Caracterização físico-química e química de grãos crus de quatro cultivares de café irrigado obtidos por via seca, fermentação natural e fermentação enzimática**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2015. 17 p.

YERETZIAN, C.; OPITZ, S.; SMRKE, S.; WELLINGER, M. **Coffee volatile and aroma compounds: from the green bean to the cup**. Wädenswil: Zurich University of Applied Sciences, 2019. 726-770 p.

WILLER, H.; LERNOUD, J. **The world of organic agriculture statistics and emerging trends research institute of organic agriculture**. IFOAM, 2019. 104p.