



ALISSON ANDRÉ VICENTE CAMPOS

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CAFEEIROS
UTILIZANDO DIFERENTES TÉCNICAS DE MANEJO**

**LAVRAS - MG
2025**

ALISSON ANDRÉ VICENTE CAMPOS

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CAFEEIROS UTILIZANDO DIFERENTES
TÉCNICAS DE MANEJO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dra. Dalys Toledo Castanheira
Orientadora

**LAVRAS - MG
2025**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Campos, Alisson André Vicente.

Desempenho agrônômico de cafeeiros utilizando diferentes técnicas
de manejo / Alisson André Vicente Campos. – 2024.

125 p. : il.

Orientadora: Dalyse Toledo Castanheira.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. *Coffea arabica*. 2. Déficit hídrico. 3. Mudanças climáticas I.
Castanheira, Dalyse Toledo. II. Título.

ALISSON ANDRÉ VICENTE CAMPOS

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CAFEEIROS UTILIZANDO DIFERENTES
TÉCNICAS DE MANEJO**

**AGRONOMIC PERFORMANCE OF COFFEE TREES USING DIFFERENT
MANAGEMENT TECHNIQUES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 27 de março de 2024.

Dr. Tiago Teruel Rezende UFLA

Dra. Danielle Pereira Baliza IFSUDESTEMG

Dr. Cláudio Pagotto Ronchi UFV

Dr. Marcelo Ribeiro Malta EPAMIG

Prof.^a Dra. Dalyse Toledo Castanheira
Orientadora

**LAVRAS-MG
2025**

À minha mãe, Madalena, ao meu pai Aílton (*In memoriam*), aos meus irmãos Alexandre, Taís e Fábio e à minha noiva Sabrina, pelo amor, apoio e por serem a minha base e grandes incentivadores.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Maria Madalena Vicente, ao meu pai (*in memoriam*), Aílton Fidélis Campos e aos meus irmãos, Alexandre, Taís e Fábio, por sempre me apoiarem e incentivarem a lutar pelos meus ideais.

À minha noiva, pelo amor, companheirismo e cumplicidade.

Aos professores Rubens José Guimarães e Dalys Toledo Castanheira pela orientação, confiança, conhecimento, apoio, amizade e exemplo profissional e pessoal.

À pesquisadora Milene Alves de Figueiredo Carvalho, pelo empréstimo dos equipamentos, estrutura do laboratório da Embrapa, empenho e amizade.

A todos professores que contribuíram com a minha formação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realizar meu Doutorado.

Ao Consórcio Pesquisa Café, pelo financiamento do projeto e por todo o apoio.

A todos os integrantes do grupo de pesquisa “Otimização da água na cafeicultura” da Universidade Federal de Lavras.

Aos amigos da Pós-Graduação Marina Scalioni, Pedro Menicucci, Otávio Figueiredo por todo auxílio, conversas, comprometimento e parceria na condução do experimento.

Aos companheiros da República Café e Viola pelo apoio e descontração ao longo do doutorado.

Aos amigos Éric Vinícius e Mateus Portes por toda ajuda, conversas, convívio e amizade durante toda essa jornada.

Aos integrantes dos núcleos de estudos Núcleo de Estudos em cafeicultura-NECAF e Grupo de Estudos em Herbicidas, Plantas Daninhas e Alelopatia-GHPD por toda ajuda com os experimentos, conhecimentos compartilhados e experiências.

Aos funcionários do Setor de Cafeicultura-ESAL/UFLA Alexandre, Filipe, Lucas, Mauro e Matheus.

A todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Muito obrigado!

RESUMO

O cafeeiro, por ser uma planta perene, tem a produtividade sensivelmente influenciada pelas constantes alterações climáticas, sobretudo, temperatura e pluviosidade. Objetivou-se com este trabalho avaliar o crescimento, a produtividade e a qualidade de cafeeiros submetidos a tecnologias de manejo sustentáveis e técnicas agronômicas tradicionais, combinadas para otimização do uso da água. Foram conduzidos dois experimentos, o primeiro foi conduzido em campo, no período de janeiro de 2020 a outubro de 2021. Os fatores em estudo foram dispostos em esquema fatorial $3 \times 2 \times 5$, compostos por três repetições em sistema de parcelas sub-subdivididas. Foram três manejos de cobertura do solo (braquiária, filme de polietileno e vegetação espontânea) dois tipos de fertilizantes (convencional e de liberação controlada) e cinco condicionadores de solo (casca de café, composto orgânico, gesso agrícola, polímero retentor de água e testemunha). O segundo experimento foi conduzido na Fazenda Cafua, município de Lavras, entre os anos de 2021 a 2022. Os tratamentos foram compostos por um esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$, sendo duas cultivares (Catuaí Vermelho IAC 99 e Catuaí 2SL), dois sistemas de condução (irrigado e sequeiro) e aplicação de quitosana (quitosana e sem quitosana). Em ambos os trabalhos as variáveis em estudo foram crescimento, atributos fisiológicos, produtividade e qualidade dos cafés. De forma geral, o composto orgânico e a casca de café influenciaram a condução estomática. A maior produtividade foi obtida pelo uso de composto orgânico. O manejo com fertilizantes de liberação controlada, composto orgânico, casca de café e braquiária promoveram condições de maior eficiência do uso da água implicando diretamente no desenvolvimento e produtividade das plantas. No experimento com aplicações de quitosana e irrigação, o sistema irrigado contribuiu para o maior potencial hídrico foliar e incremento de produtividade. As maiores notas sensoriais, açúcares totais, lixiviação de potássio e polifenóis foram atribuídos a aplicação da quitosana. A combinação de manejos sustentáveis como a casca de café, composto orgânico, braquiária aliadas a técnicas sustentáveis como o uso de quitosana e irrigação promovem maiores produtividades e qualidade dos cafés.

Palavras-chave: *Coffea arabica*; déficit hídrico manejo sustentável; mudanças climáticas.

ABSTRACT

The coffee tree, as it is a perennial plant, has productivity that is significantly influenced by constant climate changes, especially temperature and rainfall. The objective of this work was to evaluate the growth, productivity and quality of coffee trees subjected to innovative management technologies and traditional agronomic techniques, combined. Two experiments were conducted, the first experiment was prolonged in the field, at the Federal University of Lavras, from January 2020 to October 2021. The factors under study were convenient in a 3x2x5 factorial scheme, composed of three replications in a sub-plot system subdivided. The factors were three soil cover management (brachiaria, polyethylene film and ecological planning), two types of fertilizers (conventional and controlled release) and five soil conditioners (coffee husks, organic compost, agricultural gypsum, water-retaining polymer and witness). The second experiment was conducted at Fazenda Cafua, municipality of Lavras, between the years 2021 and 2022. The factors were composed of a 2x2x2 factorial scheme, with two cultivars (Catuaí IAC 99 and Catucaí 2SL), two driving systems (irrigated and dryland) and application of chitosan (chitosan and chitosan-free). In both studies the variables under study were growth, physiological attributes, productivity and quality of the coffees. In general, the organic compound and coffee husk influenced stomatal conduction. The highest productivity was obtained by using organic compost. Management with controlled-release fertilizers, organic compost, coffee husks and brachiaria promote efficient water use conditions, directly affecting plant development and productivity. An irrigated system contributed to greater leaf water potential and increased productivity. The sensory notes, higher total sugars, potassium leaching and polyphenols were attributed to the application of chitosan. The combination of sustainable management such as coffee husk, organic compost, brachiaria combined with advanced techniques such as the use of chitosan promotes transparency and greater productivity and quality of coffees.

Keywords: *Coffea arabica*; sustainable management; water deficit; climate changes.

INDICADORES DE IMPACTO

Objetivou-se com este trabalho avaliar o crescimento, produtividade e qualidade de cafeeiros submetidos a tecnologias de manejo inovadoras e técnicas agronômicas tradicionais, combinadas. A utilização de coberturas de solo como a filme de polietileno, assim como a braquiária, associados a fertilizantes de eficiência aumentada e condicionadores de solo como a casca de café e composto orgânico possibilitaram aumentos de produtividade assim como qualidade de bebida do cafeeiro. Dessa forma, o trabalho conduzido nesta pesquisa possibilita a compreensão de manejos na região do Campo das Vertentes e Sul de Minas, que passam por constantes secas, assim como as demais regiões cafeeiras brasileiras. A maior produtividade foi obtida pelo uso de composto orgânico. O manejo com fertilizantes de liberação controlada, composto orgânico, casca de café e braquiária promoveram condições de maior eficiência do uso da água implicando diretamente no desenvolvimento e produtividade das plantas. A pesquisa teve uma desenvolvida em uma fazenda chamada Cafú, em Ijaci-Mg, promovendo difusão de técnicas sobre irrigação e utilização da quitosana sobre a eficiência do uso da água. Dessa forma, a condução de lavouras cafeeiras com técnicas agronômicas adequadas como a utilização de condicionadores solo, plantas de cobertura, fertilizantes de liberação controlada e quitosana permitem manutenção de boas produtividades sem que ocorra degradação do solo, depauperamento das plantas e otimização do uso da água. A maior produtividade foi obtida pelo uso de composto orgânico. O manejo com fertilizantes de liberação controlada, composto orgânico, casca de café e braquiária promoveram condições de maior eficiência do uso da água implicando diretamente no desenvolvimento e produtividade das plantas. A condução da pesquisa envolveu diretamente 4 docentes, 3 pesquisadores, 4 discentes de pós-graduação e 3 discentes de graduação.

IMPACT INDICATORS

The objective of this study was to evaluate the growth, productivity and quality of coffee plants subjected to innovative management technologies and traditional agronomic techniques, combined. The use of soil covers such as polyethylene film, as well as brachiaria, associated with high-efficiency fertilizers and soil conditioners such as coffee husks and organic compost, allowed for increases in productivity as well as beverage quality of the coffee plant. Thus, the work conducted in this research allows for the understanding of management in the region of Campo das Vertentes and Sul de Minas, which experience constant droughts, as do other Brazilian coffee regions. The highest productivity was obtained through the use of organic compost. Management with controlled-release fertilizers, organic compost, coffee husks and brachiaria promoted conditions of greater efficiency in the use of water, directly affecting the development and productivity of the plants. The research was developed on a farm called Cafúia, in Ijaci-MG, promoting the dissemination of techniques on irrigation and the use of chitosan on the efficiency of water use. Thus, coffee plantations managed using appropriate agronomic techniques, such as soil conditioners, cover crops, controlled-release fertilizers and chitosan, allow for the maintenance of good productivity without soil degradation, plant impoverishment and optimization of water use. The highest productivity was obtained through the use of organic compost. Management with controlled-release fertilizers, organic compost, coffee husks and brachiaria promoted conditions of greater efficiency in water use, directly affecting the development and productivity of plants. The research directly involved 4 professors, 3 researchers, 4 postgraduate students and 3 undergraduate students.

LISTA DE IFIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 1 – Croqui área experimental com a distribuição dos tratamentos.	38
Figura 2 – Dados das temperaturas médias, máximas, mínimas, umidade relativa do ar e precipitação do período de 2019 a 2020. Lavras – MG.....	43
Figura 3 – Altura dos cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, tipos de fertilizantes e condicionadores de solo em março (A), julho (B) e novembro (C) de 2020 e março (D) e julho (E) 2021.	47
Figura 4 – Diâmetro da copa de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores em julho (A) 2020 e março (B) e novembro (C) 2021.....	49
Figura 5 – Condutância estomática de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em março (A), julho (B) e novembro (C) 2020 e março (D), julho (E) e novembro (F) 2021.....	51
Figura 6 – Potencial hídrico foliar de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em 2020 (A) e 2021 (B).....	52
Figura 7 – Índice de clorofila a de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em março (A), julho (B), novembro (C) de 2020 e março (D) e julho (E) de 2021.	53
Figura 8 – Índice de clorofila B de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em março (A) e novembro (B) 2020 e julho (C) e novembro (D) de 2021.	54
Figura 9 – Índice de clorofila total de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em em março (A) e novembro (B) 2020 e julho (C) e novembro (D) de 2021.	55
Figura 10 – Uniformidade da maturação dos frutos de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em 2020 (A) e 2021 (B).....	56
Figura 11 – Classificação física dos grãos em cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em 2020 e 2021.....	58

Figura 12 – Produtividade, renda e rendimento de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em 2020 e 2021.	61
---	----

CAPÍTULO 3

Figura 1 – Análise dos componentes principais de análises bioquímicas em grãos de cafês submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2019.	85
Figura 2 – Análise dos componentes principais de análises sensoriais em grãos de cafês submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2019.	87
Figura 3 – Análise dos componentes principais de análises bioquímicas em grãos de cafês submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2020.	88
Figura 4 – Análise dos componentes principais de análises sensoriais em grãos de cafês submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2020.	89
Figura 5 – Análise dos componentes principais de análises bioquímicas em grãos de cafês submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2021.	90
Figura 6 – Análise dos componentes principais de análises sensoriais em grãos de cafês submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2021.	91

CAPÍTULO 4

Figura 1 – Potencial hídrico foliar de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de irrigação e aplicação de quitosana em 2022.	109
Figura 2 – Produtividade, renda e rendimento de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em 2020 e 2021.	110
Figura 3 – Análise dos componentes principais de análises bioquímicas em grãos de cafês submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2021.	111

Figura 4 – Análise dos componentes principais de análises sensoriais em grãos de cafés submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2021.	112
---	-----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1 – Análise química e física do solo em profundidade de 0-20 cm da área experimental nos anos de 2019 e 2021.	37
Tabela 2 – Descrição dos tratamentos experimentais utilizados nos manejos de plantas daninhas, tipos de fertilizantes e condicionadores de solo aplicados na linha do cafeeiro.	39

CAPÍTULO 3

Tabela 1 – Escala de classificação para análise sensorial de cafés, conforme protocolo da Specialty Coffee Association (SCA).	81
Tabela 1 - Tratamentos com utilização de quitosana e irrigação com a cultivar de café Catucaí 2SL e Catuaí IAC 99.	105

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL.....	17
1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TÉORICO	19
2.1	Cafeicultura brasileira	19
2.2	Filme de Polietileno como opção de otimização da água na cafeicultura.....	19
2.3	Capim-braquiária.....	20
2.4	Fertilizantes de eficiência aumentada.....	21
2.5	Casca de café.....	23
2.6	Gesso agrícola	23
2.7	Composto orgânico.....	24
2.8	Polímero retentor de água	25
2.9	Quitosana	25
	REFERÊNCIAS	27
	CAPÍTULO 2 - CRESCIMENTO, FISIOLOGIA E PRODUTIVIDADES DE	
	CAFEEIROS SUBMETIDOS A DIFERENTES TÉCNICAS DE MANEJO	34
1	INTRODUÇÃO	35
2	MATERIAL E MÉTODOS	37
2.1	Área experimental	37
2.2	Delineamento experimental.....	38
2.3	Descrição dos tratamentos	39
2.3.1	Cobertura do solo	40
2.3.1.1	Manejo do mato com uso de filme de polietileno.....	40
2.3.1.2	Manejo do mato com uso de braquiária.....	40
2.3.1.3	Manejo do mato espontâneo (tratamento controle)	40
2.3.2	Fertilizantes.....	41
2.3.2.1	Fertilizantes Convencionais.....	41
2.3.2.2	Fertilizantes de Liberação Controlada.....	41
2.3.3	Condicionadores de solo	41
2.3.3.1	Casca de café.....	41
2.3.3.2	Gesso agrícola	42
2.3.3.3	Polímero retentor de água	42
2.3.3.4	Composto orgânico.....	42
2.3.3.5	Testemunha.....	42
2.4	Clima.....	43
2.5	Avaliações.....	44
2.5.1	Características fisiológicas.....	44
2.5.1.1	Índices de clorofila.....	44
2.5.1.2	Condutância estomática.....	44
2.5.1.3	Potencial hídrico foliar – Bomba de Scholander	44
2.5.2	Crescimento vegetativo	45
2.5.3	Umidade do solo.....	45
2.5.4	Colheita do café e maturação	45

2.5.5	Classificação física do café.....	45
2.6	Análises estatísticas	46
3	RESULTADOS.....	47
4	DISCUSSÃO	62
5	CONCLUSÃO	71
	REFERÊNCIAS	72
	CAPÍTULO 3 – QUALIDADE QUÍMICA E SENSORIAL DE CAFEEIROS	
	CONDUZIDOS COM DIFERENTES TÉCNICAS DE MANEJO	77
1	INTRODUÇÃO	78
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	80
2.1	Caracterização da área experimental.....	80
2.2	Características avaliadas	80
2.2.1	Preparação das amostras.....	80
2.2.2	Análises sensorial.....	80
2.2.3	Análises químicas de qualidade	81
2.2.3.1	Determinação da composição química dos grãos de café	81
2.2.3.2	Análise de proteína.....	81
2.2.3.3	Teor de umidade do grão.....	82
2.2.3.4	Teor de lipídeos.....	82
2.2.3.5	Açúcares totais.....	82
2.2.3.6	Enzima polifenoloxidase (PFO).....	83
2.2.3.7	Teste de condutividade elétrica	83
2.2.3.8	Lixiviação de potássio	83
2.2.3.9	Determinação de cinzas.....	84
2.3	Análise estatística	84
3	RESULTADOS	85
4	DISCUSSÃO	92
5	CONCLUSÕES	97
	REFERÊNCIAS	98
	CAPÍTULO 4 – PRODUÇÃO E QUALIDADE DO CAFÉ DE LAVOURAS	
	SUBMETIDAS A DIFERENTES MANEJOS DE IRRIGAÇÃO E	
	QUITOSANA.....	102
1	INTRODUÇÃO	103
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	105
2.1	Condições experimentais	105
2.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	105
2.3	Aplicação da quitosana	106
2.4	Variáveis avaliadas.....	106
2.4.1	Avaliações de crescimento	106
2.4.2	Índices de clorofila.....	106
2.4.3	Condutância estomática.....	107
2.4.4	Potencial hídrico foliar.....	107
2.4.5	Colheita.....	107
2.5	Análises estatísticas	108
3	RESULTADOS.....	109
4	DISCUSSÃO	114

5	CONCLUSÃO	119
	REFERÊNCIAS	120
	APÊNDICE A – ANÁLISE QUÍMICA DA CASCA DE CAFÉ UTILIZADA NOS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO	124
	APÊNDICE B – ANÁLISE QUÍMICA DO COMPOSTO ORGÂNICO UTILIZADO NOS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO	125

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira é destaque internacional, sendo o Brasil o maior produtor mundial. A predominância na produção nacional é de espécie de *Coffea arabica* L. com 70,7% do total (CONAB, 2023). As fazendas cafeeiras têm importante função social na geração de empregos, inclusive histórica, no desenvolvimento do Brasil. Embora a produção do Brasil seja alta, a produtividade média é baixa, influenciando negativamente nos custos obtidos pelos cafeicultores e, conseqüentemente, no lucro (MARQUES, 2023).

O cafeeiro, por ser uma planta perene, tem a produtividade sensivelmente influenciada pelas constantes alterações climáticas, sobretudo, temperatura e pluviosidade (DaMATTA et al., 2007). Outros fatores que afetam a produtividade negativamente estão ligados a negligências dos tratos culturais recomendados, principalmente quanto à nutrição das plantas, manejo ineficaz de plantas daninhas, escolha inadequada de cultivares e baixa renovação de lavouras pouco produtivas (SAKIYAMA et al., 2015; RONCHI e SILVA, 2018; CARVALHO et al., 2021).

As principais regiões produtoras de cafés de Minas Gerais vêm enfrentando, periodicamente, reveses das mudanças climáticas, cujos efeitos podem reduzir ou mesmo inviabilizar áreas tradicionalmente aptas ao cultivo do café (IPCC 2021). Essas condições de temperaturas elevadas e déficits hídricos durante estádios fenológicos cruciais para a produtividade, como na florada, expansão dos frutos e granação prejudicam tanto a produtividade como a qualidade do cafeeiro (MIRANDA et al., 2020; MOREIRA et al., 2021).

A qualidade do café está relacionada a fatores como o material genético, ambiente, manejo na produção e processamento pós-colheita (FASSIO et al., 2020; MALTA et al., 2020). O tamanho do grão de café cru (classificado em peneiras) é um importante indicador de qualidade, e está relacionando ao desenvolvimento do fruto e a sua composição química quanto aos açúcares totais, teores de cafeína, proteínas e compostos aromáticos (BORÉM, 2008; MALTA et al., 2020; FERREIRA et al., 2021).

O uso de técnicas agronômicas, tanto tradicionais como as inovadoras, porém de forma adequada e combinada, contribuem para eficiente uso dos recursos hídricos, conseqüentemente, otimizando o consumo dos fertilizantes pela demanda das plantas, desenvolvendo o sistema radicular e parte aérea incrementando a produtividade do cafeeiro,

qualidade dos frutos e maior lucratividade da produção frente as instabilidades climáticas (VOLTOLINI et al., 2020; CASTANHEIRA et al., 2022; VILELA et al., 2023;). Em trabalho recente Vilela (2024) constatou que a combinação de técnicas agronômicas tradicionais e modernas promoveu ao longo dos anos uma melhor saúde do solo, sendo alternativa para recuperação de solos e viabilização da cafeicultura frente às mudanças climáticas.

Assim, a adoção de técnicas agronômicas, sejam elas já consolidadas ou inovadoras (e suas combinações), podem atenuar o estresse causado pelas mudanças climáticas, além de otimizar o uso da água (seja da chuva ou mesmo da irrigação), contribuindo para aumentar a produtividade e melhorar a qualidade de bebida, viabilizando de forma sustentável a atividade cafeeira.

Objetivou-se com este trabalho avaliar o crescimento, produtividade e qualidade de cafeeiros submetidos a tecnologias de manejo inovadoras e técnicas agronômicas tradicionais, combinadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cafeicultura brasileira

O Brasil é o maior produtor de café do mundo, com produção de 55,1 milhões de sacas, em uma área de 2,24 milhões de hectares. O estado de Minas Gerais tem se destacado por ser o maior produtor do país, com 29,0 milhões de sacas, com a região Sul de Minas respondendo por 42,09% da produção do estado (CONAB, 2023).

A produtividade média do Brasil ainda é baixa, sendo inferior a 30 sacas por hectare, influenciando nos custos de produção. O baixo desempenho da cafeicultura brasileira pode ser relacionado principalmente ao: déficit hídrico em fases fenológicas críticas, temperaturas elevadas, nutrição inadequada, competição por plantas daninhas e lavouras velhas (DaMATTA et al., 2007; FERNANDES et al., 2020; MIRANDA et al., 2020).

Com a elevação das temperaturas em função das mudanças climáticas, admite-se que em regiões climaticamente limítrofes ao cultivo de determinadas espécies agrícolas, as condições se tornarão desfavoráveis ao desenvolvimento (ASSAD, 2004; IPCC, 2014; IPCC, 2021), e que no cafeeiro temperaturas máximas acima de 34 °C causaram abortamento das flores (ASSAD, 2004). A produtividade cafeeira é mais afetada pelo estresse hídrico durante os estádios fenológicos do final da dormência das gemas ao florescimento e do período final do florescimento ao início da formação do chumbinho (TAVARES, 2017). Todavia, o cafeeiro apresenta fotossíntese limitante pela difusão de CO₂, podendo ser favorecido com o aumento do CO₂ na atmosfera, influenciando a produtividade do cafeeiro em cenários climáticos futuros (DaMATTA et al., 2016).

2.2 Filme de Polietileno como opção de otimização da água na cafeicultura

O aumento das temperaturas em decorrência das mudanças climáticas afetam direta ou indiretamente o consumo de água na agricultura (DONG et al., 2018). O uso de técnicas como a cobertura morta do solo ou ainda, filmes plásticos, contribuem para maiores produtividades, qualidade dos produtos agrícolas e eficiência do uso da água (ALMEIDA, 2018). O filme de polietileno forma uma barreira física, reduzindo a troca de vapor de água entre o solo e a atmosfera. Esse efeito leva à diminuição da evapotranspiração da água, mantendo a umidade do solo por maior tempo (SILVA, 2002). Essa é uma importante observação, que justificam seu uso, pois com as mudanças climáticas há concentração das chuvas (que continuam

mantendo as médias anuais) em curtos períodos, porém também são longos os períodos de seca.

Materiais plásticos de cobertura têm maior durabilidade do que coberturas orgânicas para controlar o ambiente do solo e aumentar a produtividade das culturas, além de ser importante alternativa para a substituição dessas no caso de escasses em algumas regiões, ou ainda em plantios muito extensos. Porém, os materiais de cobertura orgânicos são de baixo custo (quando encontrados em abundância) e decompõem no solo em menor tempo, apesar de que o filme de polietileno pode ser reciclado. A seleção de um material de cobertura morta apropriado é, no entanto, orientada pelo tipo de cultura, práticas de manejo da cultura e condições climáticas (KADER et al., 2017). Todavia, com o crescimento do uso de filmes plásticos na agricultura, existem materiais biodegradáveis para minimizar impacto ambiental negativo gerados por esse tipo de manejo, promovendo uma agricultura mais sustentável (ALMEIDA, 2018).

A aplicação de práticas de cobertura morta reduzem a evaporação da água do solo, suprime o crescimento de plantas daninhas, controla a temperatura e aumenta a presença de microrganismos no solo (KADER et al., 2017). Desta forma, a supressão de plantas daninhas é um importante trato cultural, uma vez que esta operação apresenta altos custos para manutenção do cafeeiro em formação sem competição, para não afetar seu desenvolvimento por competição com outras plantas (RONCHI et al., 2014; ALECRIM et al., 2022). Com o uso do filme de polietileno dois primeiros anos da implantação do cafeeiro, eliminam-se as capinas manuais e aplicações de herbicidas na linha de plantio, herbicidas esses que são escassos quando se busca no registro de tais produtos no Ministério da Agricultura para o cafeeiro (RODRIGUES e ALMEIDA, 2018). Essa nova tecnologia para a cultura do café é importante também pois diminui as injúrias nas plantas causadas pelas capinas mal feitas e pela diminuição da intoxicação das plantas pela deriva de herbicidas não seletivos para o café (RODRIGUES, 2017; CAMPOS, 2020).

2.3 Capim-braquiária

A espécie *Urochloa decumbens* é uma planta da família das Poaceae, de ciclo perene, de hábito decumbente, porte baixo, apresenta folhas curtas e eretas, com altura da planta de 0,5 a 1,0 m, reproduzindo-se por sementes ou estolões (PEDROSA et al., 2014). Esta planta também é conhecida como capim-braquiária, possuindo menor crescimento que outras espécies do gênero *Urochloa*, mas apresentando cobertura densa do solo, com necessidade de

precipitações acima dos 800 mm anuais, podendo ter seu desenvolvimento afetado com secas em períodos superiores a quatro meses, e pela ocorrência de temperaturas inferiores a 15°C (PACIULLO; GOMIDE; LEITE, 2016). A *U. decumbens* influencia positivamente o manejo das plantas daninhas em cultivos na entrelinha do cafeeiro pelo fácil manejo e alta produção de biomassa (IKEDA et al., 2013).

O uso de plantas de cobertura do solo nas entrelinhas do cafeeiro auxilia na proteção contra erosão, no incremento do teor de matéria orgânica no solo, na reciclagem de nutrientes, contribuem para a manutenção da umidade do solo e para a redução da temperatura do mesmo, aumentando a atividade microbiana (MELLONI et al., 2013; ROCHA et al., 2014; CARDOSO et al., 2018). As plantas daninhas da entrelinha do cafeeiro podem ser manejadas tanto por controle mecânico por meio de trincha e/ou roçadora ou por meio de herbicidas (SIQUEIRA et al., 2015).

A *Urochloa decumbens* tem boa adaptação em solos de baixa fertilidade, possuindo alto vigor e elevada produção de biomassa durante todo o ano, tornando-a uma excelente planta para a cobertura do solo (ALVIM et al., 1990). O sistema radicular da braquiária pode atingir 80 cm de profundidade nos primeiros meses após a semeadura, contribuindo na formação de bioporos após a roçada da parte aérea (RAGASSI et al., 2013; PEDROSA et al., 2014; BAPTISTELLA et al., 2020).

A *U. decumbens* também pode ser utilizada como planta extratora de P, dada a morfologia do seu sistema radicular poder mobilizar, parcialmente, as formas de P não disponíveis do solo em profundidades não disponíveis para o cafeeiro (BAPTISTELLA et al., 2022). Outra característica interessante do uso da *U. decumbens* são os exsudados liberados pelo sistema radicular, reduzindo perdas de N pelo processo da inibição biológica da nitrificação (BAPTISTELLA et al., 2020).

2.4 Fertilizantes de eficiência aumentada

A nutrição é um dos principais responsáveis pelo sucesso da cafeicultura, desde que em níveis adequados, pelo incremento de produtividade, além de reduzir a incidência de doenças como a cercosporiose (VILELA et al., 2022). O N é o macronutriente que apresenta maiores teores na planta, em torno de 1,5% da matéria seca, sendo que sua função bioquímica é relacionada por parte de compostos de carbono como os aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, nucleotídeos, coenzimas (TAIZ et al., 2017; HAWKESFORD et al., 2012; PRADO, 2020).

Os fertilizantes mais utilizados na agricultura são os convencionais que apresentam uma série de fatores que podem interferir na sua eficiência, como perdas por volatilização ou lixiviação dependendo da fonte nitrogenada utilizada (FREITAS et al., 2022). Os fertilizantes que promovem melhorias na eficiência agrônômica da adubação em relação aos fertilizantes convencionais são classificados como fertilizantes de eficiência aumentada (TRENKEL, 2010).

A tecnologia dos fertilizantes de maior eficiência, buscam sincronizar a liberação do nitrogênio com o ritmo de demanda pela planta, promovendo maior aproveitamento do nutriente, reduzindo perdas para o ambiente e consequentemente prejuízos aos produtores (DOMINGHETTI, 2016; FREITAS et al., 2022). A alta demanda de fertilizantes nitrogenados pela agricultura, associado aos percalços gerados pela volatilização da ureia, tornam-na um fertilizante com baixa eficiência. Porém este fertilizante convencional é o mais utilizado na produção de fertilizantes de eficiência aumentada pelos seus altos teores de N (KLIMCZYK; SICZEK; SCHIMMELPFENNING, 2021).

A definição de fertilizante de liberação lenta e controlada são relacionadas com a presença de compostos capazes de controlar quimicamente, fisicamente ou microbiologicamente as taxas de liberação dos nutrientes presentes nos fertilizantes (SHAVIV, 2005). Os fertilizantes nitrogenados de liberação controlada são fertilizantes solúveis convencionais rapidamente disponíveis nas plantas, como a ureia, que são revestidos ou encapsulados por materiais orgânicos ou inorgânicos capazes de controlar/retardar a liberação do nitrogênio para o solo (CAHILL et al., 2010; KLIMCZYK; SICZEK; SCHIMMELPFENNING, 2021).

As tecnologias ligadas ao desenvolvimento de fertilizantes de eficiência aumentada são relacionadas a forma que ocorre a liberação do nutriente, lenta ou controlada, ou aditivados (estabilizados) com inibidores capazes de minimizar as perdas de N (HALL, 2005). Os fertilizantes de liberação controlada têm a taxa da liberação do nutriente em função do tipo e espessura de revestimento, temperatura e umidade do solo, que está atrelada a pluviosidade do local da adubação. Fertilizantes de liberação lenta são obtidos por meio da condensação da ureia com aldeídos, diferindo-se dos fertilizantes de liberação controlada por não possuírem revestimento, sendo mais baratos (GUELF, 2017). Os fertilizantes de liberação lenta podem ser mais prejudiciais ao meio ambiente do que os fertilizantes de liberação controlada, uma vez que o padrão de liberação dos nutrientes não é controlado (RAHMAN; HAQUE; KAHN, 2021).

2.5 Casca de café

A casca do café (ou seja, o pericarpo dos frutos extraído durante o beneficiamento dos grãos processados por via seca ou úmida) é obtida pelo beneficiamento do fruto na propriedade, gerando resíduo/subproduto que pode ser aplicado novamente nas lavouras em função da sua disponibilidade, teores nutricionais para complementação da adubação mineral, propriedade como condicionador de solo, atuante no controle de plantas daninhas por meio de alelopatia e baixo custo (SANTOS et al., 2002; FERANDES et al., 2013).

A composição da casca do café contém nutrientes importantes para as plantas de café, com teores de nitrogênio e potássio chegando até 1,5% e 3,0%, respectivamente (MATIELLO et al., 2016). O uso da casca de café no sulco ou cova de plantio é recomendada na dose de 10 litros por cova, complementando a adubação mineral (GUIMARÃES et al., 1999; CANTARELLA et al., 2022). Além de ser utilizada em adubações em cobertura, a palha de café em doses crescentes de 2,0 até 20 t ha⁻¹ reduziram os níveis de N, P, K e S da adubação de origem mineral, entre 6 a 44% para o N; 8 a 54% para o P; 28 a 100% para o K e de 8 a 68% para o S como adubo orgânico para o cafeeiro, além de aumentar a CTC e matéria orgânica (FERNANDES et al., 2013).

2.6 Gesso agrícola

O gesso agrícola é um sulfato de cálcio diidratado (CaSO₄.2H₂O), com composição química de S (14-17%), CaO (17-20%), F (0,6-0,7%) e P₂O₅ (0,6-0,75%), obtido como subproduto da produção de ácido fosfórico, em que a apatita após ser atacada com ácido sulfúrico reage produzindo o gesso e ácido fluorídrico (ALVAREZ-VENEGAS, et al., 1999). No processo de fabricação do superfosfato triplo a relação é de 4 a 5 t para cada tonelada de P₂O₅. O gesso agrícola apresenta solubilidade em água de 0,0241 g L⁻¹ água, sendo 172 duas vezes mais solúveis do que calcários oriundos de carbonato de cálcio, influenciando na velocidade de reação da hidrólise. (BARKER; PAVANA, LANTMAN, 1987). A hidrólise do sulfato de cálcio do gesso agrícola possibilita aumentos nos teores de Ca²⁺ e SO₄²⁻, reduzindo a saturação por alumínio em subsuperfície, propiciando desenvolvimento do sistema radicular de forma mais eficiente, contribuindo para absorção de água e de nutrientes em maiores profundidades (VITTI et al., 2008).

A necessidade de aplicação de gesso é determinada pela interpretação da análise de solo feita nas profundidades de 20 a 40 cm e 40 a 60 cm em função de dois métodos de

recomendação: determinação da textura do solo ou determinação do fósforo remanescente (RAIJ et al., 2008). Quando as camadas subsuperficiais apresentam teores de $\text{Ca} < 0,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e/ou $\text{Al} > 0,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e/ou saturação por alumínio $> 20\%$ e/ou $\text{V}\% < 35$ é recomendada o uso do gesso agrícola (ALVAREZ-VENEGAS et al., 1999; VITTI et al., 2008; CANTARELLA et al., 2022).

Na cafeicultura a aplicação do gesso agrícola é recorrente no estado de Minas Gerais, visando melhorias do sistema radicular pelo incremento químico em subsuperfície, promovendo desenvolvimento e produtividade sustentáveis da lavoura (RAMOS et al., 2013). A aplicação do gesso possibilita que o Ca^{2+} movimente-se pelo perfil do solo decorrente da ligação iônica do CaSO_4^0 , que não apresenta cargas, evitando que o Ca^{2+} se ligue as cargas negativas do solo, auxiliando que alcance camadas mais profundas sem resistência (RAMOS et al., 2013; BARKER; PAVANA, LANTMAN, 1987).

2.7 Composto orgânico

A constituição do composto orgânico é bem variada, podendo ser produzido por resíduos de origem animal, vegetal ou da combinação destes (CASTANHEIRA et al., 2022). A escolha do composto orgânico pelos agricultores é em função da disponibilidade na região e distância da fonte, influenciando diretamente no custo do transporte. O preço dos fertilizantes é um dos principais componentes do custo de produção de atividade cafeeira, respondendo em média a 23% do valor (VILELA, 2011). O composto orgânico é benéfico para o solo por contribuir para o aumento nos teores de matéria orgânica e da capacidade de troca de cátions e nutrientes melhorando assim a fertilidade do solo (VOLTOLINI, 2020; ARAÚJO et al., 2007).

A disponibilização dos nutrientes contidos nos compostos orgânicos é mais lenta do que a dos fertilizantes industriais, reduzindo as perdas (VILELA et al., 2022). Se a relação C:N do composto orgânico adicionado ao solo for inferior a 25, ele será mineralizado disponibilizando N para o cafeeiro. Se a mineralização ocorrer de forma muito rápida, o N poderá ser perdido por lixiviação. Todavia, a relação C:N superior a 25 indisponibiliza o N (HAYNES, 1986). A utilização de compostos orgânicos (palha de café, esterco de galinha e palha de feijão) combinados com biofertilizantes na nutrição de cafeeiros em formação promove aumento nos teores foliares de N, K e Mg (ARAÚJO et al., 2007).

2.8 Polímero retentor de água

O polímero retentor de água é uma macromolécula, constituída por cadeias longas de monômeros, podendo ser sintéticos de origem de derivados do petróleo ou de fontes naturais como o amido, os polissacarídeos, as resinas, as gomas, entre outros (LUCAS et al., 2001). A polimerização ocorre quando duas ou mais moléculas se combinam formando os polímeros por meio de ligações covalentes, sendo que as moléculas individuais são atraídas e ligadas entre si por fortes ligações de hidrogênio, quando entram em contato com a água, e as ligações fracas são enfraquecidas, ocorrendo a expansão (MORAES., 2001).

Com o surgimento de novas gerações de polímeros, seu uso tem ganhado aplicações inovadoras, intensificando-se, principalmente em projetos paisagísticos, gramados esportivos, fruticultura, reflorestamento, plantio de lavouras cafeeiras e viveiro de mudas (NAVROSKI et al., 2014). Os polímeros retentores de água são uma alternativa eficaz ao déficit hídrico, devido aos danos que a baixa disponibilidade de água no solo causa ao desenvolvimento e crescimento das mudas, visto que o polímero pode aumentar o armazenamento de água de 150 a 400 vezes sua massa seca (PREVEDELLO e LOYOLA, 2007), mantendo maior umidade no solo, por mais tempo.

A aplicação do polímero retentor de água em mudas de cafeeiro na dose de 2 g de polietileno por vaso, demonstraram qualidade iguais às mudas que receberam irrigação, indicando possibilidade na diminuição do volume de água (MARQUES et al., 2013). Porém, o uso do polímero retentor de água, aplicado em pó, em mudas de cafeeiro, não afetou o desenvolvimento das mudas em três doses de 3 e 6 g por muda, indicando que sua recomendação é na aplicação do gel já hidratado (VALE et al., 2006).

2.9 Quitosana

A quitosana é uma molécula constituída da desacetilação da quitina, um polissacarídeo abundante, encontrado em exoesqueletos dos artrópodes (BERGER et al., 2013). A quitosana é constituída do grupo químico das heteropolissacarídeos de β -1-4 ligados a D-glucosamina e N-acetil D-glucosamina (CABRERA et al., 2013). Dentre as principais características da quitosana são descritas por serem atóxicas, biodegradáveis, biocompatíveis e polímeros hidrofílicos que se solubilizam sob condições ácidas suaves como uma poliamina catiônica, relacionado ao pH da solução de menor pKa da quitosana (GHASEMI et al., 2017; NGUYEN et al., 2020).

As propriedades que definem as atividades biológicas da quitosana são o grau de acetilação, desacetilação, peso molecular e grau de polimerização. Na agricultura, a quitosana é usada como componente de vários bioestimulantes, apresentando boas respostas em crescimento e produtividade (DZUNG et al., 2011). Além disso, a aplicação foliar de quitosana tem sido utilizada para mitigar os efeitos do déficit hídrico na fisiologia das plantas, como: absorção reduzida de N, diminuição da pressão de turgor das células e aumento do acúmulo de espécies reativas de oxigênio, ácido abscísico, reduzindo o crescimento das plantas (LEI et al., 2011; MESSA et al., 2020; MOROVVAT., 2021; FIGUEIREDO, 2022).

A quitosana tem várias aplicações, apresentando um grande potencial para revestimento de nanofertilizante (MESSA et al., 2020; MESSA; FAEZ; 2020). Ensaio com NPK aplicado em mudas de café, em casa de vegetação, preparado em nanopartículas de quitosana via gelificação iônica de tripolifosfato e solução de quitosana, mostraram aumento da absorção de nutrientes, fotossíntese e crescimento do cafeeiro. A aplicação do nanofertilizante melhorou 17,04% de N, 16,31% de P e 67,50% de K nas folhas, sendo uma forma potencial de aumentar a eficiência do uso de fertilizantes para o café (CHAU HA et al., 2019).

Em mudas de *Cordyline*, tratadas com pulverização foliar de cinco concentrações de oligo-quitosana (0, 25, 50, 75 e 100 mg L⁻¹), foi observado rápido crescimento das mudas, maior peso específico da folha e maior taxa de crescimento relativo, além de melhorar a eficiência da planta fotossíntese ou baixa área foliar específica. A taxa de crescimento da raiz também aumentou em 89,13% com a aplicação de 50 mg L⁻¹ de oligo-quitosana, o que refletiu em maior biomassa vegetal em comparação ao controle (EL-SERAFY, 2020).

A quitosana tem sido empregada em diversas áreas industriais para revestimento de fertilizantes, alimentos, medicamentos, cosméticos (BITTELLI et al., 2001; CHAU HA et al., 2019; MESSA; FAEZ; 2020). Embora a utilização da quitosana na agricultura seja ampla, poucas pesquisas têm sido direcionadas a eficiência do uso da água pelas plantas, sobretudo na cafeicultura (FIGUEIREDO, 2022).

REFERÊNCIAS

- ALECRIM, A. O.; CASTANHEIRA, D. T.; VOLTOLINI, G. B.; GUIMARÃES, R. J. **Manejo de plantas daninhas na cultura do café**. Lavras-MG: Ed. UFLA, 2022, 172 p.
- ALMEIDA, P. C. **Efeito da cobertura com polietileno ou plástico biodegradável e da rega a duas profundidades nas características do solo**. 2017. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica), Universidade de Lisboa, Lisboa, 2018.
- ALVAREZ-VENEGAS, V. H. et al. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ-VENEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.
- ALVIM, M. J. et al. Aplicação de nitrogênio em acessos de braquiária. 1. Efeito sobre a produção de matéria seca. **Past. Tropic.**, v. 12, n. 2, p. 2-6, 1990.
- ARAÚJO, J. B. S. et al. Composto orgânico e biofertilizante na nutrição do cafeeiro em formação no sistema orgânico: teores foliares. **Coffee Science**, v. 2, n. 1, p. 20 - 28, 2007.
- ASSAD, E. D. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1057 – 1064, 2004.
- BAPTISTELLA, J. L. C.; ANDRADE, S. A. L.; FAVARIN, J. L.; MAZZAFERA, P. *Urochloa* in Tropical Agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, n. 119, p. 1-17, 2020.
- BAPTISTELLA, J. L. C.; TELES, A. P. B.; FAVARIN, J. L.; PAVINATO, P. S.; MAZZAFERA, P. Phosphorus cycling by *Urochloa decumbens* intercropped with coffee. **Experimental Agriculture**, v. 58, n. 36, p. 1-16, 2022.
- BARKER, C. M.; PAVANA, M. A.; LANTMANN, A. F. Considerações sobre uso do gesso na agricultura. **Informações Agrônômicas**, n. 40, p. 1-3, 1987.
- BERGER, L. R.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S.; FRANCO, L. O.; STAMFORD, T. C. M. Plant and soil characteristics affected by biofertilizers from rocks and organic matter inoculated with diazotrophic bacteria and fungi that produce chitosan. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 13, n. 3, p. 591-603, 2013.
- BITTELLI, M., et al. Reduction of transpiration through foliar application of chitosan. **Agric. Forest Meteorol**, p.107-167, 2001.
- BORÉM, F. M.; MALTA, M. R.; ANDRADE, E. T.; ABREU, G. F.; MARTINS, L. S. R.; SOUSA JUNIOR, J. M. Tecnologia pós-colheita para cafeicultura do cerrado. In: CARVALHO, C. R.; FERREIRA, A. D.; ANDRADE, V. T.; BOTELHO, C. E.; CARVALHO, J. P. F. (Org.). **Cafeicultura do Cerrado**. 1ed. Belo Horizonte: Epamig, 2021, p. 501-540.
- CABRERA, J. C. et al. Practical Use of Oligosaccharins in Agriculture. **Acta Hort**, 1009, ISHS, p. 195-212, 2013.

CAHILL, S. et al. Evaluation of alternative nitrogen fertilizers for corn and winter wheat production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 4, p. 1226-1236, July 2010.

CAMPOS, A. A. V. **Seletividade de herbicidas e controle de plantas daninhas em lavouras de café arábica**. Dissertação (MCENA) 111 p. Universidade Federal de Viçosa, Florestal-MG, 2020.

CANTATELLA, H. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. IAC: Campinas, 2022, 500p.

CARDOSO, R. G. et al. Intercropping period between species of green manures and organically-fertilized coffee plantation. **Coffee Science**, v. 13, n. 1, p. 9 - 22, 2018.

CARVALHO, G. R.; FERREIRA, A. D.; ANDRADE, V. T.; BOTELHO, C. E.; CARVALHO, J. P. F. **Cafeicultura do Cerrado**. Ed. UFLA, Lavras-MG, 2021, 541p.

CASTANHEIRA, D. T.; GUIMARAES, R. J.; REZENDE, T. T.; CARVALHO, M. A. F.; KNUPPEL, C. A.; CARVALHO, R. C. S. Optimization of water use in “*Coffea arabica*” L. grown under different agronomic practices. **Australian Journal of Crop Science**, v. 16, n. 7, p. 870–878, 2022.

CHAU HA, N. M. et al. Preparation of NPK nanofertilizer based on chitosan nanoparticles and its effect on biophysical characteristics and growth of coffee in greenhouse. **Research on Chemical Intermediates**, v. 45, p. 51–63, 2019.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira - Café: quarto levantamento**. **Observatório Agrícola**, Brasília, v. 5, n. 2818-7913, p. 1-45, dez. 2023.

DAMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 485-510, 2007.

DAMATTA, F. M.; GODOY, A. G.; MENEZES-SILVA, P. E.; MARTINS, S. C. V.; SANGLARD, L. M. V. P.; MORAIS, L. E.; TORRE-NETO, A.; GHINI, R. Sustained enhancement of photosynthesis in coffee trees grown under free-air CO₂ enrichment conditions: disentangling the contributions of stomatal, mesophyll, and biochemical limitations. **Journal of Experimental Botany**, v.67, p.341-352, 2016.

DOMINGHETTI, A. W. **Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e convencionais na cultura do cafeeiro**. 2016. 145p. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

DONG, Q. et al. Effects of straw mulching and plastic film mulching on improving soil organic carbon and nitrogen fractions, crop yield and water use efficiency in the Loess Plateau, China. **Agricultural Water Management**, v, 201, n. p. 133–143, 2018.

DZUNG, N.; LUONG, T.; NGUYEN, T.; JUNG, W. Research on impact of chitosan oligomers on biophysical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee. **Carbohydrates Polymers**, v. 84, p. 751-755, 2011.

EL-SERAFY, R. S. Phenotypic Plasticity, Biomass Allocation, and Biochemical Analysis of Cordyline Seedlings in Response to Oligo-Chitosan Foliar Spray. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 1503 -1514, 2020

FASSIO, L. O.; MALTA, M. R.; LISKA, G. R.; CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; PEREIRA, A. A.; PEREIRA, R. G. F. A. Performance of arabica coffee accessions from the active germplasm bank of Minas Gerais, Brazil as a function of dry and wet processing: a sensory approach. **Australian Journal Crop Science**. V. 14, n. 6, p. 1011-1018, 2020.

FERNANDES, A. L. T. et al. Redução da adubação mineral do cafeeiro arábica com a utilização de palha de café. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 324-336, 2013.

FERNANDES, A. L. T. et al. Use of organic fertilization with irrigation in coffee production in brazilian cerrado. **Rev. Ambient. Água** vol. 15 n. 5, p 2020.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, D. S.; CANAL, G. B.; NASCIMENTO, M.; NASCIMENTO, A. C. C.; FERREIRA, J. M. S.; AMARAL, J. F. T. F.; PEREIRA, L. L.; RODRIGUES, W. N.; RIBEIRO, W. R.; CASTANHEIRA, D. T.; TOMAZ, M. A. Exploring the multivariate technique in the discrimination of Coffea arabica L. cultivars regarding the production and quality of grains under the effect of water management. **Euphytica**, v. 217, n. 218, p. 1-15, 2021.

FIGUEIREDO, O. J. **Cafeeiros recém implantados com diferentes técnicas agronômicas visando a otimização da água**. 2022. 68 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2022.

FREITAS, T.; BARTELGA, L.; SANTOS, C.; DUTRA, M. P.; SARKIS, L. F.; GUIMARÃES, R. J.; DOMINGHETTI, A. D.; ZITO, P. C.; FERNANDES, T. J.; Technologies for fertilizers and management strategies of N-fertilization in coffee cropping systems to reduce ammonia losses by volatilization technologies for fertilizers and management strategies of N-fertilization in coffee cropping systems to reduce ammonia losses by volatilization. **Plants MDPI**, v. 11, p. 1 – 18, 2022.

GHASEMI, PIRBALOUTI, A. et al. Exogenous application of chitosan on biochemical and physiological characteristics, phenolic content and antioxidant activity of twospecies of basil (Ocimum ciliatum and Ocimum basilicum) underreduced irrigation. **Scientia Horticulturae**, v. 217, p. 114-122, mar. 2017.

GUELFÍ, D. Fertilizantes estabilizados, de liberação lenta ou controlada. **IPNI Informações Agronômicas**, n. 157, 2017.

GUIMARÃES, P. T. G. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ-VEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.

HALL, W. Benefits of enhanced-efficiency fertilizers for the environment. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005,

Frankfurt. Proceedings... Frankfurt: **International Fertilizer Industry Association**, 2005. p. 1- 9. 1 CD-ROM.

HAYNES, R. J. The decomposition process: mineralization, immobilization, humus formation and degradation. In: HA YNES, R. J. (Ed.). **Mineral nitrogen in the plant-soil system**. Orlando: Academic Press, 1986. p. 52-176.

HAWKESFORD M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; SKRUMSAGERMØLLER, J.; WHITE, J. **Functions of Macronutrients**. In: MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Oxford, Elsevier, 3 Ed. 2012. 1623 p.

IKEDA, F. S. et al. emergência e crescimento inicial de cultivares de *urochloa* em diferentes profundidades de semeadura. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 71-78, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2014: impacts, adaptation and vulnerability**. Genebra: IPCC, 2014. 44 p.

IPCC (2021) AR6 **climate change 2021: impacts, adaptation and vulnerability** - IPCC. Disponível em: IPCC <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>. Acesso em 18 de setembro de 2023.

IRITI, M. *et al.* Chitosan antitranspirant activity is due to abscisic acid-dependent stomatal closure, **Environ. Exp. Bot**, v. 66, p. 493–500, 2009.

KADER, M. A. et al. Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. **Soil & Tillage Research**, v. 168, n. 4, p. 155-166, 2017.

KLIMCZYK, M.; SICZEK, A.; SCHIMMELPFENNIG, L. Improving the efficiency of urea-based fertilization leading to reduction in ammonia emission. **Science of the Total Environment**, v. 771, p. 1-13, 2021.

LEI, C. et al. Foliar application of chitosan activates artemisinin biosynthesis in *Artemisia annua* L. **Industrial Crops and Products**, v. 33, n. 1, p. 176-182, 2011.

LUCAS, E. F.; SOARES, B. G e MONTEIRO, E. E. C. **Caracterização de polímeros: determinação de peso molecular e análise térmica**. Rio Janeiro: E-papers, 366 p, 2001. MALTA, M. R.; FASSIO, L. O.; LISKA, G. R.; CARVALHO, G. R.; PEREIRA, A. A.; BOTELHO, C. E.; FERRAZ, V. P.; SILVA, A. D.; PEDROSA, A. W.; ALVARO, L. N.; PEREIRA, R. G. F. A. Discrimination of genotypes coffee by chemical composition of the beans: Potential markers in natural coffees. **Food Research International**, v. 134, p. 1-8, 2020.

MARQUES, M. M. **Análise de eficiência econômica da cafeicultura brasileira entre 2011 e 2022**. 2023. 78 p. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023.

MARQUES, P.A.A.; CRIPA, M.A.M e MARTINEZ, E.H. Hidropolímero como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de cafeeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.1, p.1-7, 2013.

MATIELLO, J. B. et al. Casca fresca do café despulpado pode ir para a lavoura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 42., 2016, Serra Negra. **Anais...** Varginha: Procafé, 2016. p. 184.

MELLONI, R. et al. Métodos de controle de plantas daninhas e seus impactos na qualidade microbiana de solo sob cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 67-75, 2013.

MESSA, L. L. et al. Spray-dried potassium nitrate-containing chitosan/montmorillonite microparticles as potential enhanced efficiency fertilizer. **Polymer Testing**, v. 81, p. 1-33, 2020.

MESSA, L. L.; FAEZ, R. Spray-dried chitosan/nanocellulose microparticles: synergistic effects for the sustained release of NPK fertilizer. **Cellulose**, v.27, p. 77-93, 2020.

MIRANDA, F. L. et al. Synchronizing coffee blossoming and fruit ripening in irrigated crops of the Brazilian Cerrado Mineiro Region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 4, p. 605-613, 2020.

MORAES, O. **Efeito do uso de polímero hidroretentor no solo sobre o intervalo de irrigação na cultura do alface (*Lactuca sativa* L.)**. 2001. 73 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

MOREIRA, T. R.; SILVA, S. F.; SILVA, N. B.; SANTOS, G. M. A. D. A.; SANTOS, A. R. **Global warming and the effects of climate change on coffee production**. In: LOUZADA, L. P.; MOREIRA, T. R. (Orgs.), *Quality determinants in coffee production* (p. 65–100). Springer International Publishing. 2021.

MOROVVAT, S. A. Effects of Foliar Application Chitosan and Salicylic Acid on Physiological Characteristics and Yield under Deficit Irrigation Condition, **AGRIVITA Journal of Agricultural Science**, v. 43, n. 1, p. 101-113, 2021.

NAVROSKI, M. C. et al. Influência do polímero hidroretentor na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus dunnii* sob diferentes manejos hídricos. **Nativa**, v. 2, n. 2, p. 108-113, 2014.

NGUYEN, D.; LUONG, T.; NGUYEN, T.; JUNG, W. Nematicidal activity of cinnamon bark extracts and chitosan against *Meloidogyne incognita* and *Pratylenchus coffeae*, **Nematology**, v. 23, n. 6, p. 655-666, 2020.

PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M.; LEITE, J. F. B.; **Tecnologias e custos de produção de *Brachiaria decumbens* para uso sob pastejo**. Juiz de Fora, Embrapa Gado de Leite, 2016.

PEDROSA, A. W. et al. Resíduo de *Brachiaria* fertilizada com nitrogênio na adubação do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 9, n. 3, p. 366-373, 2014.

PRADO, R. M. *Nutrição de plantas*. Editora UNESP: Jaboticabal, 2020, 418 p.

PREVEDELLO, C.L e LOYOLA, J.M.T. Efeito de polímeros retentor de água na infiltração da água no solo. **Scientia Agraria**, v.8, n.3, p.313-317, 2007.

RAGASSI et al., **Aspectos positivos e riscos no consórcio cafeeiro e braquiária**. Visão agrícola número 12, 2013.

RAHMAN, H.; HAQUE, K. M. S.; HOSSAIN KHAN, Z. A review on application of controlled released fertilizers influencing the sustainable agricultural production: A Cleaner production process. **Environmental Technology & Innovation**, v. 23, p. 1-20, 2021.

RAIJ, V. B. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1988. 88 p. Gesso na agricultura. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. 233 p.

RAMOS, B. Z. et al. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio magnésio potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1018-1026, 2013.

ROCHA, O. C. et al. Qualidade físico-hídrica de um Latossolo sob irrigação e braquiária em lavoura de café no Cerrado. **Coffee Science**, v.9, p.516-526, 2014.

RODRIGUES, R. J. A. **Eficácia e seletividade de herbicidas isolados e em associações no cafeeiro**. 2017. 108 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

RONCHI, C. P. et al. Manejo de plantas daninhas na cultura do café. In: MONQUERO, P. A. (Org.). **Manejo de plantas daninhas nas culturas agrícolas**. 1 ed. São Carlos: RiMa Editora, 2014, p. 132-154.

RONCHI, C. P.; SILVA, A. A. Sustainable weed control in coffee. In: KORRES, N. E.; BURGOS, N. R.; DUKE, S. O. (Orgs.). **Weed control: sustainability, hazards, and risks in cropping systems worldwide**. 1ed. Boca Raton, London, New York: CRC Press (Taylor & Francis Group), 2018, v. 1, p. 425-441.

SAKIYAMA, N. S.; MARTINEZ, H. E. P.; TOMAZ, M. A.; BORÉM, A. (Org.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Viçosa-Mg: Ed UFV, 2015, 316 p.

SANTOS, J. C. F. et al. Efeito de extratos de cascas de café e de arroz na emergência e no crescimento do caruru-de-mancha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 783-790, 2002.

SHAVIV, A. **Controlled release fertilizers**. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. Proceedings... Frankfurt: IFA, 2005. Disponível em: Acesso em: 12 setembro 2020.

SILVA, M. C. C. **Crescimento, produtividade e qualidade de frutos do meloeiro sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e cobertura do solo**. 2002. **Dissertação** (Mestrado em Fitotecnia), Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró, 2002.

SIQUEIRA, R. H. S. et al. Atributos químicos de um latossolo submetido a diferentes controles de plantas invasoras em cafeeiros. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 138-148, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TAVARES, P. S. **Impactos das mudanças climáticas na produtividade do cafeeiro em áreas do sudeste do brasil - um estudo de modelagem**. 2017, 142 p. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

TRENKEL, M. **Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture**. 2nd ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163 p.

VALE, G. F. R. et al. Avaliação da eficiência de polímeros hidroretentores no desenvolvimento do cafeeiro em pós-plantio. **Coffee Science**, v. 1, n. 1, p. 7-13, 2006.

VILELA, E. F. **Crescimento inicial do cafeeiro e frações de nitrogênio e carbono da matéria orgânica do solo em função da adubação orgânica**. 2011. 64 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

VILELA, M. S. **Conservative long term cropping systems mitigating drought stresses and improving soil health**. 2024. 100 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2024.

VILELA, M. S.; CASTANHEIRA, D. T.; GUIMARÃES, R. J.; CARVALHO, M. A. F.; REZENDE, T. T.; VOLTOLINI, G. B.; FARIA, M. M. L.; CAMPOS, A. A. V. Behavior of coffee plants under different cropping systems with a focus on mitigating water scarcity. **Archives of agronomy and soil science**, v. 69, n. 15, p. 1-21, 2023.

VILELA, M. S.; RESENDE, L. S.; POZZA, E. A.; NETTO, P. M.; ROTELI, K. C.; GUIMARÃES, R. J. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization on the incidence of brown eye spot in coffee crop in vegetative stage. **Tropical Plant Pathology**, v. 47, p. 672-684, 2022.

VITTI, G. C. et al., **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008.

VOLTOLINI, G. B.; SILVA, L. C.; ALECRIM, A. O.; CASTANHEIRA, D. T.; RESENDE, L. S.; REZENDE, T. T.; GUIMARÃES, R. J. Soil chemical attributes in coffee growing with different agronomic techniques. **Coffee Science**, v. 15, p. 1-11, 2020. Coffee Science.

CAPÍTULO 2 - CRESCIMENTO, FISIOLOGIA E PRODUTIVIDADES DE CAFEIROS SUBMETIDOS A DIFERENTES TÉCNICAS DE MANEJO

RESUMO

Objetivou-se avaliar o emprego de diferentes técnicas agronômicas consagradas e inovadoras (bem como a combinação dessas) nos efeitos do crescimento e produtividade em cafeeiros. O experimento foi conduzido em campo, na Universidade Federal de Lavras - UFLA, no período de 2020 a 2021. A cultivar utilizada foi Mundo Novo, no espaçamento de 3,6x0,75 m. Os tratamentos em estudo foram dispostos em esquema fatorial 3x2x5, distribuídos em parcelas subdivididas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos, com três repetições. Foram avaliados três manejos de cobertura do solo (filme de polietileno, braquiária e solo exposto), dois tipos de fertilizantes (convencional e fertilizante de liberação controlada) e cinco condicionadores de solo (casca de café, gesso agrícola, polímero retentor de água, composto orgânico e testemunha). Foram avaliados o crescimento das plantas, umidade do solo, índices de clorofila, condutância estomática e atributos produtivos. Para análise dos dados, realizou-se análise de variância pelo teste F e comparação das médias pelo teste de Skott-knott. A utilização de braquiária com casca de café proporcionou maior crescimento do cafeeiro. De forma geral, o composto orgânico e a casca de café influenciaram a condução estomática. Os fertilizantes de liberação controlada promoveram maiores índices de clorofila. A maior produtividade foi obtida pelo uso de composto orgânico. O manejo com fertilizantes de liberação controlada, composto orgânico, casca de café e braquiária promoveram condições de eficiência do uso da água implicando diretamente no desenvolvimento e produtividade das plantas.

Palavras-chave: condicionadores de solo; cobertura do solo; fertilizantes; mudanças climáticas.

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas afetam frequentemente a produção de café no Brasil, interferindo no crescimento e no desenvolvimento ao longo dos estádios fenológicos, que são impactados pelo efeito da baixa disponibilidade de água no solo, reduzindo a produtividade da cultura (ASSAD et al., 2004; CAMARGO, 2010). Outros fatores climáticos podem reduzir a produtividade, como temperaturas adversas ocorridas durante as diferentes fases críticas da cultura (DaMATTA et al., 2007).

A radiação solar e umidade relativa influenciam também os processos fisiológicos da planta, mas normalmente não prejudicam a produtividade como as condições hídricas e térmicas que aumentam a pressão de pragas e doenças (LÄDERACH et al., 2017; CAMARGO, 2010). Nas regiões de altitudes maiores, a principal preocupação é o efeito da variabilidade da temperatura na colheita, incidências pragas e doenças e influência na fenologia, que podem, por consequência elevar os custos de produção decorrentes de irrigação (IPCC, 2022).

O cafeeiro, diante de várias condições adversas do clima, necessita de técnicas que possibilitem seu desenvolvimento. A adubação é um dos principais tratos culturais da cafeicultura, respondendo diretamente pela produtividade (OTTO et al., 2021). Assim, o nitrogênio é o macronutriente mais requerido pelas plantas, variando de 1 a 5% da constituição da matéria seca, integrando proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas, fitohormônios e metabólitos secundários (HAWKESFORD et al., 2012; PRADO, 2020).

As principais fontes de N disponíveis para as plantas são nas formas de nitrato e amônio (PRADO et al., 2020; FERNANDES et al. 2018). Entretanto, as fontes dos fertilizantes utilizados devem ser escolhidas com cautela, uma vez que podem impactar o ambiente (WESOLOWSKA et al., 2020). A ureia, pode sofrer perdas por volatilização de até 31,2%, enquanto nitrato de amônio de apenas 1% (DOMINGHETI et al.; 2016). Os gases de efeito estufa incluem dióxido de carbono, óxido nitroso e indiretamente amônia, que são liberados como consequência da aplicação de fertilizantes convencionais (CHAGAS et al., 2016; WESOLOWSKA et al., 2020). Por outro lado, os fertilizantes de eficiência aumentada são agronomicamente mais eficazes, podendo ser estabilizados, recobertos por enxofre elementar, ureia formaldeído ou revestidos com polímeros (GUELF, 2017; FREITAS et al., 2023).

Outra forma de manejo sustentável das lavouras cafeeiras é com a adoção de coberturas de solos, utilizando de plantas que produzam quantidade de biomassa suficiente

para cobrir o solo após a ceifa (PEDROSA et al., 2014; CHERUBIN, 2022). Dentre os benefícios com o uso de plantas de cobertura temos a supressão de plantas daninhas, infiltração de água no solo, descompactação, manutenção da temperatura do solo, retenção de umidade, reciclagem de nutrientes, aumento da matéria orgânica e atividades microbianas do solo (RONCHI; TERRA; SILVA, 2007; PEDROSA et al., 2014; SILVA et al., 2021; BAPTISTELLA et al., 2020; 2022; CHERUBIN, 2022). Entretanto, a utilização de materiais sintéticos como os filmes de polietileno também são opções por reduzirem a evaporação e melhorarem a eficiência do uso da água pelas plantas (KADER et al., 2017), auxiliando no crescimento do cafeeiro por maior disponibilidade hídrica (BARBOSA, 2015) durante maior período.

Além destas técnicas, pode-se utilizar condicionadores de solo, que promovem melhorias na estruturação do solo, retenção de umidade, melhoram o desenvolvimento do sistema radicular, além de atuarem na reciclagem de nutrientes, como é o caso da casca de café ou de compostos orgânicos. Esses condicionadores podem ser reaproveitados na própria propriedade, tornando a cafeicultura mais sustentável (VOLTOLINI et al., 2020; CASTANHEIRA et al., 2022). O manejo do cafeeiro com tratos culturais adequados auxilia na mitigação dos estresses hídricos decorrentes das mudanças climáticas observadas ao longo dos últimos anos. Desta forma, objetivou-se avaliar o emprego de técnicas agronômicas tradicionais e inovadoras no crescimento, na fisiologia e na produtividade em cafeeiros.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área experimental

O experimento foi alocado em uma área localizada no setor de cafeicultura da Universidade Federal de Lavras – UFLA, em Lavras – MG. O plantio foi realizado no dia 21 de janeiro de 2016 com mudas de café da cultivar “Mundo Novo IAC 379-19”, no espaçamento utilizado foi de 3,6 metros nas entre linhas de plantio e 0,75 metros entre as plantas na mesma linha. O clima da região seguindo a classificação de Koppen, é definido como Cwa, mesotérmico com verões amenos e estiagens de inverno (SÁ JÚNIOR et al., 2012). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013). As características químicas e físicas do solo avaliadas na camada de 0 a 20 cm e 20 a 40cm, antes da instalação do experimento, estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise química e física do solo em profundidade de 0-20 cm da área experimental nos anos de 2019 e 2021.

Ano	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	SB	(t)	(T)
	(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)	------(cmol _c dm ⁻³)-----							
2019 00-20	5,4	29,4	175,6	2,5	0,7	0,6	3,8	3,7	4,2	7,4
2019 20-40	5,3	21,7	150,2	2,22	0,6	0,7	5,31	3,2	3,9	8,5
2020 00-20	5,2	19,6	143,4	2,3	0,5	0,3	4,7	3,2	3,5	7,9
2021 00-20	5,3	54,8	234,4	3,13	0,5	0,8	4,62	4,3	5,1	8,9
2021 20-40	5,2	49,0	264,0	2,55	0,4	0,6	4,53	3,7	4,3	8,2
	V	m	M.O.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	(%)	(dag kg ⁻¹)	(mg L ¹)	------(mg dm ⁻³)-----						
2019 00-20	49,9	16,1	2,6	23,5	4,3	103	26,7	2,3	0,3	52,7
2019 20-40	43,9	21,0	2,0	-	-	-	-	-	-	69,6
2020 00-20	41,6	12,4	2,6	17,1	2,7	58,3	15,0	2,1	0,2	94,9
2021 00-20	46,8	21,9	2,73	21,5	4,3	74,5	20,7	2,2	0,3	78,4
2021 20-40	44,1	19,4	-	-	-	-	-	-	-	104,1
Classificação do solo	Argila			Silte			Areia			
	------(dag kg ⁻¹)-----									
Textura Argilosa	44			9			47			

Fonte: Do autor (2024).

Análise realizada no Laboratório de Análise de Solos da 3rlab. Granulometria – Método pipeta adaptado. Peneira Mesh (0,22 mm). pH em água, KCl e CaCl₂ - relação 1:2,5. Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol L⁻¹; P - K - Extrator Mehlich 1; SB = Soma de bases; t = capacidade efetiva de troca de cátions; T = capacidade de troca de cátions; índice de saturação por bases; m = índice de saturação de alumínio; Matéria orgânica (MO); P-Rem = Fósforo remanescente.

2.3 Descrição dos tratamentos

O experimento foi constituído por 30 tratamentos, caracterizados por três combinações de fatores: manejo de cobertura, fertilizantes e condicionadores de solo (Tabela 2).

Tabela 2 – Descrição dos tratamentos experimentais utilizados nos manejos de plantas daninhas, tipos de fertilizantes e condicionadores de solo aplicados na linha do cafeeiro.

Trat.	Cobertura do solo	Tipo de Fertilizante	Condicionador de solo
T1	Filme de Polietileno	Fertilizante convencional	Casca de café
T2			Gesso agrícola
T3			Polímero retentor de
T4			Composto orgânico
T5			Testemunha
T6		Liberção controlada	Casca de café
T7			Gesso agrícola
T8			Polímero retentor de
T9			Composto orgânico
T10			Testemunha
T11	Capim-Braquiária	Fertilizante convencional	Casca de café
T12			Gesso agrícola
T13			Polímero retentor de
T14			Composto orgânico
T15			Testemunha
T16		Liberção controlada	Casca de café
T17			Gesso agrícola
T18			Polímero retentor de
T19			Composto orgânico
T20			Testemunha
T21	Manejo convencional (tratamento controle com manejo de plantas espontâneas)	Fertilizante convencional	Casca de café
T22			Gesso agrícola
T23			Polímero retentor de
T24			Composto orgânico
T25			Testemunha
T26		Liberção controlada	Casca de café
T27			Gesso agrícola
T28			Polímero retentor de
T29			Composto orgânico
T30			Testemunha

Fonte: Do autor (2024).

2.3.1 Cobertura do solo

2.3.1.1 Manejo do mato com uso de filme de polietileno

O filme de polietileno, tem sua constituição a base de polietileno e aditivos especiais, destinado para a cobertura do solo e foi aplicado na linha de plantio do cafeeiro logo após o transplante das mudas para o campo. O filme plástico apresentou durabilidade de 36 meses até sua degradação parcial, quando foi retirado para reciclagem. As plantas daninhas da entrelinha da lavoura foram controladas sempre que apresentavam tamanho superior a 45 cm (SIQUEIRA et al., 2015).

2.3.1.2 Manejo do mato com uso de braquiária

A planta de cobertura utilizada como tratamento na entrelinha foi a braquiária (*Urochloa decumbens*), com a semeadura realizada no início do verão. A quantidade de sementes foi a mesma recomendada para a formação de pastagens (10,0 kg ha⁻¹ de sementes), considerando-se o valor cultural do lote de sementes. O semeio foi feito a lanço, em uma faixa de 2,60 m na entrelinha.

O manejo da braquiária foi realizado com roçadora mecanizada. No período chuvoso, a braquiária foi cortada na altura de aproximadamente 45 cm, a intervalos de 35 a 45 dias e, no início do período de seca, também foi roçada, visando à redução da concorrência com o cafeeiro, principalmente por água no solo (SIQUEIRA et al., 2015). Após a roçada era realizada a “amontoa” dos restos culturais da braquiária que havia sido roçada, na região da linha de plantio da lavoura. Na linha de plantio, o controle químico foi realizado com aplicações de herbicidas em pós-emergência, cletodim 0,8 L ha⁻¹, clorimuron 0,08 kg ha⁻¹ e glyphosato 3,0 L ha⁻¹ de acordo com intervalos do efeito residual dos herbicidas e com o crescimento das plantas daninhas (ALECRIM et al., 2022). Ao longo dos anos o tratamento foi reaplicado para manutenção da cobertura do solo.

2.3.1.3 Manejo do mato espontâneo (tratamento controle)

O manejo do mato convencional foi realizado de acordo com roçadas nas entrelinhas e capinas/herbicida pós-emergente na linha, mantendo livre de plantas daninhas, semelhante ao

manejo descrito anteriormente. A quantidade média de roçadas foram de quatro a cinco por safra.

2.3.2 Fertilizantes

2.3.2.1 Fertilizantes Convencionais

As aplicações dos fertilizantes convencionais foram realizadas seguindo as recomendações de Guimarães et al. (1999), com base na interpretação da análise de solo (Tabela 1) e carga pendente da lavoura. As adubações com nitrogênio e potássio foram realizadas em três parcelamentos, sendo em novembro, janeiro e março de cada ano. As fontes de fertilizantes utilizadas foram ureia e cloreto de potássio, aplicados em cobertura.

2.3.2.2 Fertilizantes de Liberação Controlada

Os fertilizantes de liberação controlada também foram aplicados conforme descrito por Guimarães et al. (1999). Os fertilizantes aplicados foram em parcela única, no mês de novembro, com dois formulados, 25-00-17 e outro 39-00-00, ajustados conforme a análise de solo (Tabela 1) e carga pendente da lavoura. Os fertilizantes utilizados foram blends de ureia revestida com enxofre + polímeros (70%) e ureia convencional + NBPT (30%), diferenciando-se o primeiro por apresentar camada de revestimento mais espessa do que o segundo (CHAGAS et al., 2016).

2.3.3 Condicionadores de solo

2.3.3.1 Casca de café

A aplicação da casca de café (resultado do beneficiamento de café processado por via úmida) foi feita sob a projeção da copa do cafeeiro na dose de 10 litros por planta, distribuída em uma faixa de 0,50 metro de cada lado das plantas. A casca de café estava estabilizada, apresentando densidade de 185 g L^{-1} . A composição nutricional da casca de café é detalhada no APÊNDICE A.

2.3.3.2 Gesso agrícola

A aplicação do gesso agrícola na área foi realizada em cobertura, logo após o plantio seguindo as recomendações de Guimarães et al. (1999). A dose aplicada foi de $0,30 \text{ kg m}^{-2}$ de gesso, distribuído em uma faixa de 0,50 metro de cada lado das plantas.

2.3.3.3 Polímero retentor de água

O polímero utilizado foi o Hydroplan-EB na dose $3,75 \text{ g L}^{-1}$ de água, com solução bem homogeneizada em tambor de 200 L, permanecendo em repouso por 30 aproximadamente minutos para a completa hidratação e viscosidade em forma de gel. Este polímero tem a capacidade de retenção de água até de 4.500% de seu peso, segundo descrição do fabricante. A solução de polímero + água foi aplicada na cova de plantio e, posteriormente, foi realizada a mistura com o solo das “covetas” onde as mudas foram transplantadas. A recomendação seguida foi de 1,5 L da solução de polímero por cova, conforme proposto por Pieve (2013).

2.3.3.4 Composto orgânico

Foi aplicado em cobertura, logo após o plantio, na dose de 10 litros por planta, sendo distribuído em uma faixa de 0,50 metro de cada lado das plantas da lavoura. O resíduo orgânico utilizado para compostagem foi cama de frango (de galinha poedeiras), descrito no APÊNDICE B. Todos os condicionadores utilizados nos tratamentos foram reaplicados em cada safra.

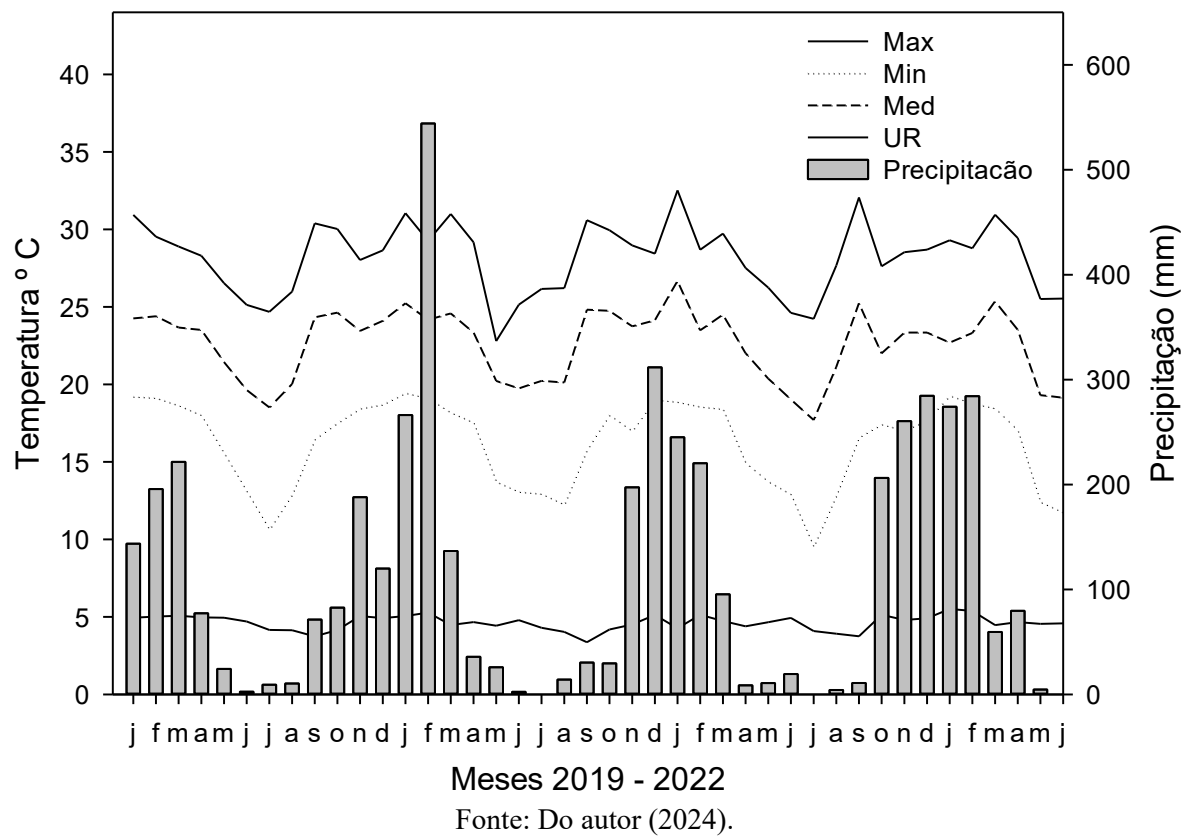
2.3.3.5 Testemunha

O tratamento testemunha não recebeu nenhuma técnica envolvendo os fatores de condicionadores de solo, sendo manejados apenas pelos fatores de controle de plantas daninhas e aplicações de dois tipos de fertilizantes.

2.4 Clima

O monitoramento dos dados meteorológicos foi realizado por meio de uma estação meteorológica automática, pertencente ao convênio UFLA/INMET, administrado pelo Núcleo de Extensão em Agrometeorologia, Climatologia e Meteorologia (NEACLIN), localizado no Campus da Universidade Federal de Lavras próximo ao local de condução do experimento (Figura 2).

Figura 2 – Dados das temperaturas médias, máximas, mínimas, umidade relativa do ar e precipitação do período de 2019 a 2020. Lavras – MG.



2.5 Avaliações

Avaliações realizadas dos atributos fisiológicos, de crescimento, propriedades físicas do solo, produtividade e análises estatísticas sobre a condução do experimento.

2.5.1 Características fisiológicas

2.5.1.1 Índices de clorofila

Os índices de clorofila “a” (CLA), “b” (CLB) e “total” (CLT), foram analisados com o ClorofiLOG, modelo CFL 1030 da Falker. O aparelho fornece os índices Falkers proporcionais à absorbância das clorofilas. As folhas avaliadas estavam totalmente expandidas, localizadas no terço médio das plantas, entre o 3º e 4º pares de folhas. Foram avaliadas quatro folhas por parcela.

2.5.1.2 Condutância estomática

A condutância estomática foi avaliada com utilização do porômetro (SC-1, Decagon Devices), por meio da determinação do fluxo de vapor real da folha através dos estômatos para o ambiente externo. As leituras foram realizadas em três plantas por parcela, em dias com boas condições climáticas para as leituras, em folhas completamente expandidas, localizadas entre o 3º a 4º pares de folhas no terço médio da planta, entre o período das 9:00 até 11:00 da manhã.

2.5.1.3 Potencial hídrico foliar – Bomba de Scholander

Foram monitorados os valores de potenciais hídricos foliares medidos em folhas funcionais, do terceiro ou quarto par de folhas, em uma planta útil de cada sub-subparcela. Para essa determinação utilizou-se uma câmara de pressão com operação de até 70 bar, com os devidos acessórios. Os dias para a coleta dos dados foram sem a ocorrência de chuvas. As medidas foram feitas entre três e cinco horas da manhã, antes do amanhecer “pre-dawn”.

2.5.2 Crescimento vegetativo

As avaliações das plantas foram realizadas da seguinte forma: altura de plantas: medida da base do ramo ortotrópico (superfície do solo) até a extremidade apical do mesmo ramo, utilizando-se de uma régua graduada; Diâmetro de caule: medido na região do colo da planta, aproximadamente a 5 cm do solo, com uso de um paquímetro digital; Diâmetro da copa: medido dois ramos plagiotrópicos opostos, na porção do terço inferior da copa, apresentando o maior comprimento, com uso de régua graduada.

2.5.3 Umidade do solo

A determinação de umidade do solo foi realizada pelo método padrão em estufa conforme NBR 6457 (ABNT, 1986) consistindo na amostragem de solo com trado na profundidade de 0-20 cm. A amostra de solo úmida foi pesada e em seguida seca em estufa, por 24 horas, a 105-110 °C, com posterior pesagem do solo seco, para cálculo da umidade.

2.5.4 Colheita do café e maturação

A colheita do café foi realizada quando os frutos atingiram estágio de maturação com o máximo de frutos cereja, por meio de derriça manual no pano e levado ao terreiro de secagem do Setor de Cafeicultura da UFLA, e foram secos até atingir entre 11 a 12% de umidade (b. u.). Posteriormente foram determinadas a renda (relação da quantidade de café beneficiado por café em coco, em porcentagem), o rendimento (litros de café da roça para produzir uma saca de 60 kg de café beneficiado) e a produtividade do cafeeiro (sacas de 60 kg por hectare).

A uniformidade da maturação dos frutos foi realizada com amostragens de 1 L de frutos retirados de cada parcela no momento da colheita, sendo classificados visualmente, em porcentagem, como verdes, verde-cana, cereja e passa/seco.

2.5.5 Classificação física do café

A classificação física dos grãos foi realizada com uso de peneiras de acordo com a forma e tamanho dos grãos, além da quantificação de defeitos dos grãos, segundo a Instrução normativa N° 08/2003.

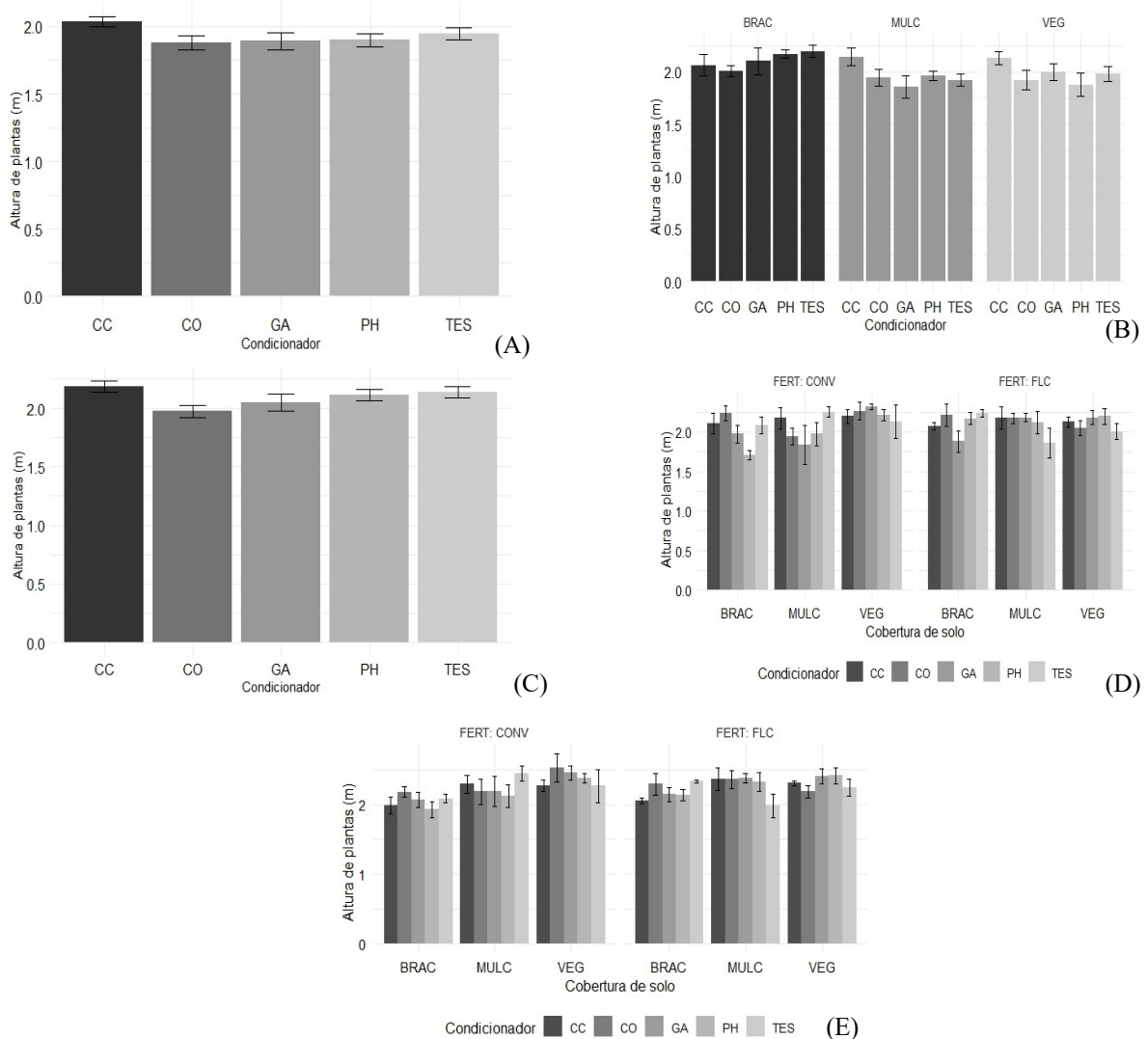
2.6 Análises estatísticas

Os resíduos dos dados coletados foram analisados quanto a homocedasticidade e normalidade pelos testes de Bartlett e Shapiro-Wilk, respectivamente. A análise de variância foi realizada pelo software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2023). As interações dos fatores, quando apresentaram valores significativos, tiveram suas médias desdobradas por meio do teste de médias Scott-knott.

3 RESULTADOS

As avaliações de altura de plantas apresentaram diferenças significativas, exceto para o mês de novembro de 2021. Observou-se que nos meses de março e novembro de 2020 houve diferenças significativas apenas para os condicionadores de solo com maiores médias para o uso de casca de café, sendo 6% superior aos demais tratamentos. Enquanto em julho de 2020 houve interação entre os efeitos das coberturas de solo e condicionadores, com a casca de café se destacando quando o solo era coberto com filme de polietileno ou no tratamento controle vegetação espontânea. Já quando se utilizou o manejo ecológico da braquiária não se observou diferenças significativas das plantas que não receberam condicionadores de solo.

Figura 3 – Altura dos cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, tipos de fertilizantes e condicionadores de solo em março (A), julho (B) e novembro (C) de 2020 e março (D) e julho (E) 2021.

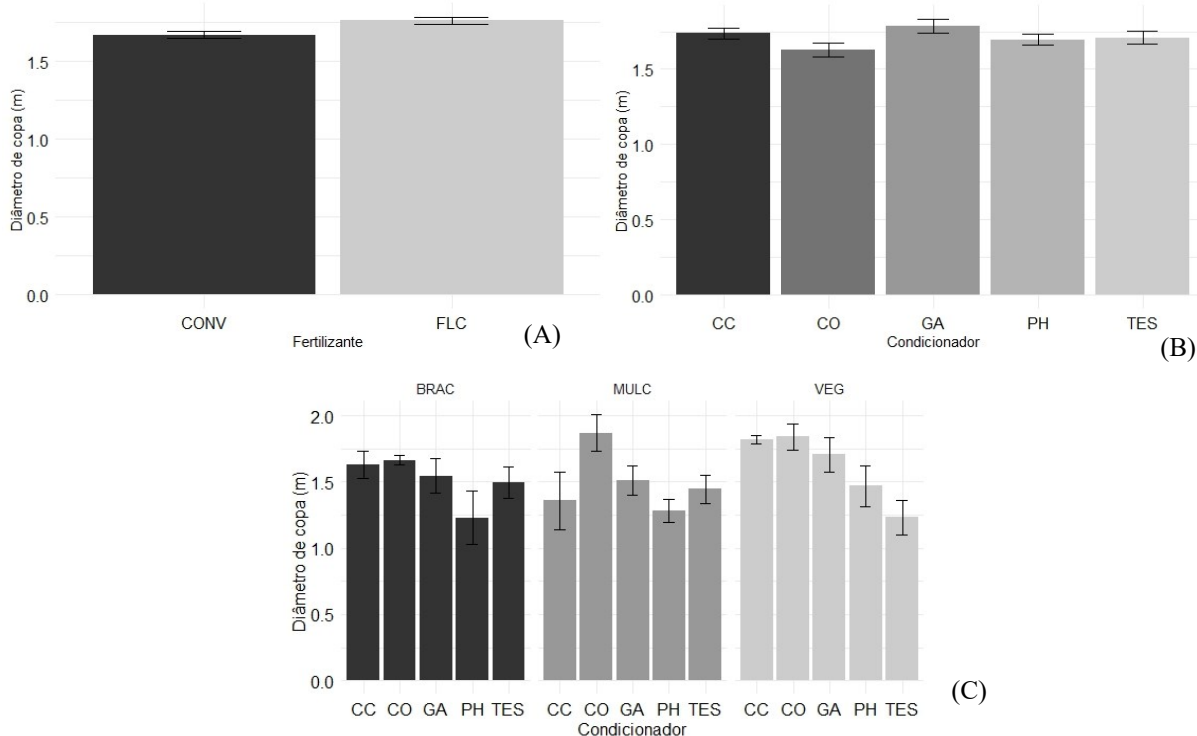


Fonte: Do autor (2024).

Em março e julho de 2021 a interação observada foi entre as coberturas de solo e tipo de fertilizantes, com destaque para os fertilizantes de liberação controlada promovendo maior crescimento dos cafeeiros, superando em 7,2% os fertilizantes convencionais (Figuras 3D e 3E), especialmente quando o solo tinha cobertura pelo manejo ecológico da braquiária ou com filme de polietileno. As plantas com cobertura de vegetação espontânea (tratamento controle) apresentaram maiores médias de crescimento, em alguns casos (condicionadores), embora este comportamento não tenha seguido uma tendência ao decorrer do ano.

O diâmetro da copa foi significativo para os meses de julho de 2020 e março e novembro de 2021. Em 2020 as plantas do tratamento com fertilizante de liberação controlada tiveram médias superiores em diâmetro da copa em relação as adubadas com fertilizante convencional (3,92%) (Figura 4 A). Em março de 2021 o gesso agrícola e a casca de café se destacaram dos demais condicionadores de solo pelo maior diâmetro do caule em cerca de 3,81% e 3,54%, respectivamente. Por fim, na avaliação realizada em novembro de 2021, observou-se interação entre o tipo de cobertura do solo e o condicionador utilizado. Nota-se que, quando se utilizou o filme de polietileno como cobertura do solo, combinado com o composto orgânico aplicado sob o mesmo, o diâmetro de copa das plantas foi significativamente superior aos demais (33% superior ao pior tratamento de mesma cobertura (Figura 4C). Com o solo coberto com “manejo ecológico da braquiária” ou mesmo no caso de manejo somente com plantas espontâneas (tratamento usual dos cafeicultores), os condicionadores “casca de café”, “composto orgânico” e “gesso agrícola” estiveram entre as melhores opções com plantas apresentando maiores diâmetros de copa.

Figura 4 – Diâmetro da copa de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores em julho (A) 2020 e março (B) e novembro (C) 2021.



Fonte: Do autor (2024).

Ao avaliar a condutância estomática das plantas de café sob os diferentes tratamentos, percebeu-se interação significativa entre os três fatores estudados, cobertura do solo, condicionadores de solo e os fertilizantes, exceto para novembro de 2020, em que a interação significativa foi entre a utilização de condicionadores de solo e os tipos de fertilizantes. Em março de 2020, comparativamente aos resultados obtidos em outras épocas de avaliação, as plantas com cobertura do solo por meio do manejo da vegetação espontânea (usual entre os cafeicultores) apresentaram as maiores médias de condutância estomática quando o tipo de fertilizante utilizado foi o convencional, superando as plantas com manejo ecológico da braquiária em 53,9% e as com o filme de polietileno em 41,6%. Já quando se utilizou o fertilizante de liberação controlada, as plantas que receberam composto orgânico ou polímero retentor de água também se destacaram (Figura 5 A).

Em julho de 2020 também foi constatada a interação tripla significativa, entre os fatores “tipos de fertilizantes”, “cobertura de solo” e “condicionadores”. Pode-se notar pela Figura 5B que, quando as plantas foram adubadas com fertilizante convencional as maiores médias de condutância estomática estiveram nas que receberam cobertura com “manejo ecológico da braquiária” ou ainda com “filme de polietileno”, já quando se adubava com

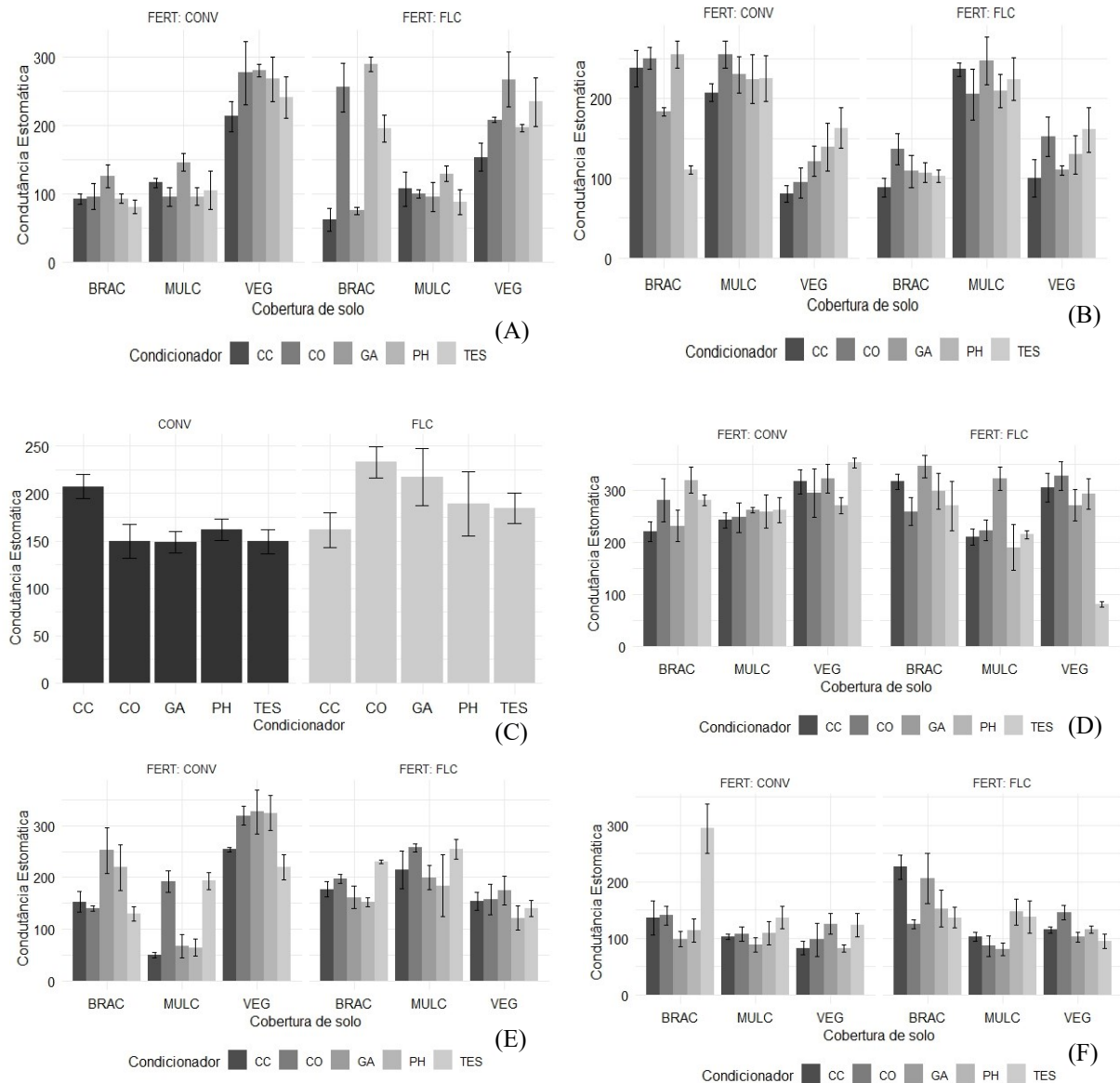
fertilizante de liberação controlada os condicionadores de solo foram mais eficientes quando aplicados sob o filme de polietileno. Percebe-se também que, com a vegetação espontânea como cobertura do solo, as menores médias de condutância estomática foram encontradas (44,7% inferiores do que o filme plástico associado ao composto orgânico) (Figura 5 B).

Na avaliação realizada em novembro de 2020 constatou-se interação significativa entre os tipos de fertilizantes e os condicionadores de solo. Nota-se a superioridade dos valores de condutância estomática das plantas que receberam a casca de café como condicionador, combinado com fertilizante convencional, em relação aos demais tratamentos com outros condicionadores. Já quando se utiliza o fertilizante de liberação controlada, percebe-se que o composto orgânico e o gesso agrícola superam a casca de café (Figura 5C).

Nas avaliações realizadas em março de 2021 percebe-se ainda a interação tripla significativa dos fatores em estudo. Importante observar que o tratamento atualmente mais usado pelos cafeicultores (manejo de vegetação espontânea e sem utilização de condicionadores de solo) ainda que com a utilização de fertilizante de liberação controlada foi o tratamento em que as plantas apresentaram menores valores de condutância estomática. Já a associação do manejo ecológico da braquiária, com gesso agrícola e fertilizante de liberação controlada foi 75% superior ao menor valor encontrado (Figura 5D).

Em julho de 2021 quando se manejava somente com a vegetação espontânea e fertilizante convencional, porém com utilização de composto orgânico, gesso agrícola ou ainda polímero retentor de água as plantas apresentavam maiores valores de condutância estomática em relação aos demais tratamentos propostos (Figura 5E). Já na avaliação de novembro de 2021 ficou destacada a superioridade dos valores de condutância estomática nas seguintes combinações: a) cobertura com manejo ecológico com braquiária sem uso de condicionadores e fertilizante convencional; b) cobertura com manejo ecológico com braquiária com casca de café ou gesso agrícola e fertilizante de liberação controlada (Figura 5F).

Figura 5 — Condutância estomática de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em março (A), julho (B) e novembro (C) 2020 e março (D), julho (E) e novembro (F) 2021.

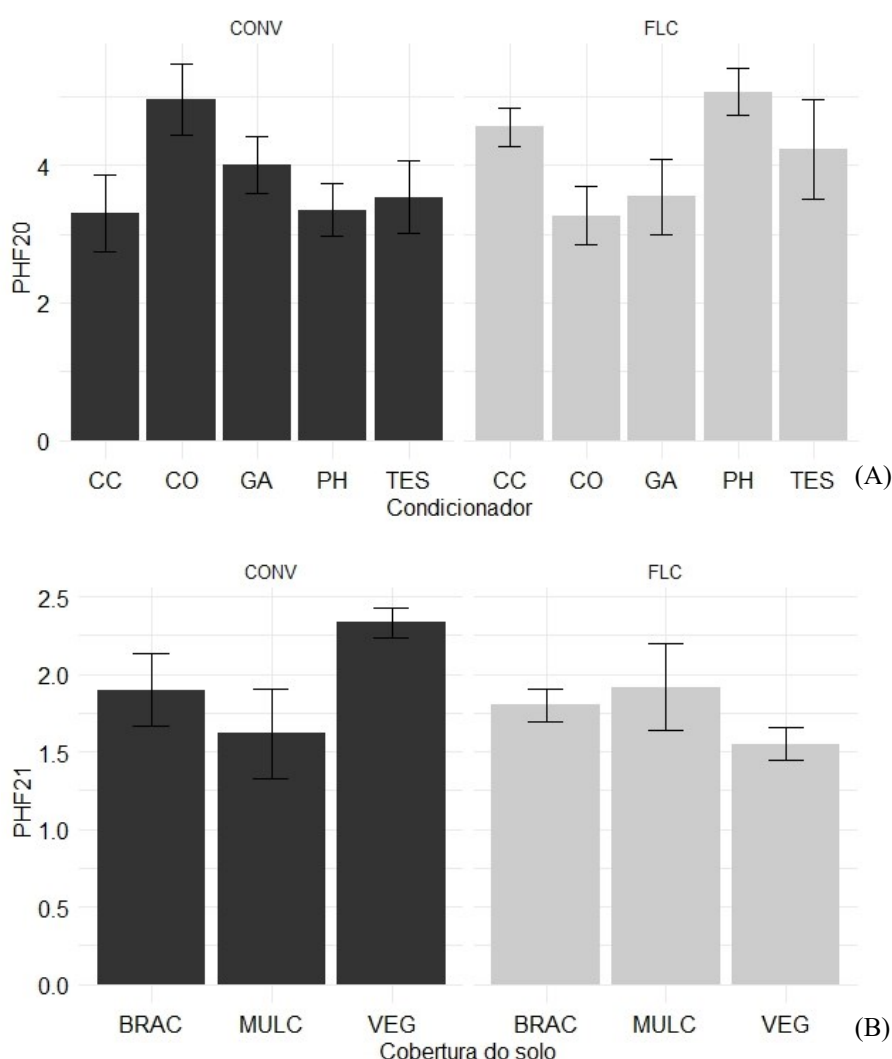


Fonte: Do autor (2024).

A umidade do solo não foi significativa ($p>0,05$) entre os diferentes tipos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo para os anos de 2020 e 2021. O potencial hídrico foliar apresentou menores médias na interação entre fertilizantes convencionais associados com composto orgânico. Já o tratamento em que se utilizou fertilizante de liberação controlada, porém sem nenhum condicionador de solo ficou entre os de mais altos valores de potencial hídrico foliar (Figura 6A).

Por outro lado, em 2021, observou-se interação significativa entre tipos de fertilizantes e tipos de cobertura de solo ($p<0,05$). Quando se utilizou fertilizantes convencionais, maiores valores de potencial hídrico foliar foram observados nas plantas manejadas com vegetação espontânea, ou seja, no manejo mais utilizado pelos cafeicultores. Já quando se utilizou fertilizantes de liberação controlada não se observou diferença ($p>0,05$) entre os tipos de cobertura do solo (Figura 6B).

Figura 6– Potencial hídrico foliar de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em 2020 (A) e 2021 (B).

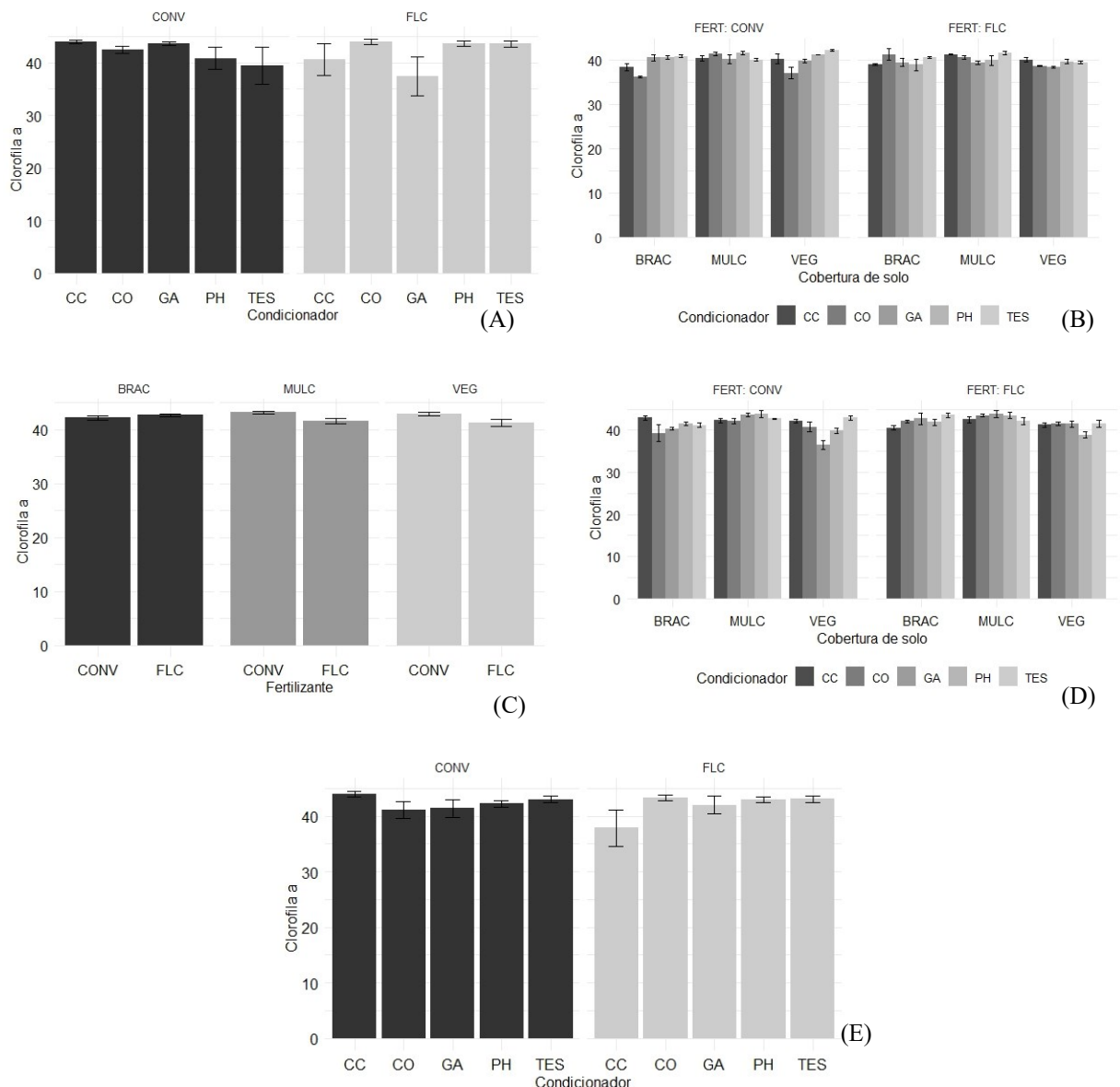


Fonte: Do autor (2024).

As avaliações fisiológicas foram significativas ($p>0,05$) para o índice de clorofilas a, b e total. Os fertilizantes convencionais promoveram maiores índices de clorofila A, posteriormente, sendo superados pelos fertilizantes de liberação lenta, por fornecerem nutrientes de forma gradativa. O filme de polietileno também se destacou com os maiores

índices de clorofila A entre as coberturas do solo, enquanto a casca de café foi a que apresentou o maior valor de clorofila a entre os condicionadores de solo (Figura 7). Embora os índices de clorofila apresentem diferenças significativas, esses resultados foram inconsistentes no decorrer dos meses de avaliação, podendo ter sofrido influência de fatores não controlados.

Figura 7 – Índice de clorofila a de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em março (A), julho (B), novembro (C) de 2020 e março (D) e julho (E) de 2021.

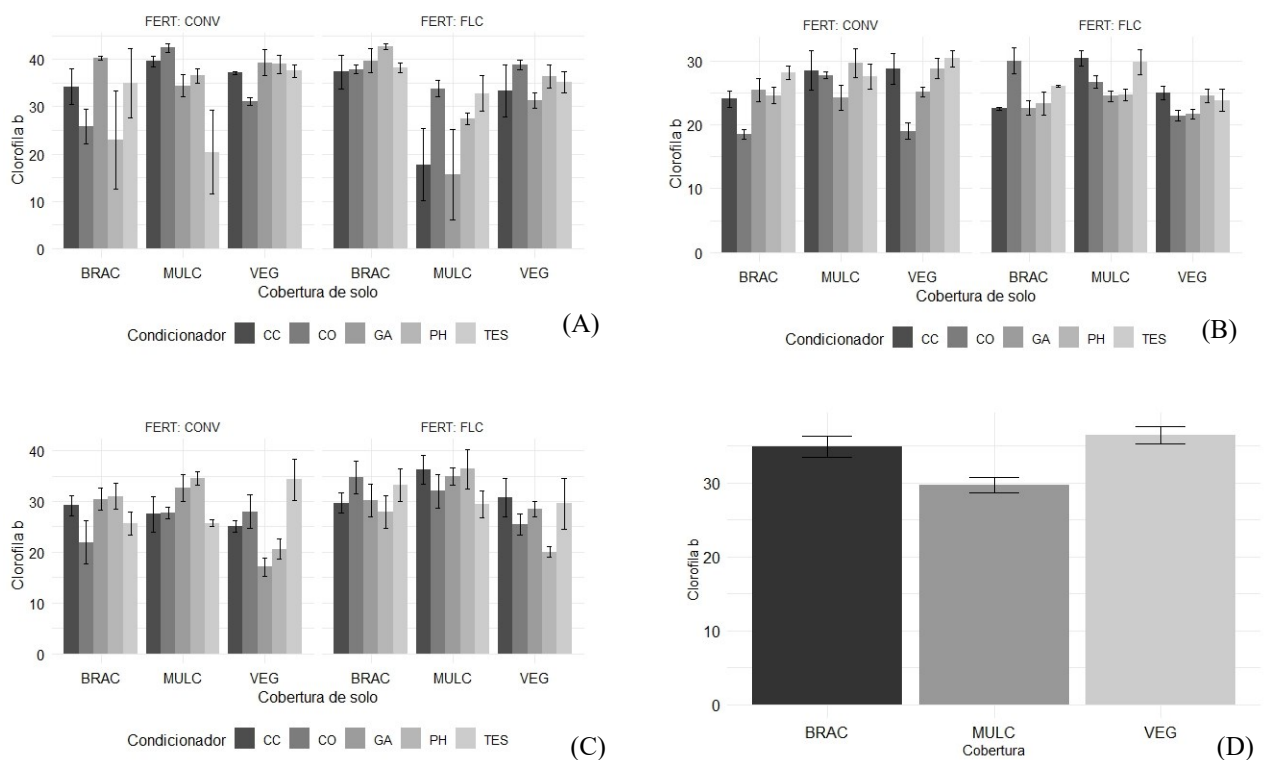


Fonte: Do autor (2024).

Os índices de clorofila B e Total tiveram resultados similares, não apresentaram médias significativas nos meses de julho de 2020 e março de 2021. As técnicas agrônômicas

combinadas de cobertura com braquiária e fertilizantes de liberação controlada tiveram maiores índices de clorofila B, já o menor índice foi observado com composto orgânico, sob cobertura de filme de polietileno com o condicionador gesso agrícola, em relação aos demais tratamentos no mês de março (Figura 8 A). Nas avaliações de novembro de 2021 notou-se que independente do fertilizante ou do condicionador utilizado, o manejo ecológico da braquiária esteve entre as maiores médias de clorofila b. (Figura 8D).

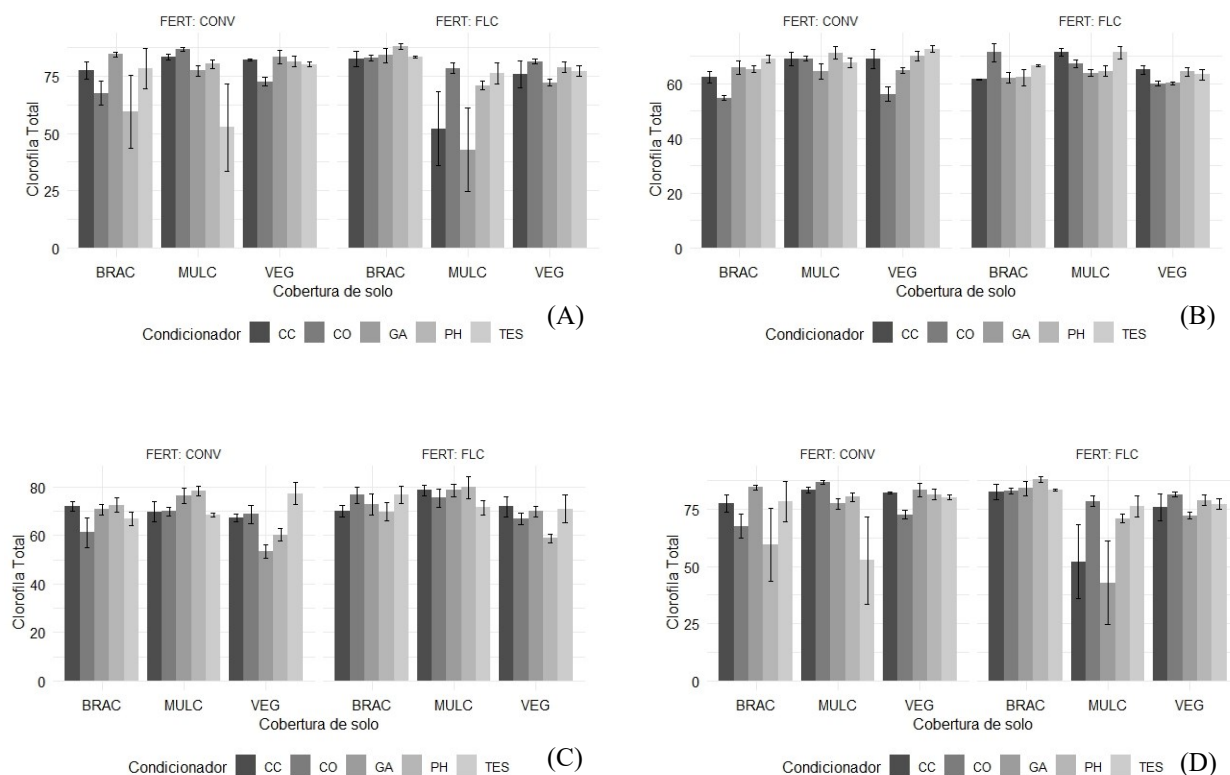
Figura 8 – Índice de clorofila B de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em março (A) e novembro (B) 2020 e julho (C) e novembro (D) de 2021.



Fonte: Do autor (2024).

Os índices de clorofila total, independentemente da época de avaliação, variaram ao longo dos períodos de avaliação com pequenas diferenças e com dados inconsistentes possivelmente detectados com influência de vários fatores ambientais não observados no presente trabalho (Figura 9).

Figura 9 – Índice de clorofila total de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em março (A) e novembro (B) 2020 e julho (C) e novembro (D) de 2021.



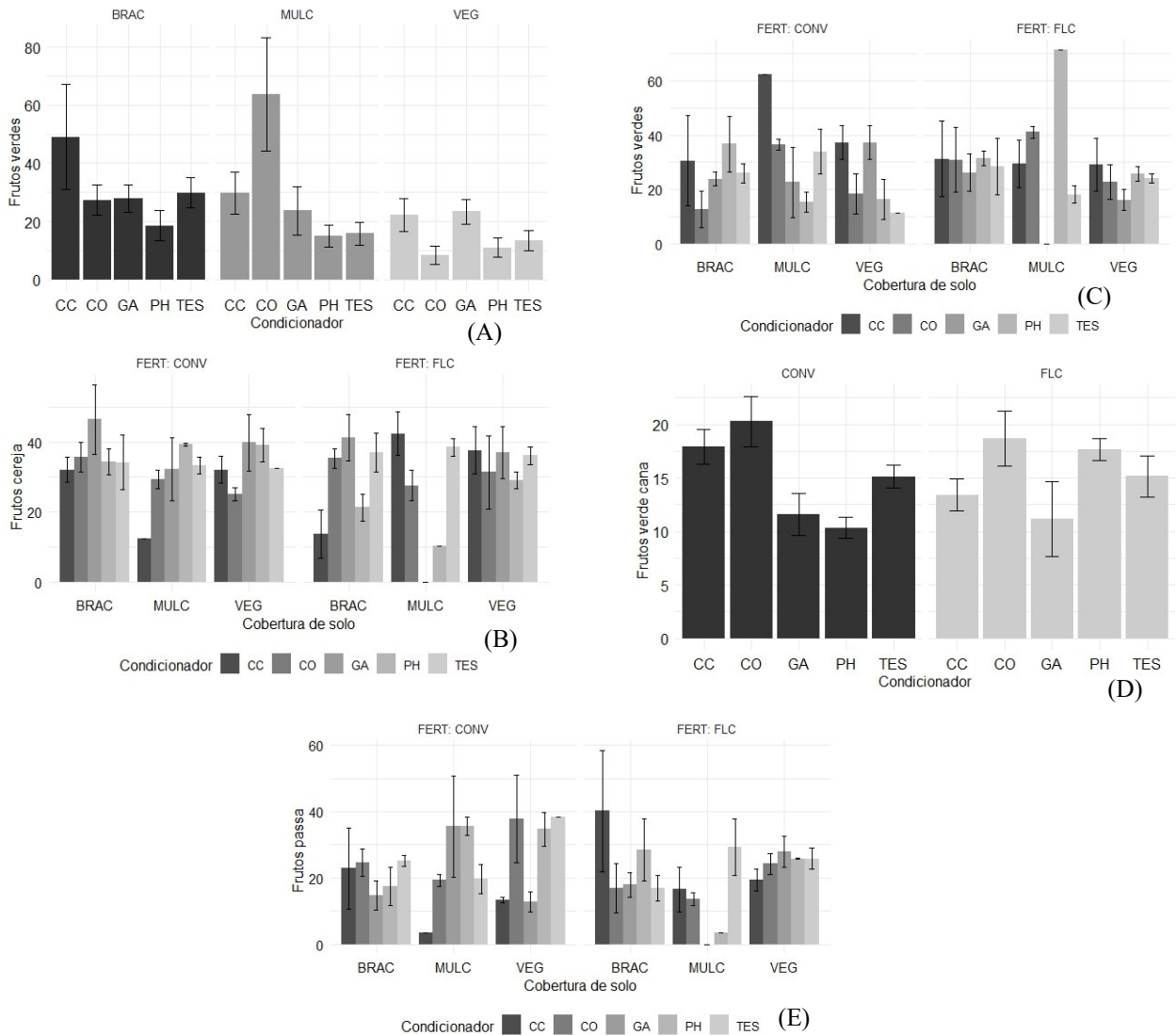
Fonte: Do autor (2024).

A utilização do filme de polietileno juntamente com o composto orgânico e a combinação do manejo da braquiária com casca de café proporcionaram as maiores porcentagens de cafês verdes, superior a 40% de frutos verdes (Figura 10).

A condução durante o ano de 2021 apresentou maiores porcentagens de frutos verdes quando se observou a associação dos fertilizantes com a cobertura do solo. Sobretudo, o uso de filme de polietileno com fertilizantes de liberação controlada + polímero retentor de água e fertilizantes convencionais+ casca de café promoveram maiores porcentagens desses frutos, indicando potencial retenção de folhas destes tratamentos (Figura 10). A combinação de fertilizantes convencionais com condicionadores casca de café e composto orgânico tiveram as maiores porcentagens de frutos verde-cana, seguidos pelo fertilizante de liberação controlada com o polímero retentor de água (Figura 10). A maturação dos frutos cerejas apresentaram interação tripla, com a combinação de fertilizantes convencionais, braquiária e gesso agrícola, ficando entre os tratamentos com maiores médias. Por outro lado, a associação entre a fertilizantes de liberação controlada, filme de polietileno e gesso agrícola tiveram as

menores médias de frutos cerejas. Os fertilizantes convencionais produziram mais frutos de cafés cerejas do que os fertilizantes de liberação controlada.

Figura 10 – Uniformidade da maturação dos frutos de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em 2020 (A e B) e 2021 (C, D e E).



Fonte: Do autor (2024).

O estágio de maturação passa/seco também apresentou interação tripla entre fatores em estudo. As plantas do tratamento com braquiária + gesso agrícola + fertilizantes convencionais tiveram comportamento de menor porcentagem de frutos passas em relação aos demais tratamentos, fato semelhante ao ocorrido na avaliação do percentual de frutos cereja. Da mesma forma, fertilizantes de liberação controlada, filme de polietileno e gesso agrícola tiveram as menores médias de frutos passa/secos, indicando que esses tratamentos promoveram maiores desfolhas. Em aspecto geral, o solo com vegetação espontânea

apresentou maiores médias para frutos passa/secos, enquanto o filme de polietileno os menores valores.

Na classificação física dos grãos produzidos nas plantas de cada tratamento observou-se diferenças significativas apenas para as peneiras 14 e o fundo para a safra de 2020. Os grãos produzidos nas plantas com o filme de polietileno, adubador com fertilizante convencional e sem uso de condicionadores de solo tiveram os menores grãos (peneira 14). Enquanto os tratamentos com fertilizante convencional + casca de café e fertilizantes de liberação controlada + testemunha tiveram mais grãos retidos na peneira fundo (Figura 11).

Na safra de 2021 todas as classes de peneiras avaliadas tiveram diferenças significativas. Os frutos produzidos nas plantas de manejo com vegetação espontânea foram menos retidos na peneira 18, ao passo que as plantas dos tratamentos com filme de polietileno associados aos fertilizantes convencionais produziram grãos maiores. O manejo com plantas espontâneas + fertilizantes convencionais e sem condicionadores foi o que apresentou maior retenção dos grãos na peneira 17. De maneira geral, o filme de polietileno respondeu por médias de peneiras 17+ acima de 30%, ponto importante para a comercialização de grãos de café (Figura 11).

Quanto aos grãos produzidos pelas plantas com filme de polietileno + fertilizantes de liberação controlada e testemunha tiveram a maior retenção de grãos na peneira 16. A maioria dos grãos foram retidos na peneira 15, aproximadamente 30%, com destaque para o fertilizante convencional juntamente com a braquiária e sem condicionador e a associação do fertilizante de liberação controlada, mais o solo exposto e o polímero retentor de água.

As maiores médias observadas com os grãos do tipo moca (peneiras 12, 11 e 10) foram com os tratamentos contendo filme de polietileno com o fertilizante convencional e polímero retentor de água, o filme de polietileno com fertilizante de liberação controlada e testemunha, superiores a 33% de mocas. A braquiária associada ao composto orgânico e fertilizante convencional, assim como o filme de polietileno, com fertilizantes de liberação controlada e casca de café apresentaram menores quantidade de cafés mocas, com médias inferiores a 24%.

Figura 11 – Classificação física dos grãos em cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em 2020 e 2021.

(Continua)

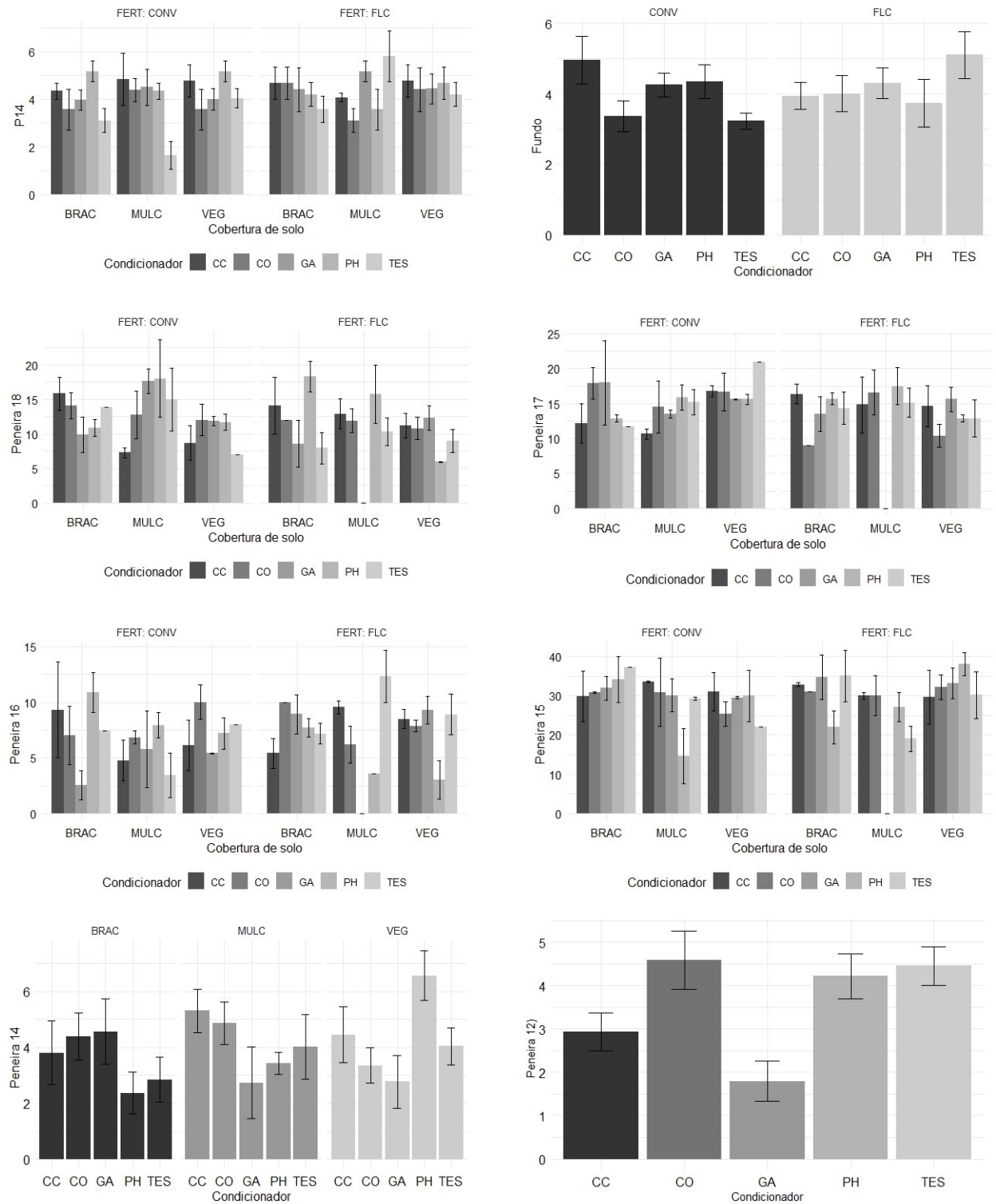
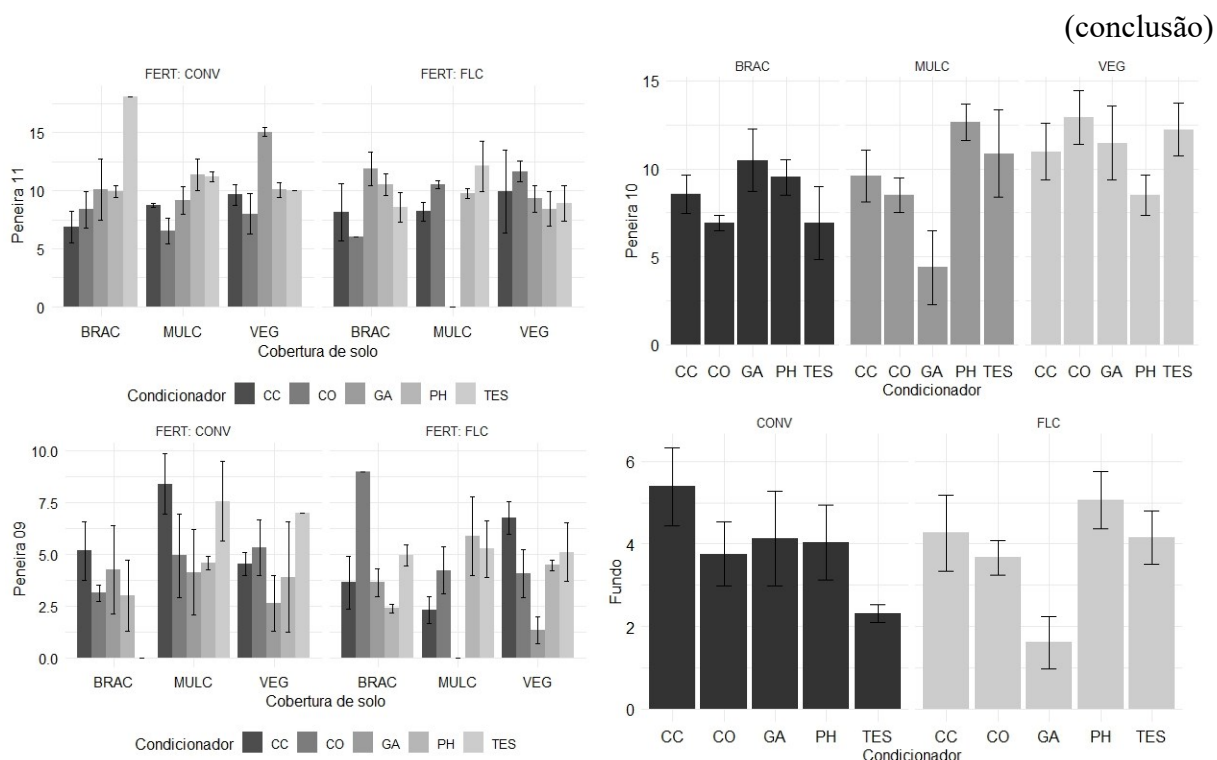


Figura 11 – Classificação física dos grãos em cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em 2020 e 2021.



Fonte: Do autor (2024).

A casca de café proporcionou grãos com as menores retenções na peneira fundo, quando comparado à testemunha sem condicionadores. Embora, a retenção de grãos na peneira fundo foi inferior a 5%, indicando poucas quebras de grãos durante o beneficiamento do café.

A produtividade na safra de 2020 foi significativa apenas para o fator condicionador de solo, com o composto orgânico com médias de produtividades acima de 50 sacas por hectare e superiores aos demais condicionadores. O polímero retentor de água respondeu pela pior produtividade na safra 2020, inferior a 18 sacas ha^{-1} , três vezes menos que o melhor manejo (resultado semelhante à testemunha sem condicionadores). Na safra em 2021 por sua vez, houve interação entre o tipo de cobertura e condicionador de solo, sendo que o manejo ecológico da braquiária sem condicionador de solo proporcionou maiores médias de produtividade, porém com valores próximos aos obtidos com os tratamentos braquiária + gesso agrícola e filme de polietileno + composto orgânico. As menores médias de produtividades foram observadas nas plantas com tratamento de manejo de vegetação espontânea. Observa-se aqui grande possibilidade de sucesso aos cafeicultores que optarem

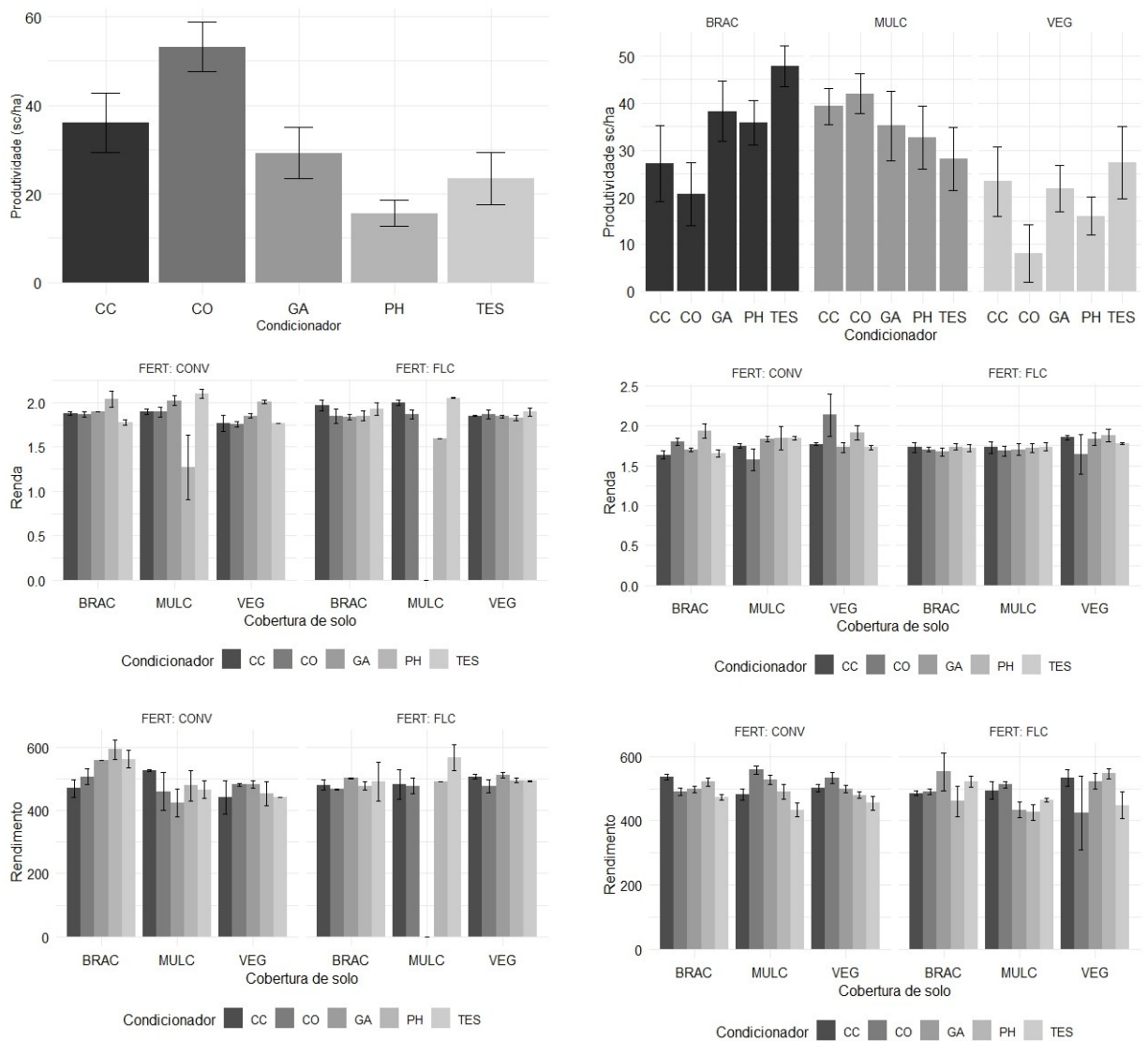
por alguns dos tratamentos propostos que se diferenciam do tradicional (manejo de vegetação espontânea). (Figura 12).

A renda do café na safra de 2020 apresentou interação tripla, com a combinação do filme de polietileno, com fertilizante convencional e a testemunha com as maiores médias e as piores com o filme de polietileno, fertilizantes de liberação controlada. Ressalta-se que a maioria das médias foram inferiores a uma relação de 2:1, bem interessantes para a cafeicultura. Já a safra 2021 as médias foram bem próximas, com disparidade do tratamento da vegetação espontânea juntamente com o composto orgânico (Figura 12).

A interação entre os fertilizantes convencionais, cobertura de braquiária e polímero retentor de água na safra 2020 apresentou rendimento próximo a 600 L de café maduro necessários para produção de uma saca beneficiada de 60 kg, sendo assim, o pior desempenho. O rendimento dos frutos do tratamento filme de polietileno, com fertilizante convencional e gesso agrícola foi melhor, necessitando de menor quantidade para produção de uma saca, porém, o grau de maturação dos frutos pode ter influenciado o resultado, uma vez que cafés secos tendem a apresentar menor rendimento do que cafés cerejas.

Na safra de 2021 o melhor rendimento foi do filme de polietileno, associado com o fertilizante convencional e o solo sem condicionadores, próximo a 400 L saca. O valor médio de rendimento no Brasil é em torno de 480 a 500 L saca, com a maioria dos frutos em estágio cereja (MATIELLO et al., 2020).

Figura 12 – Produtividade, renda e rendimento de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em 2020 e 2021.



Fonte: Do autor (2024).

4 DISCUSSÃO

A utilização de braquiária com casca de café respondeu ao maior crescimento do cafeeiro. A influência da braquiária associada a casca de café no crescimento também foi observada por Castanheira et al. (2022), além disso, técnicas como coberturas de solo como a braquiária e filme de polietileno, juntamente com fertilizantes de liberação controlada, gesso agrícola e casca de café otimizaram o uso da água, trazendo incrementos em crescimento e atenuar efeitos do déficit hídrico (CASTANHEIRA et al., 2022). Voltolini et al. (2022) relatam que esses mesmos tratamentos além de apresentarem melhores resultados biométricos, também responderam por maiores produtividades. A utilização de cobertura do solo com capim braquiária, assim como os condicionadores de solo casca de café e composto orgânico tiveram melhor desempenho agrônomo, umidade de solo é mitigação de déficit hídrico (VILELA et al., 2023).

Outros atributos que podem associar ao crescimento observados neste trabalho relacionam-se a atividade do sistema radicular consórcio de capim-braquiária com cafeeiro. Uma vez que melhorou a estrutura do solo, mensurada por uma melhoria da distribuição do tamanho dos poros e condutividade hidráulica, infiltrando água para o cafeeiro em maiores velocidades, em condições de profundidade semelhantes ao manejo com subsoladores em profundidades de 60 e 80 cm (SILVA et al., 2021). Estes autores relatam cautela na operação do sulcamento, pois este manejo causou compactação subsuperficial no limite de profundidade onde as hastes do subsolador penetrava no solo.

O sistema radicular da braquiária tem capacidade de exsudar ácidos orgânicos que podem aumentar a tolerância ao alumínio, promovendo ambientes para que bactérias benéficas absorvam mais P (BAPTISTELLA et al., 2021). Outro importante atributo da *Urochloa decumbens* é sua capacidade de mobilização e absorção de P em profundidade, sendo eficiente na reciclagem de P (BAPTISTELLA et al., 2022). Por exemplo, os exsudados da raiz de *Urochloa* podem reduzir as perdas de nitrogênio por desnitrificação e lixiviação através de um processo denominado inibição biológica da nitrificação; exsudados radiculares podem mobilizar fósforo recalcitrante dos solos e torná-lo disponível para absorção pelas plantas; as raízes profundas dessas gramíneas têm potencial para recuperar nutrientes que são virtualmente perdidos na zona radicular de outras culturas (PEDROSA et al., 2014; BAPTISTELLA et al., 2020).

O consórcio do capim-braquiária com o cafeeiro pode produzir até 5 T ha⁻¹ por ano reciclando 70 kg ha⁻¹ de N e 8 kg ha⁻¹ de K₂O (RAGASSI, et al., 2013). A mineralização da

matéria orgânica libera N inorgânico, uma das principais fonte de N para as plantas. Assim, o resíduo orgânico implica em maior ou menor acúmulo de matéria orgânica no solo, conforme sua quantidade e qualidade, assegurando reciclagem de nutrientes e sequestro de carbono (PEDROSA et al., 2014; BAPTISTELLA et al., 2022). O capim-braquiária ainda promove melhorias na qualidade do solo devido à ação direta de suas raízes sobre a estrutura do solo, aumentando a água prontamente disponível no solo em 18%, em decorrência da conversão de macroporos em microporos de baixa retenção (ROCHA et al., 2014).

Sistemas diversificados são mais resilientes às alterações climáticas e às tensões ambientais e melhoraram a saúde do solo, a ciclagem de nutrientes e a eficiência do uso de nutrientes (BAPTISTELLA et al., 2020). Em agroecossistemas tropicais, culturas de cobertura e culturas consorciadas são uma alternativa para uma cultura mais diversificada e produção sustentável (VOLTOLINI et al., 2022). *Urochloa* spp. são gramíneas perenes, conhecidos por sua alta produção de biomassa. Elas são comumente usadas como cobertura e culturas cultivadas em consórcio na agricultura de conservação nos trópicos e os resíduos deixados no campo após o corte protegem o solo e fornecem nutrientes para o próximo ciclo de cultivo ou consorciado cultura. As raízes das espécies *Urochloa* são vigorosas, abundantes e profundas, contribuindo para o sequestro de carbono, estabilização da matéria orgânica do solo e ciclagem de nutrientes (SERAFIM et al., 2013; MOSCARDINI, 2020; CASTANHEIRA et al., 2022).

Os exsudados da raiz de *Urochloa* podem reduzir as perdas de nitrogênio por desnitrificação e lixiviação por meio de um processo denominado inibição biológica da nitrificação (PEDROSA et al., 2013). Os exsudados radiculares podem mobilizar fósforo recalcitrante dos solos e torná-lo disponível para absorção pelas plantas; as raízes profundas dessas gramíneas têm potencial para recuperar nutrientes que são virtualmente perdidos na zona radicular de outras culturas (BAPTISTELLA et al., 2020; BAPTISTELLA et al., 2021). A introdução de *Urochloa* em agroecossistemas é indicada pelos aspectos relacionados com a contribuição para ganhos em matéria orgânica, cobertura do solo, manutenção de umidade de temperatura, tornando a agricultura mais segura e sustentável (MOSCARDINI, 2020; BAPTISTELLA et al., 2022).

O filme de polietileno promoveu maiores médias de diâmetro de copa, sobretudo no período de novembro de 2021. A manutenção de maiores teores de umidade do solo pode justificar o fato desse crescimento, também observados por Voltolini et al. 2022, que identificou efeito direto do filme de polietileno no crescimento de cafeeiros. A cobertura com o filme de polietileno teve durabilidade de aproximadamente 3 anos, período em que o

cafeeiro é mais sensível a competição por plantas daninhas. Em pesquisa realizada com o uso de cobertura com filme plástico associado a diferentes tipos de fertilizantes, Barbosa 2015 relatou que o filme de polietileno causou incrementos de crescimento no cafeeiro em altura e diâmetro do caule e aumento no número de folhas.

Por outro lado, as coberturas do solo com materiais sintéticos também podem promover incrementos em características físico-químicas desejáveis ao solo. Por exemplo, o filme de polietileno aumenta a retenção de água no solo, promovem ganhos na otimização do uso da água pelas plantas, redução da evaporação da água contida no solo (SONG et al., 2012; KADER et al., 2017; VILELA et al., 2023), apresentando maior eficácia nas fases iniciais da culturas (CASTANHEIRA et al., 2022).

O potencial hídrico foliar apresentou maiores médias na interação entre fertilizantes convencionais associados com composto orgânico, assim como usando o polímero retentor de água, indicando menores quantidade de água na folha durante o momento da avaliação. Por outro lado, o potencial hídrico foliar foi menor quando se utilizou o filme de polietileno + fertilizante convencional. De forma geral, o composto orgânico e a casca de café influenciaram a condução estomática. Figueiredo (2022) avaliando diferentes técnicas agrônomicas, observou que o filme de polietileno como cobertura do solo proporcionou aumento no crescimento em plantas de café, manutenção da umidade do solo nos períodos mais secos, maior retenção foliar, sobretudo, quando a técnica foi combinada com casca de café, composto orgânico e quitosana.

Os fertilizantes de liberação controlada foram mais eficazes dos que os fertilizantes convencionais. Esse fato pode ser relacionado com menores perdas desses nutrientes para o ambiente, além de liberá-los conforme demanda das plantas. Além disso, as fontes dos nutrientes são diretamente relacionadas ao gasto energético das plantas para sua assimilação (HAWKESFORD et al., 2012; BUCHER et al., 2018; PRADO, 2020). A exportação do N após a colheita em torno de 23 g kg de fruto, enquanto os teores de N encontrados nas plantas são na ordem de 31, 14 e 10 g kg⁻¹ de matéria seca da parte aérea, sistema radicular e caule do cafeeiro, respectivamente (SANTINATO e SANTINATO, 2019).

Entretanto, algumas fontes de nitrogênio são mais propensas a perdas, como relato em trabalho realizado por Sarkis et al. (2023), analisando ureia convencional, nitrato de amônio e ureia + NBPT determinou as emissões de N₂O. A ureia com UBPT e o nitrato de amônio mitigaram as emissões de N₂O em 50,6% e 78,5%, respectivamente, em comparação à ureia convencional. Além disso, este autor encontrou elevados estoques de C na camada de 1 m do

solo, de 117 a 162 t ha⁻¹ de C orgânico, indicando a importância do solo como sumidouro de C nas lavouras de café. A relação C:N do solo em toda a camada variou de 4,2 a 9,2.

A utilização de fontes de N mais sustentáveis, além de atenuarem as perdas por volatilização (DOMINGUETI et al. 2016), são determinantes para otimização de recursos na cafeicultura, sobretudo os gases geradores de efeito estufa. Sarkis et al. (2021) analisando o fluxo total de CO₂ na superfície do solo, com adubações de 450 kg ha⁻¹ de N, parcelados em três vezes, identificaram que as emissões de CO₂ da ureia com 2.819,5 kg ha⁻¹ enquanto o nitrato de amônio foram de 1.465,6 kg ha⁻¹. Chagas et al. (2019), estudando diferentes tecnologias de fertilizantes nitrogenados para plantas de café, identificaram índices de eficiência agrônômica com a aplicação do Polyblen Extend®, proporcionando maior acúmulo de N na folha e na planta inteira, elevando a eficiência agrônômica e a taxa fotossintética no cafeeiro (CHAGAS et al., 2019).

Chagas et al. (2016), avaliando diferentes blends de adubação, com doses de 450 kg ha⁻¹, parcelados em 1, 2 e 3 vezes, observaram que a perda acumulada total de N-NH₃ seguiu a ordem decrescente: Ureia > Polyblen Extend® - 100% dose > Polyblen Montanha® - 100% dose > Polyblen Extend® - 70% > Polyblen Montanha® - 70% > nitrato de amônio. Esta recomendação do Polyblen Montanha® permite reduzir em dois parcelamentos em relação as fontes convencionais como ureia e nitrato de amônio. As doses, mesmo reduzidas a 70% da dose recomendada não alteraram a produtividade do cafeeiro (CHAGAS et al., 2016).

Os condicionadores promoveram ganhos substanciais em sua adoção do manejo dos cafeeiros, relacionando-se tanto aos atributos do solo. A casca de café é um coproduto da própria produção da fazenda, agregando em atributos do solo como melhoria da estrutura das condições físicas, químicas e biológicas do solo. Além disso, a própria composição química da casca de café pode agregar na complementação da adubação das plantas. A casca de café além de um bom condicionador pode ser utilizada para a ciclagem de nutrientes, apresentando teores de macronutrientes na ordem de 2,96% de K, 0,28% de Ca, 0,11% de S e 0,09% de P em sua composição em relação a matéria seca (ANEXO A). A casca do café, como condicionador de solo, é uma eficiente fonte de potássio para a safra de café (VOLTOLINI et al., 2020). A casca de café pode reduzir a adubação mineral em 6 a 44% para o N, 8 a 54% para o P; 28 a 100% para o K e de 8 a 68% para o S como opções de adubos orgânicos (FERNANDES et al., 2013).

Vilela et al. (2023) relatam que a utilização de casca de café como condicionadores de solo foi responsável por maior retenção de água no solo, apresentando maior desempenho agrônômico. A casca de café teve menor impedimentos físico a penetração do sistema

radicular ao solo, possibilitando maior crescimento das plantas. Figueiredo (2022) avaliando cafeeiros submetidos a técnicas que promovem a otimização da água, observou que o potencial hídrico foi maior com interação entre os condicionadores de solo e os manejos de cobertura, sendo valores menos negativos de potencial hídrico foliar foram observados para a casca de café em todos os tipos de manejo de solo.

A casca de café apresenta mais de 55 moléculas, com as principais composições químicas de substâncias voláteis, conforme determinado pelo gás cromatografia-espectroscopia de massa, como hidroxibutilado (65,83%), com teor muito menor de ácido 1,2-benzenodicarboxílico (7,28%), álcool feniletílico e ácido octanóico (1,69% cada) e 2,3-isopropilideno-6-decoxihexo (1,63%). Componentes voláteis apresentaram potencial antibacteriano, antifúngico e antioxidante que são úteis no tratamento de doenças infecciosas (HOSEINI et al., 2021). Miranda (2018) analisando resíduos orgânicos como condicionadores de solo e fontes de N, observou que o índice de eficiência agrônômica do N foi inferior a 11%, porém os resíduos de casca de café promoveram melhoria na fertilidade do solo, aumento dos teores de matéria orgânica, CTC, K, saturação e soma de bases. A mineralização do N e C, variaram de 11% a 41% para N e de 55% a 81% para C no período avaliado de 126 dias.

Em estudo envolvendo restrições hídricas e diferentes condicionadores de solo, o uso da casca de café favoreceu maior altura de plantas e maior número de folhas, mesmo em condições de restrição hídrica a 40% da capacidade de campo (CASTANHEIRA et al., 2019). Resende et al. (2022) avaliando manejos com cobertura e condicionadores de solo no controle de cercóspera, observaram maiores valores de área abaixo da curva de progresso do número de folhas foram observados para os tratamentos controle e casca de café. As respostas relacionam ao melhor uso da água, por ter maior crescimento e enfolhamento das plantas, devido à umidade do solo e à absorção mais eficiente de nutrientes, além da redução de perdas de água por evaporação e temperatura do solo pela cobertura (CASTANHEIRA et al. 2022).

A vegetação espontânea e fertilizante convencional, porém com utilização de composto orgânico, gesso agrícola ou ainda polímero retentor de água as plantas apresentavam maiores valores de condutância estomática em relação aos demais tratamentos propostos. O Souza (2014), identificou efeito positivo do polímero retentor de água no crescimento de mudas de cafés, conduzidos em sistemas irrigados e sequeiro, relatando que a performance foi mais intensa quando as plantas estavam em níveis inferiores a 75% da capacidade de campo. Oliveira et al. (2015) avaliando plantio de mudas de café com polímero retentor de água, atribui efeito positivo do polímero somente nas mudas transplantadas em

março pode ser atribuído ao maior déficit hídrico sofrido nesse período. O polímero diminuiu a mortalidade das plantas no período mais crítico do ano (março) em 33%, embora na testemunha a chegasse a 73%, decorrentes pelos déficits hídricos pronunciados após o plantio com alto impacto nas lavouras de sequeiro.

Um trabalho analisando o efeito do polímero retentor de água com diferentes níveis de irrigação realizado por Resende et al. (2021), demonstraram que o polímero promoveu maior altura das plantas, diâmetro do caule e matéria seca do sistema radicular em relação a não adoção do polímero. As mudas de café também responderam morfológicamente e fisiologicamente ao polímero retentor de água, seguindo modelo quadrático conforme a elevação da irrigação para condutância estomática, transpiração das raízes e fotossíntese, com a inflexão da curva próxima a 75% do nível de irrigação. Castanheira et al. (2019) analisando diferentes técnicas agrônômicas com condicionadores de solo e fertilizantes de liberação controlada, observaram que a estimativa da espessura do parênquima paliçádico foi maior nas plantas cultivadas sob polímero retentor.

Os cafeeiros que receberam maiores volume de água pelo polímero, apresentaram maior número de vasos xilemáticos e maior diâmetro desses vasos, influenciando na espessura da nervura central. O aumento da nervura central pode estar relacionado com um maior fluxo de foto-assimilados e água na planta (OLIVEIRA et al., 2015). Com tudo, a translocação de mais água mantém a turgidez celular nas folhas, fato essencial para o correto metabolismo. A pressão de turgor é essencial para muitos processos fisiológicos, como a abertura estomática, expansão celular, transporte através do floema e processos de transporte nas membranas plasmáticas (TAIZ et al., 2017). A maior disponibilidade hídrica pelo polímero retentor de água associa-se a menores valores da relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (OLIVEIRA et al., 2014).

O gesso agrícola é um condicionador de solo que atua na melhoria da estrutura do solo, facilitando a penetração do sistema radicular, que por sua vez conseguem atingir maiores profundidades, em regiões de maior acúmulo de umidade, permitindo maior tolerância em condições de déficit hídrico (RAIJ, 2008; ZOCA e PENN, 2017). Como o gesso possui efeito floculante no solo, a sua aplicação promove a redução da dispersão da argila, com o aumento da permeabilidade do solo, favorecendo a melhoria das propriedades físicas (BRASIL et al., 2020).

SILVA et al. (2013) estudando a influência de doses de gesso agrícola na estabilidade de agregados e carbono orgânico verificou que as doses elevadas de gesso agrícola alteraram positivamente a agregação do solo na profundidade de 15 cm e que a dose de gesso de 7 t ha⁻¹

aumentou o carbono orgânico do solo. Embora, doses acima de 5 t ha⁻¹ podem lixiviar o K e Mg das camadas superficiais para camadas fora do alcance do sistema radicular (BRASIL et al., 2020). A aplicação de doses elevadas de gesso, os teores de Ca²⁺ e SO₄²⁻ se elevaram, enquanto apresentou reduções de Mg²⁺ e K⁺ nas camadas mais superficiais do solo. Dessa forma, o uso de doses elevadas de gesso pode desequilibrar as razões entre as bases de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, com consequente perda nutricional nas plantas (RAMOS et al., 2019).

Cogo et al. (2020) identificou que a utilização do gesso agrícola em cafeeiros promoveu mais abundância de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), principalmente *Gigaspora* sp. e *Glomus macrocarpum*. Porém, doses elevadas de gesso reduziram a diversidade de FMAs e a colonização micorrízica em camadas mais profundas, além de diminuir a produtividade do café. Os fungos arbusculares associam-se as raízes do cafeeiro, aumentando a superfície de contato e auxiliando na absorção de água e nutrientes (SMITH et al., 2011; FRANÇA et al., 2014).

Durante a troca iônica, o cálcio maiores quantidades na solução do solo, pela aplicação de gesso agrícola, desloca os íons de alumínio trivalente (Al³⁺) da superfície dos coloides para a solução do solo e os íons sulfato complexam o alumínio, reduzindo-o a AlSO₄⁺, apresentando menor atividade na solução do solo, consequentemente, menor toxidez para as plantas, efeitos de inibição do crescimento radicular e favorece o aprofundamento das raízes (ALVAREZ-VENEGAS, et al., 1999). Contudo, o gesso não atua na correção a acidez e nem diminui o Al³⁺ trocável do solo, porém, alterara a forma iônica do Al trivalente, que é mais tóxica, para uma forma menos tóxica (ZOCA e PENN, 2017; BRASIL et al., 2020).

Silva et al. (2015) avaliando a umidade do solo pelo tipo de manejo utilizado, recomendam que o uso de *Urochloa decumbens*, juntamente com o gesso agrícola modificaram a densidade aparente do solo, favorecendo a retenção de água no solo em relação ao manejo convencional. Essa associação ocorre graças a elevação dos teores de matéria orgânica e fertilização com fonte de Ca. Carducci et al. (2014) condiciona as doses crescentes de gesso (0, 7 e 28 t ha⁻¹) favoreceram o desenvolvimento de raízes finas eficientes na absorção de água e melhor distribuição espacial do sistema radicular. O maior número e volume de poros ocorre na região de 0,20–0,34 m camada estrutural, particularmente poros com diâmetro inferior a 2 mm.

O composto orgânico, além de ser um condicionador de solo com importantes características físico-químicas para estruturação do solo, promove incrementos na fertilidade do solo pela mineralização dos seus resíduos. Araújo et al., 2008 avaliando curva de dose resposta de adubação mineração com complementação com fertilização com composto

orgânico, apresentou aumento dos teores foliares de N, K e Mg, conforme as doses foram elevadas do composto, além do fornecimento de Mg, B e Cu promovidos pelo biofertilizante.

O manejo do cafeeiro com composto orgânico promove aumento da disponibilidade de fósforo no solo, além de elevar a saturação por bases (V%) (VOLTOLINI et al., 2020). Outros benefícios observados com doses crescentes de composto são relacionados com elevação do pH, P, K, Ca, Mg, V%, CTC efetiva e matéria orgânica, além da redução da acidez potencial (ARAÚJO et al., 2013). Entretanto, Castanheira et al. (2022) estudando diferentes técnicas agronômicas para otimização do uso da água, relatam que o composto orgânico favorece maior disponibilidade hídrica, porém, causou prejuízos no crescimento e nos parâmetros fisiológicos do cafeeiro devido ao desequilíbrio nutricional. Desta forma, a fonte do material orgânico é essencial para um composto orgânico que promova boa retenção de água e disponibilize nutrientes e que não cause fitotoxicidade as plantas pelo excesso de nutrientes.

A combinação do manejo de cobertura com o filme de polietileno e os condicionadores, sobretudo, o composto orgânico, favorável o aumento de folhas, crescimento do ramo plagiotrópico, condutância estomática nas plantas avaliadas, mantendo a umidade do solo no período mais seco (FIGUEIREDO, 2022). Os fertilizantes orgânicos e condicionadores aplicados no solo incrementam os teores matéria orgânica do solo e propriedades físico-químicas do solo, melhorando o ambiente para os microrganismos desempenharem atributos aplicados a qualidade do solo superficial (DAWID, 2018).

A maior produtividade foi obtida pelo uso de composto orgânico em 2020, porém em 2021 foi observada maior produtividade para o filme de polietileno. A alta produtividade do composto orgânico pode ter causado reduções de produtividade nesse tratamento pelo depauperamento, como observado em anos anteriores com o filme de polietileno (dados não apresentados). A utilização do filme de polietileno promoveu incremento de 16,9 sacas ha⁻¹ em relação a testemunha, além de atingir notas sensoriais superiores a 80 pontos SCAA (*Specialty Coffee Association of America*) e maturação mais precoce dos frutos (NASCIMENTO et al., 2020). Porém, Caixeta et al. 2022 não observaram incrementos na produtividade e qualidade de bebida em cafeeiros manejados com filme de polietileno, além de causar decréscimo do teor de clorofila em 14%. A cobertura do solo com filme plástico promoveu maior crescimento vegetativo e enfolhamento, diluindo a doença, apesar da alta incidência (LUZ, 2017).

As coberturas do solo que promoveram maior enfolhamento, destacaram-se entre os manejos produtivos. Além disso, a manutenção das folhas tem um fator positivo nas taxas fotossintéticas do cafeeiro (CASTANHEIRA et al., 2022). Além disso, a ausência de folhas

próximas aos frutos limita o desenvolvimento dos frutos, disponibilizando menores quantidade de açúcares totais. Dentre essas fontes de assimilados, quatro são potencialmente disponíveis para o crescimento do fruto: os fotoassimilados produzidos pelo próprio fruto, reservas de amido presente nos ramos, reservas foliares e a fotossíntese atual que ocorre durante o crescimento dos frutos (MOSCARDINI et al., 2020).

Embora vários efeitos tenham sido observados com os manejos, a sua interação acarretou, de forma acumulativa, crescimento das plantas, melhoria das relações hídricas solo e planta, além de ganhos em produtividade. Dessa maneira, a escolha de apenas um atributo pode não refletir o potencial uso como em suas associações, de toda forma, as interações entre a braquiária, o fertilizante de liberação controlada, casca de café e composto orgânico foram mais constantes no desenvolvimento do cafeeiro.

5 CONCLUSÃO

O emprego de técnicas sustentáveis como manejo com fertilizantes de liberação controlada, combinadas a técnicas tradicionais como utilização de composto orgânico, casca de café e cobertura com braquiária promoveram diretamente no desenvolvimento e produtividade das plantas.

REFERÊNCIAS

- ALECRIM, A. O.; CASTANHEIRA, D. T.; VOLTOLINI, G. B.; GUIMARÃES, R. J. **Manejo de plantas daninhas na cultura do café**. Ed. UFLA, Lavras-MG, 2022, 172 p.
- ALVAREZ,-VENEGAS, V. H. et al. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ-VENEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.
- ARAÚJO, J. B. S. et al. Composto orgânico e biofertilizante supermagro na nutrição do cafeeiro em formação: teores foliares. **Coffee Science**, v. 3, p. 115-123, 2008.
- ARAÚJO, J. B. S. et al. Nitrogen fertilization of coffee: organic compost and *Crotalaria juncea* L. **Rev. Ceres**, v. 60, n. 6, p. 842-851, 2013.
- ASSAD, E. D. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1057 – 1064, 2004.
- BARBOSA, S. M. **Condicionamento físico hídrico do solo como potencializador do crescimento inicial do cafeeiro**. 2015. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- BAPTISTELLA, J. L. C. et al. *Urochloa* in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 1-17, 2020.
- BAPTISTELLA, J. L. C. et al. Differential responses of three *Urochloa* species to low phosphorus availability. **Annals of Applied Biology**, v. 1, p. 1-115, 2021.
- BAPTISTELLA, J. L. C.; TELES, A. P. B.; FAVARIN, J. L.; PAVINATO, P. S.; MAZZAFERA, P. Phosphorus cycling by *Urochloa decumbens* intercropped with coffee. **Experimental Agriculture**, v. 58, n. 36, p. 1-16, 2022.
- BRASIL, E. C.; LIMA, E. V.; CRAVO, M. S. **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. In: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VIEGAS, I. de J. M. (Ed.). **Uso de gesso na agricultura**. 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa, 2020.
- BUCHER, C. P. C.; BUCHER, C. A.; SOUZA, S. R. **Absorção, transporte e redistribuição de formas orgânicas de nitrogênio em plantas**. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa-MG, SBCS, 2ª ed, 2018, 670p.
- CAIXETA, L. G.; ASSIS, G. A.; NASCIMENTO, L. G.; FERNANDES, M. I. S.; COTA, B. M. A.; SILVA, G. D.; NETO, R. S. Filme de polietileno de polietileno e fontes de adubo em cafeeiros: efeitos no teor de clorofila, produtividade e qualidade de bebida. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. 1-12, 2022.
- CAMARGO, M. B. P. Impacto da variabilidade e da mudança climática na produção de café arábica no Brasil. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 239-247, 2010.

- CARDUCCI, C. E. et al. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil & Tillage Research**, v. 145, p. 171–180, 2014.
- CASTANHEIRA, D. T. et al. Agronomic techniques for mitigating the effects of water restriction on coffee crops. **Coffee Science**, v. 14, p. 104-115, 2019.
- CASTANHEIRA, D. T.; GUIMARAES, R. J.; REZENDE, T. T.; CARVALHO, M. A. F.; KNUPPEL, C. A.; CARVALHO, R. C. S. Optimization of water use in “*Coffea arabica*” L. grown under different agronomic practices. **Australian Journal of Crop Science**, v. 16, n. 7, p. 870–878, 2022.
- CHAGAS, W. F. T. et al. Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlled-released urea in the coffee system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 5, p. 497-509, 2016.
- CHAGAS, W. F. T. et al. Nitrogen fertilizers technologies for coffee plants. **Coffee Science**, v. 14, n. 1, p. 55 - 66, 2019.
- CHERUBIN, M. R. et al. **Guia prático de plantas de cobertura: Aspectos fitotécnicos e impactos sobre a saúde do solo**. Piracicaba, ESAL-USP, 2022. 128p.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira - Café: quarto levantamento. Observatório Agrícola**, Brasília, v. 5, p. 1-49, dez. 2023.
- DAMATTA, F.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 485-510, 2007.
- DAWID, F. Organic Fertilizers Requirement of Coffee (*Coffea Arabica* L) Review. **International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences**, v. 4, n. 7, p. 11-18, 2018.
- FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa-MG, SBCS, 2ª ed, 2018, 670p.
- FERNANDES, A. L. T. et al. Redução da adubação mineral do cafeeiro arábica com a utilização de palha de café. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 324–336, 2013.
- FIGUEIREDO, O. J. **Cafeeiros recém implantados com diferentes técnicas agronômicas visando a otimização da água**. 2022. 68 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2022.
- FRANÇA, A. C. et al. Crescimento de mudas de cafeeiro inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Rev. Bras. Ciênc. Agrár.**, v. 9, n. 4, p. 506-511, 2014.
- FREITAS, T.; BARTELGA, L.; SANTOS, C.; DUTRA, M. P.; SARKIS, L. F.; GUIMARÃES, R. J.; DOMINGHETTI, A. D.; ZITO, P. C.; FERNANDES, T. J.; Technologies for fertilizers and management strategies of N-fertilization in coffee cropping systems to reduce ammonia losses by volatilization technologies for fertilizers and management strategies of N-fertilization in coffee cropping systems to reduce ammonia losses by volatilization. **Plants MDPI**, v. 11, p. 1 – 18, 2022.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Ed. UFV, 1999. p. 289-302.

HOSEINI, M. et al. Coffee by-products derived resources. A review. **Biomass and Bioenergy**, v. 168, p. 1-10, 2021.

KADER, M. A. Recent advances in filme de polietileno materials and methods for modifying soil environment. **Soil & Tillage Research**, v. 168, p. 155-166, 2017.

LÄDERACH, P.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; NAVARRO-RACINES, C. et al. Climate change adaptation of coffee production in space and time. **Climatic Change**, v. 141, p. 47–62, 2017.

LUZ, A. L. F. **Fertilizantes, coberturas e condicionadores de solo no controle da cercosporiose do cafeeiro**. 2017. 55 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federa de Lavras, Lavras, 2017.

HAWKESFORD M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; SKRUMSAGERMØLLER, J.; WHITE, J. **Functions of Macronutrients**. In: MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Oxford, Elsevier, 3 Ed. 2012. 1623 p.

MIRANDA, R. V. M. et al. **Resíduos da agroindústria do café como condicionadores de solo e fonte de nitrogênio para as plantas**. 2018. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical. Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas-SP, 2018.

MOSCARDINI, D. B. **Consórcio café-forrageira tropical: impactos indicadores de qualidade do solo**. 2020. 55 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP, 2020.

MOSCARDINI, D. B. et al. Total soluble sugars dynamics in coffee fruits under development. **Journal of Agricultural Science**, v. 12, n. 5, p. 94-100, 2020.

NASCIMENTO, L. G.; ASSIS, G. A.; FERNANDES, M. I. S.; PIRES, P. S.; CARVALHO, F. J.; ARAÚJO, N. O. Filme de polietileno na cafeicultura: efeitos na produtividade, maturação, formato dos grãos e qualidade de bebida. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-17, 2020.

OLIVEIRA, L. P. V. de; DOMINGHETTI, A. W.; GUIMARÃES, R. J.; REZENDE, T. T.; FERREIRA, M. M. Épocas de plantio e polímero retentor de água no crescimento inicial do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 507-515, 2015.

OLIVEIRA, N. K.; CASTRO, E. M.; GUIMARAES, R. J.; PIEVE, L. M.; BALIZA, D. P.; MACHADO, J. L.; FREITAS, T. Anatomia foliar de cafeeiros implantados com o uso de polímero retentor de água. **Coffee Science**, v. 9, p. 258-265, 2014.

OTTO, R.; CANTARELLA, H.; GUELFI, D.; CARVALHO, M. C. S. Nitrogênio na sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Informações Agronômicas (NPCT)**, v. 9, p. 30–50, 2021.

PEDROSA, A. W. et al. Resíduo de *Brachiaria* fertilizada com nitrogênio na adubação do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 9, n. 3, p. 366-373, 2014.

PIEVE, L. M. et al. Uso de polímero hidro retentor na implantação de lavouras cafeeiras. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 314-323, 2013.

PRADO, R. M. Nutrição de plantas. Editora UNESP: Jaboticabal, 2020, 418 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023.

RAGASSI et al., **Aspectos positivos e riscos no consórcio cafeeiro e braquiária**. Visão agrícola número 12, 2013.

RAIJ, V. B. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1988. 88 p. Gesso na agricultura. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. 233 p.

RAMOS, B. Z. Ionic speciation in a dystrophic red latosol under coffee crop and high doses of gypsum. **Coffee Science**, v. 14, n. 3, p. 281 - 290, 2019.

RESENDE, L. S. et al. Brown eye spot incidence during the vegetative stage of coffee grown in soil under sustainable management. **Pesq. agropec. bras.**, v.57, p. 1 - 11, 2022.

RESENDE, T. B. et al. Water retainer polymer in coffee plants deployment under different levels of irrigation. **Coffee Science**, v. 16, p. 1-8, 2021.

ROCHA, O. C. et al. Qualidade físico-hídrica de um Latossolo sob irrigação e braquiária em lavoura de café no Cerrado. **Coffee Science**, v.9, p.516-526, 2014.

RONCHI, C. P.; TERRA, A. A.; SILVA, A. A. Growth and nutrient concentration in coffee root system under weed species competition. **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 679-687, 2007.

SANTINATO, R.; SANTINATO, F. **Cultura do cafeeiro: composição química do cafeeiro, extração e exportação de nutrientes**. Funep: Jaboticabal, 2019, 301 p.

SARKIS, L. F. et al. Carbon dioxide flux of conventional and slow or controlled release nitrogen fertilizers in coffee crop. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 52, n. 22, p. 1-13, 2021.

SARKIS, L. F. et al. Nitrogen fertilizers technologies as a smart strategy to mitigate nitrous oxide emissions and preserve carbon and nitrogen soil stocks in a coffee crop system. **Atmospheric Environment**, v. 20, p. 1-11, 2023.

SILVA, E. A. et al. Increasing doses of agricultural gypsum, aggregate stability and organic carbon in Cerrado latosol under coffee crop. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 1, p. 25-32, 2013.

SILVA, B. M. et al. Critical soil moisture range for a coffee crop in an oxidic latosol as affected by soil management. **Soil & Tillage Research**, v. 154, p. 103–113, 2015.

SILVA, R. F.; SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; BARBOSA, S. M.; PEIXOTO, D. S.; TASSINARI, D.; SILVA, B. M.; SILVA, S. H. G.; DIAS JÚNIOR, M. S.; FIGUEIREDO, T. D. F. R. Changes in soil profile hydraulic properties and porosity as affected by deep tillage soil preparation and Brachiaria grass intercropping in a recent coffee plantation on a naturally dense Inceptisol. **Soil and Tillage Research**, v. 213, p. 105127, 2021.

SMITH, S. E., JAKOBSEN, I., GRØNLUND, M. AND SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: Interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. **Plant Physiology**, v. 156, n. 3, p. 1050-1057, 2011.

SONG, Q. H. et al. Effect of various filme de polietileno durations with plastic film on soil microbial quantity and plant nutrients of spring wheat field in semi-arid Loes Plateau of China. **Acta Ecologica Sinica**, v. 22, p. 2127-2132, 2012.

SOUZA, A. J. J. **Polímero hidro retentor no crescimento inicial de cafeeiros irrigados**. 2014. 107 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SIQUEIRA, R. H. S.; FERREIRA, M. M.; ALCÂNTARA, E. N.; CARVALHO, R.; C. S. Atributos químicos de um latossolo submetido a diferentes controles de plantas invasoras em cafeeiros. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 138-148, 2015.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed, 6ª ed., 2017, 888 p.

VILELA, M. S. et al. Behavior of coffee plants under different cropping systems with a focus on mitigating water scarcity. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 21, p. 1-20, 2023.

VOLTOLINI, G. B. et al. Techniques for sustainable coffee crop management: impacts on growth and yield. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 69, n. 12, p. 1- 2022.

VOLTOLINI, G. B. et al. Soil chemical attributes in coffee growing with different agronomic techniques. **Coffee Science**, v. 15, p. 1-11, 2020.

WESOŁOWSKA, M.; RYMARCZYK, J.; GÓRA, R.; BARANOWSKI, P.; SŁAWIŃSKI, C.; KLIMCZYK, M.; SUPRYN, G.; SCHIMMELPFENNIG, L. New slow-release fertilizers – economic, legal and practical aspects: a Review.

ZOCA, S. M.; PENN, C. An important tool with no instruction manual: a review of gypsum use in agriculture. **Advances in Agronomy**, v. 144, p. 1-44, 2017.

CAPÍTULO 3 – QUALIDADE QUÍMICA E SENSORIAL DE CAFEEIROS CONDUZIDOS COM DIFERENTES TÉCNICAS DE MANEJO

RESUMO

As mudanças climáticas têm afetado a cafeicultura nos últimos anos, influenciando no crescimento e produtividade das plantas e qualidade de bebida. objetivou-se avaliar técnicas agronômicas para cultivo de café e seus efeitos na qualidade de bebida de cafés. O experimento foi conduzido em campo, na Universidade Federal de Lavras - UFLA, no período de 2020 a 2021. Os fatores em estudo foram dispostos em esquema fatorial 3x2x5, distribuídos em parcelas subdivididas, descritos anteriormente (capítulo 2). Foram avaliados a qualidade de bebida por meio de notas sensoriais e análises químicas com açúcares totais, polifenóis, lixiviação de potássio, condutividade elétrica, proteína e lipídeos. Os dados foram submetidos a análises de componentes principais (PCA) para agrupamentos de atributos similares. A cobertura do solo com filme de polietileno e braquiária agruparam em características de atributos sensoriais com corpo, acidez e doçura. A casca de café e o composto orgânico agruparam com tendências de maiores índices de atividade da enzima polifenoloxidade, polifenóis e diminuição na lixiviação de potássio. Os fertilizantes de liberação controlada promovem maiores notas sensoriais na produção de cafés especiais. Os manejos que promoveram ganhos nutricionais que promovem nutrição mais adequada e manutenção da disponibilidade hídrica influenciam na qualidade de bebida.

Palavras-chave: bebida; cafés especiais; composição química; manejo sustentável.

1 INTRODUÇÃO

O café é a segunda bebida mais consumida no mundo, ficando atrás apenas da água. A forma de consumo da bebida é variada conforme cultura, costume e tradições. O consumo de cafés especiais, classificados com notas acima de 80 pontos conforme a escala SCA vem crescendo mundialmente. Vários fatores influenciam na qualidade da bebida como o material genético (CHENG et al., 2016; FASSIO et al., 2019), e os ambientes com altitudes superiores a 1000 m que apresentam menores temperaturas e promovem maturação mais lenta dos frutos com consequente, maior acúmulo de açúcares nos frutos (FIGUEIREDO et al., 2018; FERREIRA et al., 2022).

Outros fatores que podem ser controlados no manejo envolvem tratamentos culturais como a irrigação (FERREIRA et al., 2021) e manejo de cercosporiose nos frutos (SILVA et al., 2019; RESENDE et al., 2022). Também a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) causa danos diretos aos frutos, ocasionando perdas de massa, além do fato de que os grãos perfurados são considerados defeitos. Indiretamente podemos citar que esses danos podem ser por de entrada para doenças fúngicas, evoluindo para fermentações indesejáveis (CARVALHO et al., 2021); tempo de colheita e pós-colheita (BORÉM et al., 2008).

A nutrição afeta a qualidade dos grãos, podendo correlacionar-se com compostos fenólicos nas plantas, açúcares totais, além de aumentar a acidez, impactando diretamente na qualidade (MALTA; NOGUEIRA; GUIMARÃES, 2003). A maioria das pesquisas relacionadas ao N analisam efeitos na produtividade que esse nutriente exerce sobre o cafeeiro (CHAGAS et al., 2016), com poucas referências a influência da adubação nitrogenada na qualidade da bebida. Essa adubação afeta a maturação dos frutos do cafeeiro, com os frutos verdes produzindo bebida de qualidade inferior (MALTA; NOGUEIRA; GUIMARÃES, 2003; DOMINGHETTI et al., 2016).

Mesmo se todo o manejo for realizado de forma adequada, a colheita é um importante fator na qualidade. Alguns efeitos na qualidade são influenciados pelo estágio de maturação dos frutos, assim como o ponto adequado dos frutos no estágio cereja, acumulando maiores teores de açúcares nos frutos é importante, embora a homogeneidade neste estágio seja um desafio. A relação das análises bioquímicas dos grãos de café e as análises sensoriais são informações complementares que auxiliam na minimização dos efeitos subjetivos das técnicas mais tradicionais (PIMENTA; ANGELICO; CHALFOUN, 2018). A complexidade química do café influencia a avaliação sensorial da bebida, principal método utilizado para definir a qualidade do café (AGNOLETTI et al., 2022).

Contudo, mudanças climáticas têm afetado a cafeicultura nos últimos anos, influenciando em crescimento, desenvolvimento, produtividade e qualidade de bebida. Para contornar as condições impostas pelo clima, técnicas agronômicas vêm sendo utilizadas para atenuar esses impactos no cafeeiro (CASTANHEITA et al., 2022; RESENDE et al., 2022; VOLTOLINI et al., 2022; VILELA et al., 2023). Todavia, esses manejos carecem de informações sobre o que pode influenciar na qualidade de bebida, visto a complexidade da produção de cafés especiais, com notas sensoriais elevadas.

Objetivou-se avaliar a qualidade de bebida em cafeeiros submetidos utilização a técnicas agronômicas empregadas para efeitos adversos do clima.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

O local da condução do experimento, caracterização da lavoura, condições edafoclimáticas foram detalhadas anteriormente no segundo capítulo, assim como a composição de cada tratamento. A seguir, são descritas as análises bioquímicas e sensoriais realizadas no Laboratório da EPAMIG Sul de Minas.

2.2 Características avaliadas

As análises químicas para a avaliação da composição química e qualidade do café foram realizadas no Laboratório de Qualidade do Café “Dr. Alcides Carvalho”, da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG, em Lavras-MG.

2.2.1 Preparação das amostras

Durante a colheita foram separados lotes de 5 L de cafés maduros no estágio cereja em cada parcela e levados ao terreiro para secagem em peneiras de madeira com o fundo de telas de “nylon” com 250 mesh. A secagem foi realizada inicialmente “grão a grão”, 12 L. m⁻², e após aproximadamente três dias foi dobrada a camada de cafés, depois finalmente dobrada novamente após cinco dias, até atingir umidade próximo a 11,5%. O café foi armazenado em câmara fria a 18° C por 30 dias e depois beneficiados, sendo separadas amostras de 200 g para análises bioquímicas e 300 g para análises sensoriais.

2.2.2 Análises sensorial

As análises sensoriais foram realizadas nos anos agrícolas de 2019/2020 a 2021/2022 por três provadores qualificados e com notas calibradas de acordo com critérios da Associação de Cafés Especiais (SCA). Foram separadas amostras de 300 gramas de cafés de “bica corrida” e enviadas para a empresa responsável pelas avaliações sensoriais. Os grãos de café foram submetidos ao processo de torra e moagem pelo protocolo da SCA (LINGLE, 2011). Esse método é atribuído notas de 0 a 10 pontos aos seguintes atributos: fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos, doçura, acidez, sabor, corpo,

finalização, equilíbrio e impressão global. Os grãos que atingir 80 pontos ou acima recebem classificação de cafés especiais (Tabela 1).

Tabela 1 – Escala de classificação para análise sensorial de cafés, conforme protocolo da Specialty Coffee Association (SCA).

Pontuação	Descrição Especial	Classificação Specialty
90 – 100	Exemplar	Specialty Rate
85 - 89,99	Excelente	Specialty Origin
80 - 84,99	Muito bom	Specialty
< 80	Abaixo do grau Specialty	Below Specialty

Fonte: Lingle (2001).

2.2.3 Análises químicas de qualidade

Análises das propriedades químicas dos grãos de cafés, para determinação de parâmetros de qualidade de bebida.

2.2.3.1 Determinação da composição química dos grãos de café

As análises químicas foram realizadas na EPAMIG Regional Sul, por meio da moagem dos grãos de café crus em moinho analítico Ika modelo A11 Basic, adicionando-se nitrogênio líquido na amostra para facilitar o processo da moagem e evitando a sua oxidação. A composição dos grãos de cafés crus foi avaliada quanto aos teores de proteínas, lipídeos, açúcares totais, polifenóis e sacarose. Todas as análises foram realizadas em duplicatas e expressas em $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ (b. s), relacionados diretamente a qualidade de bebida do café (CHENG et al., 2016).

2.2.3.2 Análise de proteína

A análise de proteína bruta foi determinada pelo método Kjeldahl, utilizando alíquota de 0,5 g da amostra em tubo para a digestão. A mesma massa foi utilizada para a determinação de lipídeos totais pelo método Soxhlet.

2.2.3.3 Teor de umidade do grão

A determinação do teor de umidade dos grãos verdes de café foi realizada em duplicada, com porções de 10 g, pelo método de estufa, a 105 ± 1 °C, por $16 \pm 0,5$ horas, conforme o método padrão internacional da ISO 6.673 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1999). Os resultados foram expressos em porcentagem em base úmida (% b.u.).

2.2.3.4 Teor de lipídeos

As avaliações dos teores foram realizadas com amostras de 3 g de grãos de cafés moídas e adicionadas em erlenmeyrs de 125 mL. Posteriormente foram adicionados 10 mL de clorofórmio (CHCl_3), 20 mL de metanol (CH_3OH) e 8 mL de água destilada. Os erlenmeyrs foram agitados em incubadora com agitação orbital de 200 rpm por 30 minutos. Posteriormente, foi adicionado uma solução de NaSO_4 a 1,5% em 100 mL de água destilada, 10 mL de clorofórmio (CHCl_3) e 20 mL de metanol (CH_3OH). Essa solução foi transferida para tubo digestor e agitado por dois minutos. A fase contendo os lipídeos foi filtrada e transferida 5 mL para placas de petri e secas em chapa aquecedora. Assim, os lipídeos (Extrato etéreo (%)) foram obtidos por extração a frio, de acordo com método de Bligh e Dyer (1959).

2.2.3.5 Açúcares totais

Foi utilizado o protocolo do método Antrona, descrito por Dische, 1962, com grãos de cafés selecionados da peneira 16 acima, ausentes de defeitos, moídas em moinho do tipo, na presença de nitrogênio líquido e antioxidante, as análises foram realizadas em duplicata. A reação de antrona se baseia na ação hidrolítica e desidratante do ácido sulfúrico concentrado sobre os carboidratos. Quando a reação é levada a efeito com carboidratos com ligações glicosídicas, estas são hidrolisadas e os açúcares simples desidratados para furfural ou hidroximetilfurfural. Essas substâncias se condensam com a antrona (9,10-dihidro-9-oxoantraceno) dando um produto de coloração azul petróleo. Os açúcares totais foram quantificados por espectrofotometria a um comprimento de onda de 620 nm, utilizando uma curva padrão de frutose (100 mg/mL) de intervalo 0 - 100 mg.

2.2.3.6 Enzima polifenoloxidase (PFO)

Para a determinação da atividade da enzima polifenoloxidase foi realizada uma adaptação do método de Carvalho et al. (1994). As amostras dos grãos utilizados eram de 5 g, separados na peneira 16 acima e sem defeitos, previamente moídas e em presença de nitrogênio líquido, aos quais foram adicionados 40 mL da solução tampão de fosfato de potássio 0,1M, pH 6,0. Em seguida, submeteu-se a amostra a um agitador magnético por 5 minutos. Todo o material utilizado foi mantido gelado em tubos de ensaio. Após a agitação, foi feita a filtração em filtro a vácuo, utilizando-se papel Whatman nº 1. A polifenoloxidase foi determinada utilizando-se o extrato da amostra sem o DOPA (L-3,4-dihydroxyphenylalanina) como branco.

2.2.3.7 Teste de condutividade elétrica

A condutividade elétrica dos grãos de café foi determinada adaptando-se a metodologia proposta por Krzyzanowski, França Neto e Henning (1991). Foram utilizadas duas repetições (duplicata) de 50 grãos de cada uma das três repetições de cada tratamento de secagem, os quais foram descascados mecanicamente, pesados com precisão de 0,001 g e imersos em 75 mL de água destilada no interior de copos plásticos de 180 mL de capacidade. Em seguida, os grãos foram mantidos em câmara do tipo B.O.D, sob temperatura constante de 25 °C, por cinco horas, procedendo-se à leitura da condutividade elétrica da solução de embebição em aparelho BEL W12D, expressando-se o resultado em $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ de grãos. O café foi anteriormente selecionado, peneira 16 acima e sem defeitos.

2.2.3.8 Lixiviação de potássio

A determinação da lixiviação de íons de potássio foi realizada em grãos de cafés verdes, por metodologia desenvolvida por Prete (1992), obtidas de amostras em duplicatas. Após a leitura da condutividade elétrica, a solução de embebição foi submetida à determinação da quantidade de potássio lixiviada. Utilizou-se de fotômetro de chama Digimed NK-2002 para leitura e posteriormente cálculo da lixiviação de potássio, expressa em ppm.

2.2.3.9 Determinação de cinzas

As amostras foram previamente carbonizadas seguindo-se método gravimétrico, com aquecimento a 550° C, por meio de mufla e, posteriormente, pesados em balança analítica (AOAC, 1990).

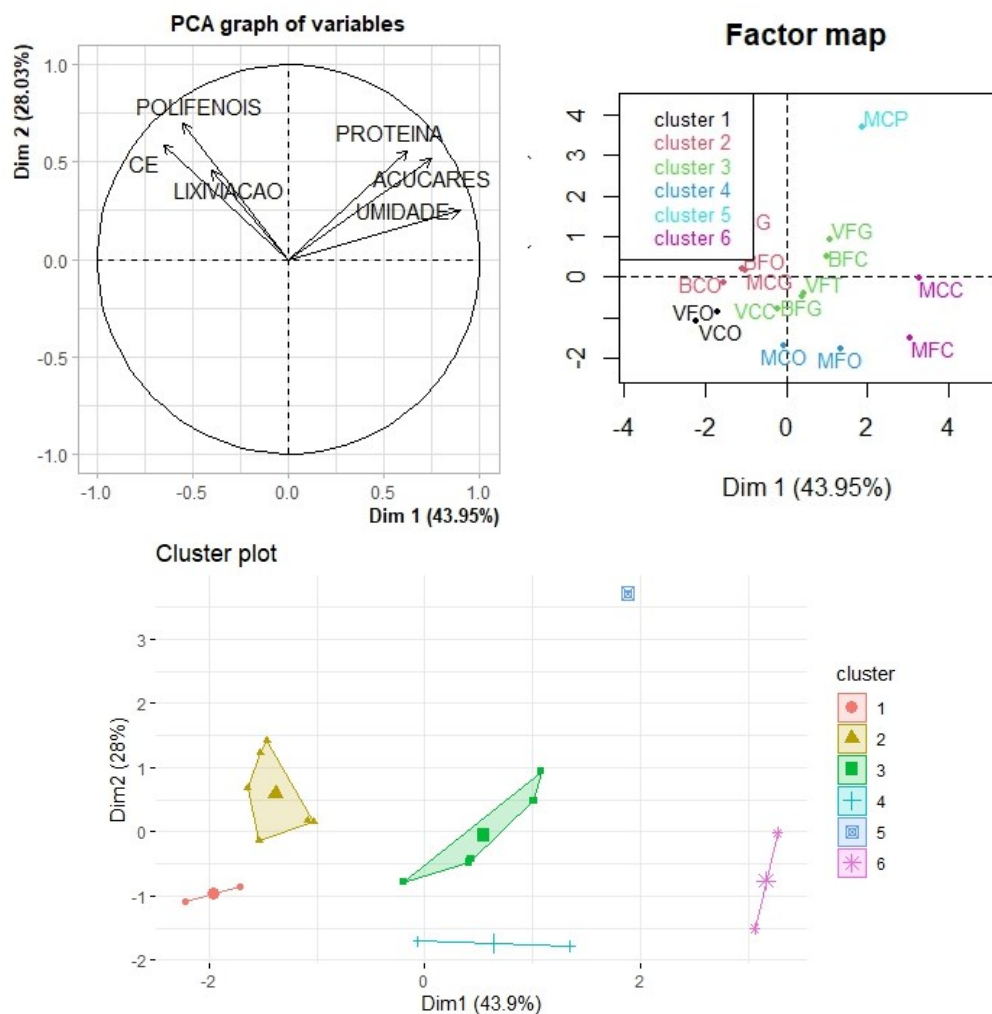
2.3 Análise estatística

Os resíduos dos dados foram submetidos a pressuposições para avaliar requisitos paramétricos quanto a normalidade pelo teste Shapiro-Wilk e homocedasticidade pelo teste Bartlett. Posteriormente, foi realizada a análise de variância dos dados pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade, seguido pelo teste de comparação de médias Skott-Knott, quando pertinente. As amostras de qualidade química e sensoriais foram determinadas com o teste de Análise de Componente Principais (PCA). As interpretações dos resultados foram realizadas conforme os fatores em estudo se correlacionavam. As análises estatísticas foram realizadas por meio do software R-Studio.

3 RESULTADOS

Nas análises de componentes principais em relação aos diferentes manejos de coberturas do solo, fertilizantes e condicionadores de solo é possível observar a descrição dos tratamentos quanto às características das análises bioquímicas de qualidade nas safras de 2019, 2020 e 2021. De acordo com a análise de componentes principais, identificou-se agrupamentos dos tratamentos de acordo com a paridade entre eles, essa análise foi realizada para as características das análises bioquímicas de qualidade na safra de 2019 (Figura 1).

Figura 1 – Análise dos componentes principais de análises bioquímicas em grãos de cafés submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2019.



Fonte: Do autor (2024).

Por meio dos gráficos de componentes principais observa-se a distribuição dos tratamentos em relação as características de qualidade bioquímicas dos grãos de café. De

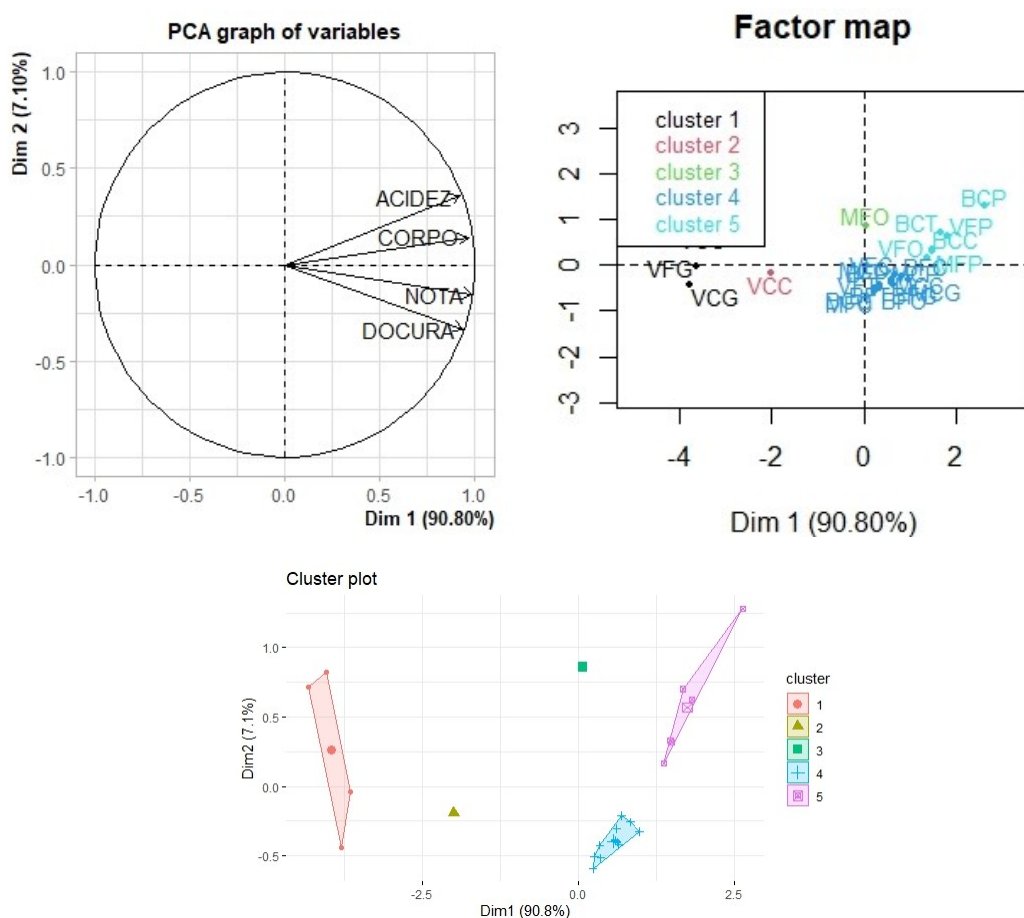
acordo com a PCA (Figura 1), observou-se o agrupamento dos tratamentos em seis grupos distintos, para as características das análises bioquímicas de qualidade na safra de 2019, sendo que os dois primeiros componentes principais explicaram 71,9% da variabilidade total dos dados. O primeiro vetor (componente principal um – Dim1) explicou 43,9% da variabilidade total. O segundo vetor (componente principal dois – Dim2) explicou 28,0% da variabilidade total dos dados.

Entre os 6 grupos formados, apenas dois apresentaram proximidade às características analisadas. O grupo 2 (com os tratamentos compostos pela vegetação espontânea associados aos demais fatores, ficaram próximos das características polifenóis, condutividade elétrica e lixiviação do potássio. Já o grupo 3 (tratamentos com fertilizante de liberação controlada em comum) e o grupo 5, com apenas 1 tratamento (filme de polietileno e polímero retentor de água), apresentaram maior proximidade com as variáveis proteínas, açúcares totais e umidade estando no quadrante oposto às variáveis polifenóis, lixiviação de potássio e condutividade elétrica.

Na PCA em relação às características sensoriais da safra 2019, os dois primeiros componentes principais explicaram 97,9% da variabilidade total dos dados (Figura 2). O primeiro vetor (componente principal um – Dim1) explicou 90,80% da variabilidade total. O segundo vetor (componente principal dois – Dim2) explicou 7,10% da variabilidade total dos dados (Figura 2). Foi observado a formação de 5 grupos em relação as características sensoriais dos cafés na safra de 2019.

Os grupos 1 e 2 (Caracterizados pelos tratamentos com a vegetação espontânea como cobertura do solo) foram agrupados nos quadrantes opostos as características sensoriais, enquanto os grupos 3, 4 e 5 (Tratamentos com a cobertura com filme de polietileno e braquiária e composto orgânico como condicionador) ficaram localizados próximos as características sensoriais, com destaque para o grupo 5 com maior proximidade das características corpo e acidez.

Figura 2 – Análise dos componentes principais de análises sensoriais em grãos de cafés submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2019.



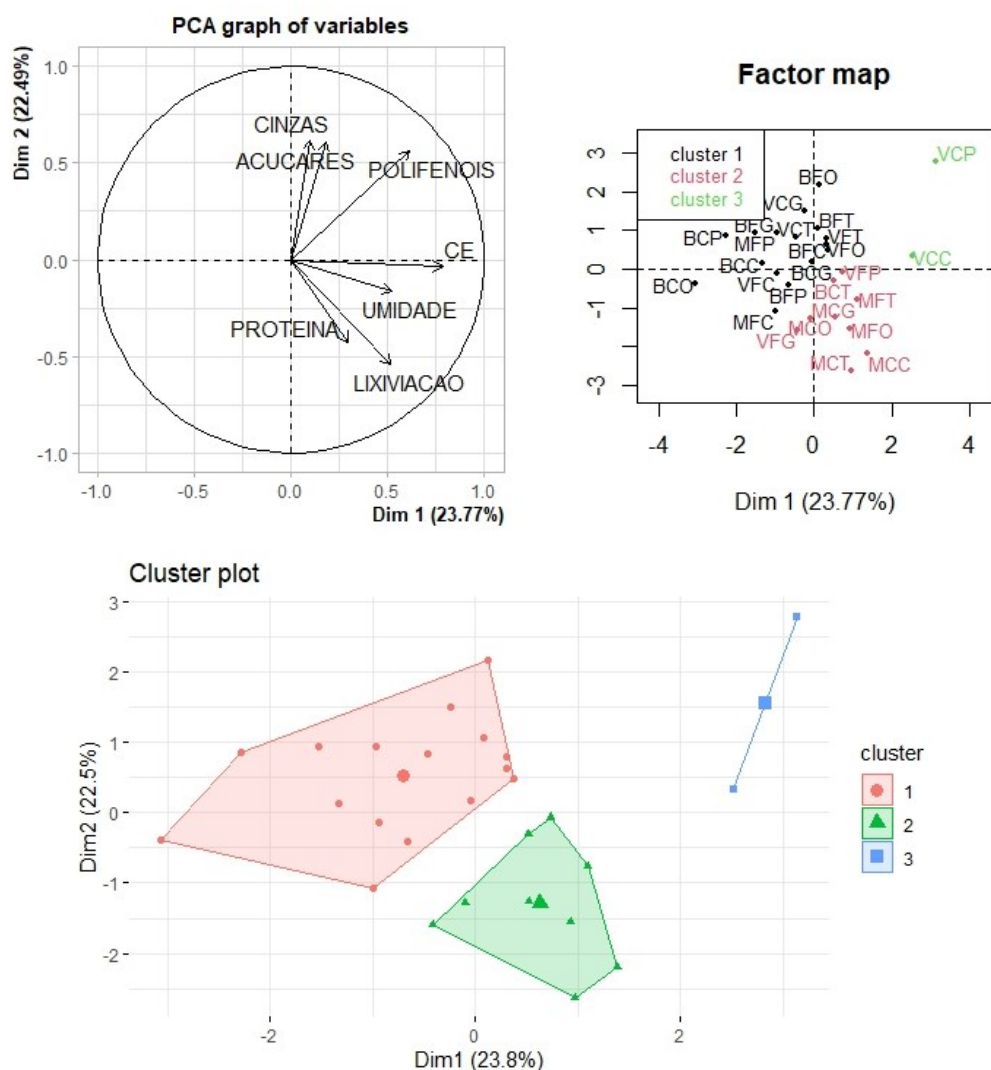
Fonte: Do autor (2024).

Os gráficos de PCA demonstram que a distribuição dos tratamentos em relação as características de qualidade bioquímicas seguiram agrupamento dos tratamentos em três grupos distintos, para as características das análises bioquímicas de qualidade na safra de 2020, com dois componentes principais explicando 46,26% da variabilidade total dos dados (Figura 3). O primeiro vetor (componente principal um – Dim1) explicou 23,77% da variabilidade total. O segundo vetor (componente principal dois – Dim2) explicou 22,49% da variabilidade total dos dados.

Entre os três grupos formados, apenas dois apresentaram proximidade às características analisadas. O grupo 1 (com os tratamentos relacionados ao filme de polietileno), ficou próximo das características proteínas, umidade e condutividade elétrica. Já o grupo 2 (tratamentos com fertilizante convencionais e vegetação espontânea) apresentaram

maior proximidade com as variáveis cinzas, açúcares totais e polifenóis, lixiviação de potássio e condutividade elétrica (Figura 3).

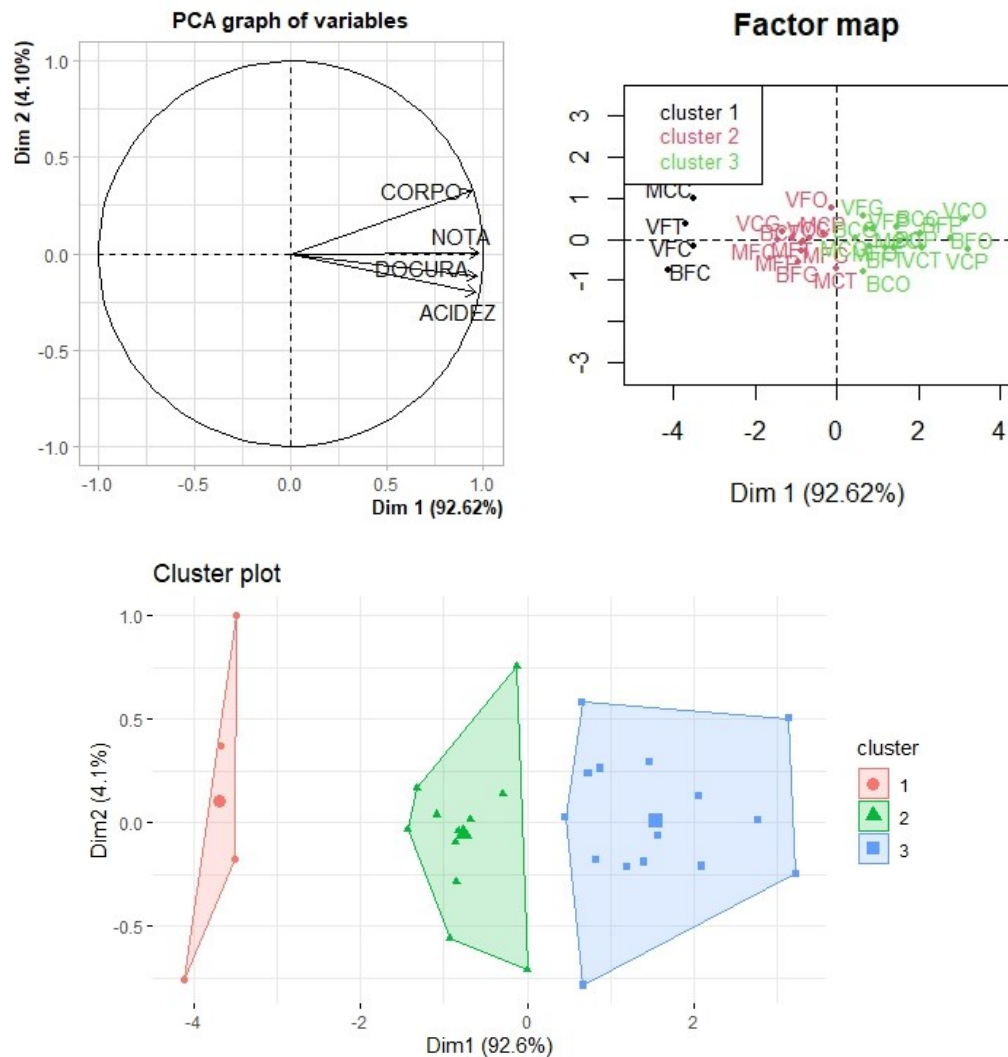
Figura 3 – Análise dos componentes principais de análises bioquímicas em grãos de cafés submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2020.



Fonte: Do autor (2024).

Na PCA em relação às características sensoriais da safra 2020, os dois primeiros componentes principais explicaram 96,72% da variabilidade total dos dados (Figura 2). O primeiro vetor (componente principal um – Dim1) explicou 92,62% da variabilidade total. O segundo vetor (componente principal dois – Dim2) explicou 4,10% da variabilidade total dos dados (Figura 4). Foi observado a formação de 3 grupos em relação as características sensoriais dos cafés na safra de 2020.

Figura 4 – Análise dos componentes principais de análises sensoriais em grãos de cafés submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2020.



Fonte: do autor (2024).

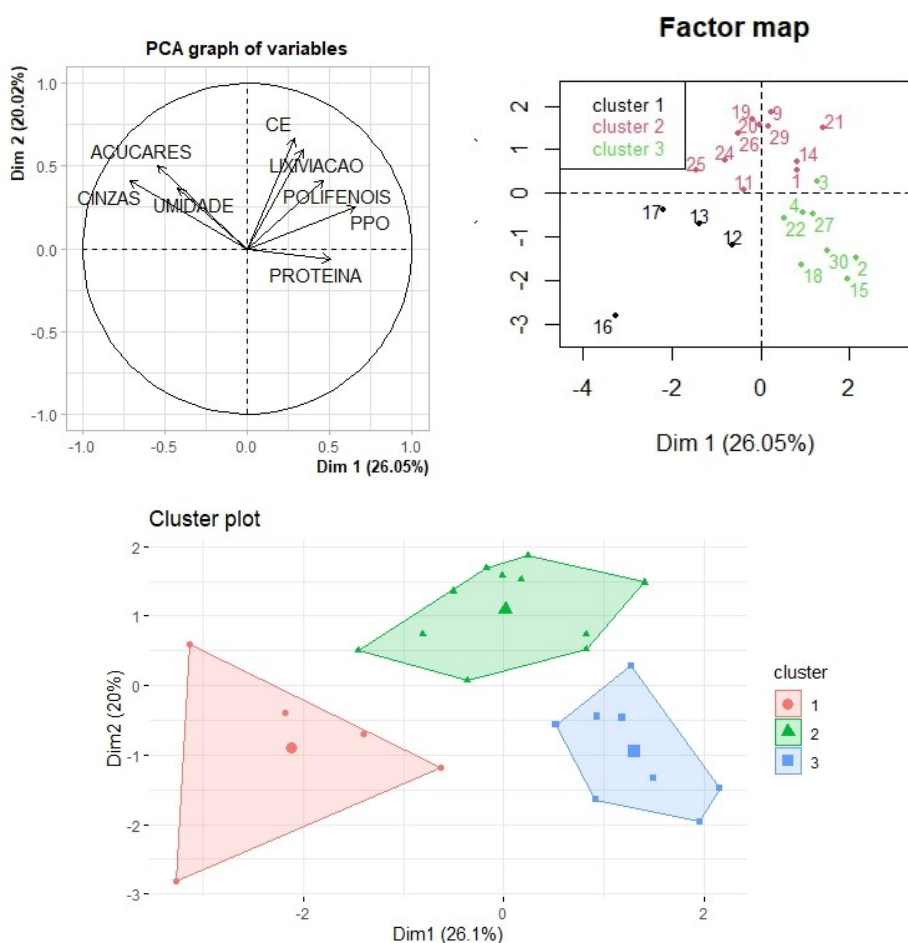
O grupo 2 (Caracterizado pelos tratamentos com a vegetação espontânea como cobertura do solo) foram agrupados nos quadrantes opostos as características sensoriais, enquanto os grupos 3 (Tratamentos com a cobertura da braquiária e fertilizantes e liberação controlada) ficaram localizados próximos as características sensoriais, com destaque para o grupo 3 com maior proximidade das características corpo, doçura e acidez. Também próximo a essa característica encontrou-se o grupo 2, porém mais ao centro da distribuição.

As avaliações com características bioquímicas realizadas em 2021 apresentaram distribuição dos tratamentos em três agrupamentos distintos, com dois componentes principais explicando 46,07% da variabilidade total dos dados. O primeiro vetor (componente principal

um – Dim1) explicou 26,05% da variabilidade total. O segundo vetor (componente principal dois – Dim2) explicou 20,02% da variabilidade total dos dados (Figura 5).

Entre os três grupos formados, apenas dois grupos apresentaram proximidade às características analisadas. O grupo 1 (com os tratamentos relacionados a cobertura do solo pela braquiária), ficaram próximos das características proteínas, umidade e condutividade elétrica. Já o grupo 2 (tratamentos com os condicionadores casca de café e composto orgânico) apresentaram maior proximidade com as variáveis cinzas, açúcares totais e polifenóis, lixiviação de potássio e condutividade elétrica (Figura 3). O grupo 3 (composto pelos fertilizantes convencionais) seguiu o quadrante oposto aos atributos de qualidade relacionados a cinzas, açúcares totais e umidade dos grãos.

Figura 5 – Análise dos componentes principais de análises bioquímicas em grãos de cafés submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2021.

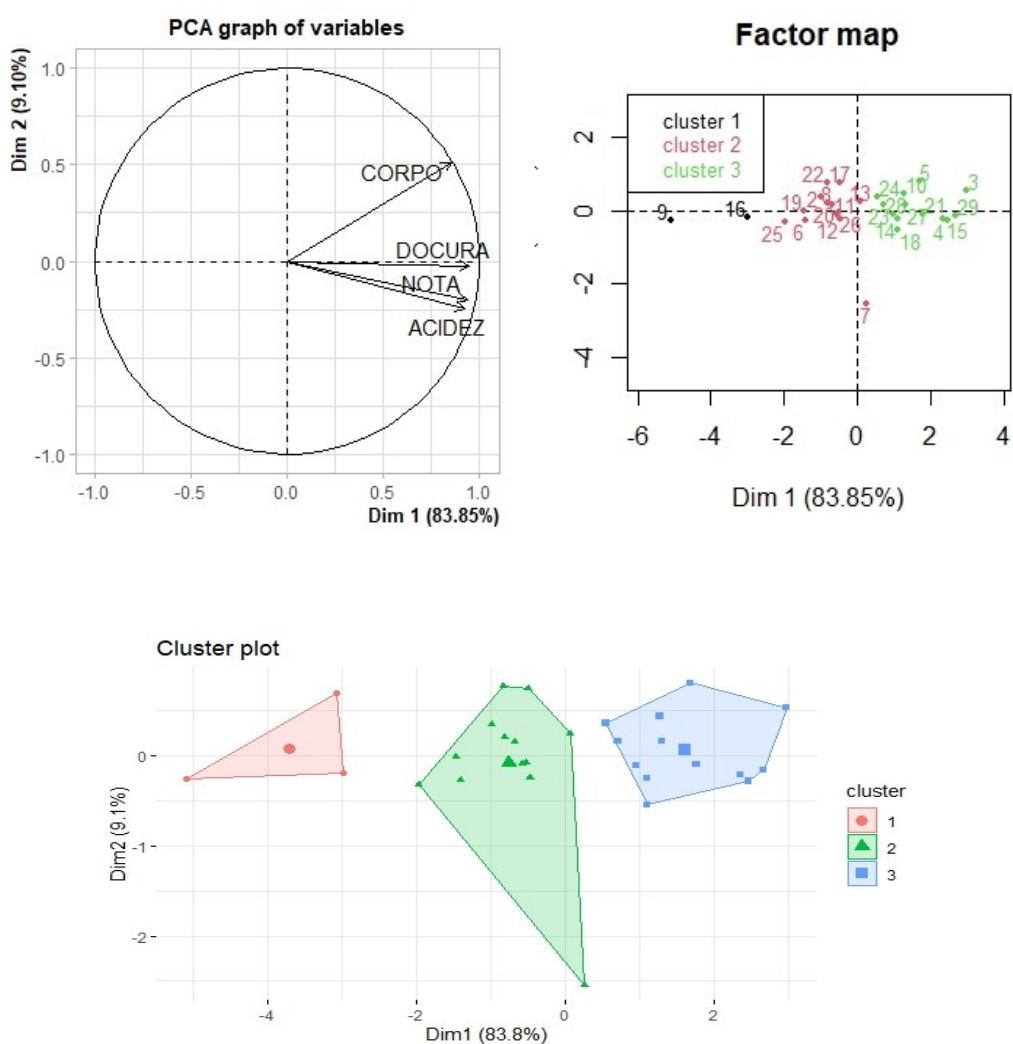


Fonte: Do autor (2024).

As análises sensoriais da safra 2021, os dois primeiros componentes principais explicaram 92,95% da variabilidade total dos dados (Figura 6). O primeiro vetor (componente principal um – Dim1) explicou 83,85% da variabilidade total. O segundo vetor (componente principal dois – Dim2) explicou 9,10% da variabilidade total dos dados (Figura 6). Foi observado a formação de 3 grupos em relação as características sensoriais dos cafés na safra de 2021.

Entre os três grupos formados, apenas um apresentou proximidade com às características analisadas. O grupo 3 (com os tratamentos relacionados ao fertilizante convencional), ficaram próximos das características doçura, nota, acidez e corpo. Esse padrão não foi observado nos anos anteriores de 2019 e 2020.

Figura 6 – Análise dos componentes principais de análises sensoriais em grãos de cafés submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2021.



Fonte: Do autor (2024).

4 DISCUSSÃO

De acordo com os resultados observados na colheita do café ano de 2019, verificou-se que os cafés oriundos de lavouras onde se utilizou-se fertilizantes de liberação controlada foram correlacionados positivamente com compostos químicos proteínas e açúcares totais. Já os cafeeiros com coberturas de solo e composto orgânico produziram cafés que se correlacionaram positivamente com os atributos sensoriais da bebida. Para avaliar a qualidade da bebida, existem parâmetros eficientes associados a composição química dos grãos de cafés como: sólidos solúveis, teor de açúcares totais, condutividade elétrica e lixiviação de potássio, acidez total titulável e atividade de polifenoloxidase (BORÉM, 2008; CHALFOUN et al., 2018). Os tratamentos com fertilizantes de liberação controlada e as coberturas de solo agruparam-se em consonância dos grãos de cafés que apresentaram maiores teores de proteínas e açúcares totais em análises realizadas em 2019, assim como as análises sensoriais.

Os açúcares totais são mais elevados em grãos de café beneficiado que propiciam melhor qualidade de bebida, contribuindo para o sabor e aroma (CHAGAS, 1994; SILVA, 1999). Embora esses resultados diferem dos observados por Caixeta et al. (2022), que não identificaram diferenças significativas entre a combinação de filme de polietileno com fertilizantes de liberação controlada, embora as notas sensoriais foram em médias 81,5 pontos. Os autores associaram este resultado à interferência do clima da região. Malta; Nogueira; Guimarães (2003) relatam que as fontes de N nitrocálcio e sulfato de amônio diminuíram a qualidade de bebida dos cafés avaliados, além das doses mais elevadas de sulfato de amônio prejudicarem a atividade enzimática da polifenoloxidase, acidez titulável total, ácidos clorogênicos totais e compostos fenólicos totais.

As concentrações de aminoácidos desses exudados podem ser particularmente altas quando o suprimento de N é excessivo, ou quando o de K é baixo. Em deficiência de K, a síntese de compostos de alto peso molecular, como amido, proteínas e celulose, é inibida, havendo acúmulo de compostos orgânicos de baixo peso molecular. Por outro lado, a difusão dessas substâncias para o apoplasto depende da permeabilidade das membranas, que é, consideravelmente, afetada por Ca e B (MARTINEZ et al., 2014). Além disso, os lipídios do café, apresentam variações entre 7 e 17% nos grãos de café verde, que inclui óleo de café no endosperma: triacilgliceróis (70 e 80%), ésteres de álcoois diterpênicos e ácidos graxos (15 e 18,5%), e outros compostos de baixa concentração contribuindo com 0,1 e 3,2% de lipídios totais e cera de café (0,1 e 0,3% do peso total do grão) (PIMENTA et al., 1997). Os lipídios

do café contribuem para a textura e a boca sensação da bebida, pois carrega sabores e vitaminas solúveis em gordura (CHENG et al., 2016). O café apresenta de 5 a 10% de açúcares totais. Dentre os oligossacarídeos, a sacarose (não redutor) ocorre nos grãos de café em concentrações que variam de 5,1 a 9,4%, no fruto maduro (MARTINEZ et al., 2014).

O tipo de fonte de fertilizante é um importante fator na qualidade, sobretudo nutrientes como o potássio. Santos et al. (2023) avaliando a influência de blends de KCl e K₂SO₄ na qualidade, associados em diferentes doses, detalham que o aumento dos teores de Cl relaciona-se positivamente a lixiviação de K, condutividade elétrica e acidez titulável e negativamente com a qualidade de bebida. Dessa forma, fertilizantes com composição de Cl na sua formulação reduzem a qualidade de bebida, pelas alterações dos teores da enzima polifenol oxidase. A influência negativa do cloro na atividade do PPO relaciona-se com o excesso dessas moléculas precipite íons Cl e Cu²⁺, reduzindo substancialmente sua atividade (MARTINEZ et al., 2014; MATTOS JUNIOR et al., 2018). A suplementação com adubação foliar com fontes de K₂SO₄ são eficientes para atenuar os efeitos deletérios causados pelo KCl nos atributos de qualidade dos grãos de café, melhorando a qualidade da bebida e o tamanho dos grãos, principalmente em safras de alta produtividade (MOREIRA et al., 2021).

Algumas fontes de K como a casca de café também podem ser utilizadas para produção grãos com maiores teores de PPO e menor lixiviação de potássio. A casca de café apresenta em sua composição 2,96% de K enquanto o composto orgânico 3,0% de potássio (ANEXOS A e B). A razão entre N e K é um importante atributo para produção de cafés especiais, sendo a relação de N:K de 1:1,56 os grãos apresentam maior atividade da polifenoloxidase, cafeína, índice de coloração, açúcares redutores e menores acidez total titulável, pH, condutividade elétrica e lixiviação de potássio (CLEMENTE et al., 2015). Silva et al. (2002) avaliando a influência de diferentes doses de K₂O na qualidade dos grãos de café, identificaram que atividade enzimática da polifenoloxidase, o índice de coloração, a acidez titulável total e os açúcares totais dos grãos foram melhores na dose de 266 kg ha⁻¹ de K₂O. O K é um macronutriente que influencia na formação do grão, desempenhando função de translocação dos fotoassimilados, promovendo aumento de peso, qualidade da bebida, resistência a doenças e resistência ao estresse hídrico (MANCUSO, 2014).

Os tratamentos que se agruparam em maiores teores da enzima polifenoloxidase foram os condicionadores de solo composto orgânico e casca de café, indicando tendência destes tratamentos influenciarem na qualidade, independentemente do ano avaliado. A enzima chalcona sintetase, ativada pelo etileno, ativa a polifenoloxidase, que em concentrações

elevadas reduz a concentração de ácidos fenólicos e propicia de frutos de melhor sabor (MARTINEZ et al., 2014).

A polifenoloxidase é uma enzima cúprica é a única enzima conhecida por catalisar a oxidação aeróbica de compostos fenólicos, que são alguns dos mais determinantes influentes da qualidade, principalmente sabor e aroma, de café, sendo que os valores mais elevados se associam aos melhores padrões de qualidade (PIMENTA et al., 2018). A concentração de compostos fenólicos é inversamente proporcional à qualidade da bebida, sendo essa diretamente relacionada ao grau de ataque de microrganismos e ao estágio de maturação dos frutos (CARVALHO et al., 1989).

Danos causados nas membranas celulares favorecem a liberação e ativação da polifenoloxidase que oxida o ácido clorogênico a seus isômeros, aumentando a adstringência do fruto (FAGAN et al., 2010). A polifenoloxidase está diretamente relacionada a qualidade de bebida, sobretudo de frutos colhidos em estágio de maturação cereja, aumentando seus índices conforme a maturação dos frutos (PIMENTA et al., 1997).

Alguns manejos com plantas de cobertura e condicionadores de solo como casca de café e compostos orgânicos, possibilitam o aumento dos teores de matéria orgânica no solo cultivados com cafés (VOLTOLINI et al, 2020; CASTANHEIRA et al., 2022). Solos com manejo de composto orgânico e casca de café apresentam maior respiração microbiana, mineralização do carbono, FDA e atividade da enzima β -*glicosidase* (OLIVEIRA, 2012). A ação dos microrganismos está entre os diversos fatores que influenciam a bebida final, através da ação de metabólitos produzidos por diversas espécies de bactérias, fungos filamentosos e leveduras, difundirem-se nos grãos e influenciar a qualidade final da bebida (CHALFOUN et al., 2018; CHALFOUN et al., 2019).

Os cafés com maiores notas sensoriais podem ser indicados pelos menores teores de lixiviação de potássio, relacionados a grãos que apresentam paredes celulares mais integras, membranas celulares que não foram desestruturadas pela ação de enzimas pécticas, hidrolisadas pelas ligações glicosídicas (PIMENTA et al., 1997).

As análises sensoriais por mais experiência que o avaliador possua, podem ser subjetivas, demandando análises complementares que auxiliem na identificação de cafés especiais. Qualquer fator que altere a estrutura da membrana, como ataque de insetos e microrganismos, alterações fisiológicas e danos mecânicos, provocam uma rápida deterioração dos grãos de café.

Verificou uma relação inversa entre a qualidade da bebida e a condutividade elétrica e a lixiviação de potássio de exsudatos de grãos crus a influência do tamanho de grãos e tipos

de defeitos na determinação da condutividade elétrica e lixiviação de potássio de exsudatos de grãos de café. Grãos de cafés retidos em menores peneiras e que não foram retirados os defeitos apresentam maior condutividade elétrica e lixiviação de potássio, aumentando conforme a gravidade do defeito apresentando (MALTA et al., 2005).

Voltolini (2019) avaliando diferentes técnicas agronômicas em cafeeiros identificou que o manejo da cobertura do solo associado a condicionadores, casca de café e polímero retentor de água combinados com filme de polietileno, influenciaram em característica de fragrância e na qualidade da bebida dos grãos de café (VOLTOLINI, 2019).

As avaliações por análises sensoriais podem apresentar diferenças entre análises físicas e químicas. Pereira et al. (2018) por meio da técnica de PCA, identificaram que os resultados entre análises sensoriais pelo método SCA não possuem mesmo consenso do agrupamento com as análises físicas e químicas de extrato aquoso, cafeína, acidez titulável e pH, podendo indicar arbitrariedades nas análises sensoriais. Por outro lado, a correlação entre a qualidade química do café e a prova de xícara utilizando-se cromatografia líquida de alta performance, demonstraram que as trigonelinas e o ácido 3,4-dicafeoilquinico e em menor extensão a cafeína, podem ser associados com a boa qualidade do café (SCHMIDT e MIGLIORANZA, 2010).

Moreira et al. (2021) observaram correlações negativas entre a análise sensorial e Condutividade elétrica, lixiviação de potássio e índice de coloração, especialmente na safra de alta produtividade. Quanto maior a nota de qualidade obtida na análise sensorial, menores os índices de condutividade elétrica, lixiviação de potássio e coloração dos grãos. a partir da substituição de KCl por K₂SO₄. Silva et al. (2009) não verificaram diferenças na análise sensorial em relação à qualidade da bebida em cafés das regiões da Chapada de Minas, com a caracterização química apresentando maior atividade da polifenoloxidase, maior acidez e maior índice de cor.

As diferentes práticas de manejo do solo adotadas nos sistemas de cultivo do café podem influenciar nos atributos químicos do solo e consequentemente na nutrição mineral das plantas, interferindo na qualidade dos frutos, dos grãos e da bebida do café. Após o corte da braquiária ocorre a mineralização dos nutrientes, promovendo a ciclagem de nutriente, em macronutriente como N, K e P (PEDROSA et al., 2014; BAPTISTELLA et al., 2022). O composto orgânico e a, além de serem condicionadores de solo podem fornecer, micronutrientes e uma até 18% de carbono orgânico para as plantas, além de serem ricos em Cu e Zn (CASTANHEIRA et al., 2018). Vilela (2024) relata que o manejo com braquiária associado com aplicações de casca de café promoveu maiores notas sensoriais de bebida,

associando o efeito nutricional adicional, além dos atributos da microbiota do solo promovidos por esses tratamentos.

Voltolini et al. (2019) observaram que os frutos de cafés submetidos a aplicações de casca de café associada ao filme de polietileno e vegetação espontânea em comparação aos frutos oriundos das plantas de cafeeiro submetidas ao tratamento com o condicionador gesso agrícola tiveram melhorias na fragrância dos frutos. Um importante atributo para a qualidade de bebida está associado a classificação física dos grãos, uma vez que grãos maiores estão ligados ao maior acúmulo de açúcares totais (DAMATTA et al., 2007). A umidade do solo relaciona-se diretamente ao enchimento dos grãos, podendo os manejos que influenciam na eficiência da água contribuírem com a qualidade, além de outros atributos de clima e ambiente. Borém et al. (2019) relatam a importância da caracterização de áreas com potencial para produção de cafés, que a frequência de melhores notas da bebida ocorreu nos municípios localizados na área centro-sul da região da Mantiqueira, caracterizado por serem mais frios, chuvosos e acima de 1000 m ocorreu menor amplitude térmica do ar, o que proporcionou cafés com qualidade superior. Também cafés com qualidade superior, podem ser produzidos com manejos utilizando técnicas agronômicas como cobertura de solo, filme de polietileno e braquiária, assim como os condicionadores casca de café e composto orgânico (CASTANHEIRA et al., 2022; VOLTOLINI et al., 2022; VILELA et al., 2023; VILELA 2024). De forma complementar a condição hídrica mais adequada no enchimento dos grãos, a manutenção das folhas na planta também contribui para uma maturação mais homogênea dos frutos, sendo outro importante fator na qualidade de bebida, influenciando em maiores teores de polifenóis e menor lixiviação de potássio (PIMENTA et al., 2000; 2003).

5 CONCLUSÕES

- a) As coberturas do solo com filme de polietileno e braquiária agruparam em características de atributos sensoriais com corpo, acidez e doçura.
- b) A casca de café e o composto orgânico agruparam com tendências de maiores índices de atividade da enzima polifenoloxidase, polifenóis e diminuição na lixiviação de potássio.
- c) Os fertilizantes de liberação controlada promovem maiores notas sensoriais na produção de cafés especiais.
- d) Os manejos que promovem nutrição mais adequada e manutenção da disponibilidade hídrica influenciam na qualidade de bebida.
- e) A interação entre os tratamentos mais sustentáveis como cobertura do solo, fertilizantes de eficiência aumentada e os condicionadores de solo casca de café e composto orgânico atribuíram mais indicativos de qualidade a bebida.

REFERÊNCIAS

- AGNOLETTI, B. Z. et al.; Multivariate calibration applied to study of volatile predictors of arábica coffee quality. **Food Chemistry**, v. 367, p. 1-8, 2022.
- A.O.A.C. **Official Methods of Analysis**. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemist, Washington DC, 1990.
- BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification, **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v.37, n.8, p.911-917, 1959.
- BORÉM, F. M., et al. Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciênc. agrotec.**, v. 32, n. 5, p. 1609-1615, 2008.
- BORÉM, F. M., et al. Meteorological variables and sensorial quality of coffee in the Mantiqueira region of Minas Gerais. **Coffee Science**, v. 14, n. 1, p. 38 - 47, 2019.
- CAIXETA, L. G.; ASSIS, G. A.; NASCIMENTO, L. G.; FERNANDES, M. I. S.; COTA, B. M. A.; SILVA, G. D.; NETO, R. S. Filme de polietileno de polietileno e fontes de adubo em cafeeiros: efeitos no teor de clorofila, produtividade e qualidade de bebida. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. 1-12, 2022.
- CARVALHO, G. R.; FERREIRA, A. D.; ANDRADE, V. T.; BOTELHO, C. E.; CARVALHO, J. P. F. **Cafeicultura do Cerrado**. Ed. UFLA, Lavras-MG, 2021, 541p.
- CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. J. 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 da bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.3, p.449-454, 1994.
- CASTANHEIRA, D. T. **Técnicas agrônômicas para mitigação dos efeitos da restrição hídrica no cafeeiro**. 2018. 126 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia), Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2018.
- CASTANHEIRA, D. T.; GUIMARAES, R. J.; REZENDE, T. T.; CARVALHO, M. A. F.; KNUPPEL, C. A.; CARVALHO, R. C. S. Optimization of water use in “*Coffea arabica*” L. grown under different agronomic practices. **Australian Journal of Crop Science**, v. 16, n. 7, p. 870–878, 2022.
- CHALFOUN, S. M. et al. Brazilian coffee quality: cultural, microbiological and bioactivity aspects. **World Journal of Research and Review**, v. 6, n. 1, p. 50-58, 2018.
- CHALFOUN, S. M. Selection of fungal isolates with potential for phosphate solubilization and formulation and formulation of inoculant for coffee crops. **Coffee Science**, v. 14, p. 315-325, 2019.
- CHENG, B., et al. Influence of genotype and environment on coffee quality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 57, p. 20-30, 2016.

DISHE, Z., General color reaction. In: R.L. Whistler & M.L. Wolfrom (eds.), **Methods in Carbohydrate Chemistry**, Academic Press., v. 1, p. 478-512, 1962.

FAGAN, E. B. et al. Efeito do tempo de formação do grão de café (*Coffea* sp) na qualidade da bebida. **Biosci. J.**, v. 27, n. 5, p. 729-738, 2011.

FASSIO, L. O.; et al. Discrimination of genealogical groups of arabica coffee by the chemical composition of the beans. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 16, p. 141-150, 2019.

FERREIRA, D. S.; et al. Association of altitude and solar radiation to understand coffee quality. **Agronomy**, v. 12, p. 1-13, 2022.

FIGUEIREDO, L. P. Sensory analysis and chemical composition of ‘bourbon’ coffees cultivated in different environments. **Coffee Science**, v. 13, n. 1, p. 122 - 131, 2018.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Green coffee – determination of loss mass at 105°C, ISO 6673:2003, 1999.

KRZYŻANOWSKY, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. Relatos dos testes de vigor disponíveis as grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 15-50, mar. 1991.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper’s handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of coffee’s flavor. 3rd ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2001. 47 p.

MALTA, M. R.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. C. Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes e doses de nitrogênio. **Ciênc. Agrotec.**, v. 27, n. 6, p. 1246-1252, 2003.

MALTA, M. R. et al. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio do exsudato de grãos de café: alguns fatores que podem influenciar essas avaliações. **Ciênc. agrotec.**, v. 29, n. 5, p. 1015-1020, 2005.

MANCUSO, M.A.C.Efeito de fontes e doses de potássio na produção, nutrição e exportação de macronutrientes do café arábica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n.5, pág.1448-1456, 2014.

MATTOS JUNIOR, D. et al. Avanços na nutrição de citros e café. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 163, p. 1-11, 2018.

MOREIRA, D. T. et al. Determination of physical and chemical quality of coffee beans under improved potassium fertilization managements. **Coffee Science**, v. 16, p. 1-9, 2021.

NASCIMENTO, L. G.; ASSIS, G. A.; FERNANDES, M. I. S.; PIRES, P. S.; CARVALHO, F. J.; ARAÚJO, N. O. Filme de polietileno na cafeicultura: efeitos na produtividade, maturação, formato dos grãos e qualidade de bebida. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-17, 2020.

OLIVEIRA, S. M. **Atividade microbiana e propriedades bioquímicas do solo sob a adição de composto orgânico e palha de café**. 2012. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2012.

PEREIRA, L. L. et al. A complexidade de consenso entre análise sensorial, física e química na qualidade do café. **Revista Ifes Ciência**, v. 4, n. 2, 2018.

PIMENTA, C. J.; ANGÉLICO, C. L.; CHALFOUN, S. M. Challenges in coffee quality: Cultural, chemical and microbiological aspects. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 4, p. 337-349, 2018.

PIMENTA, C. J. et al. Polifenoloxidase, lixiviação de potássio e qualidade de bebida do café colhido em quatro estádios de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 32, p. 171-177, 1997.

PIMENTA, C. J.; COSTA, L.; CHAGAS, S. J. R. Peso, acidez, sólidos solúveis, açúcares e compostos fenólicos em café (*Coffea arabica*, L), colhido em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Armazenamento**, p. 23-30, 2000.

PIMENTA, C. J.; VILELA, E. R. Compostos fenólicos e atividade das polifenoloxidasas em cafés (*Coffea arabica* L.) colhido em sete épocas diferentes. **Revista Acta Scientiarum**, , v. 25, p. 245-247, 2003.

PRETE, C. E. C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. 1992. 125 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992.

SANTOS, C. et al. Chloride applied via fertilizer affects plant nutrition and coffee quality. **MDPI**, v. 185, p. 1-19, 2023.

SCHMIDT, C. A. P.; MIGLIORANZA, E. Análise sensorial e o café: uma revisão. **Revista Científica Inovação e Tecnologia**, v. 1, n. 2, p. 16-24, 2010.

SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Qualidade dos grãos de café em função de doses de potássio. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1291-1297, 2002.

SILVA, M. C. et al. Caracterização química e sensorial de cafés da chapada de Minas, visando determinar a qualidade final do café de alguns municípios produtores. **Ciênc. agrotec.**, v. 33, Edição Especial, p. 1782 -1787, 2009.

SILVA, M. G.; POZZA, E. A.; CHAVES, E.; SANTOS NETO, H.; VASCO, G. B.; PAULA, P. V. A. A.; DORNELAS, G. A.; ALVES, M. C.; SILVA, M. L. O.; POZZA, A. A. A. Spatiotemporal aspects of brown eye spot and nutrients in irrigated coffee. **European Journal of Plant Pathology**, v. 153, p. 931-946, 2019.

VILELA, M. S. et al. Behavior of coffee plants under different cropping systems with a focus on mitigating water scarcity. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 21, p. 1-20, 2023.

VILELA, M. S. **Conservative long term cropping systems mitigating drought stresses and improving soil health**. 2024. 100 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2024.

VOLTOLINI, G. B. **Produtividade, qualidade e custo de produção de cafeeiros em função de diferentes técnicas agrônomicas**. 2019. 88 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

VOLTOLINI, G. B. Atributos sensoriais de frutos de cafeeiros em função de diferentes técnicas agrônomicas. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, X, 2019, **ANAIS...** Fundação Procafé, p. 1-5, Vitória - ES, 2019.

VOLTOLINI, G. B.; SILVA, L. C.; ALECRIM, A. O.; CASTANHEIRA, D. T.; RESENDE, L. S.; REZENDE, T. T.; GUIMARÃES, R. J. Soil chemical attributes in coffee growing with different agronomic techniques. **Coffee Science**, v. 15, p. 1-11, 2020.

CAPÍTULO 4 – PRODUÇÃO E QUALIDADE DO CAFÉ DE LAVOURAS SUBMETIDAS A DIFERENTES MANEJOS DE IRRIGAÇÃO E QUITOSANA

RESUMO

A quitosana tem sido estudada por seu potencial para melhorar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do cafeeiro. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da aplicação foliar de quitosana sobre a produtividade e indução da tolerância ao déficit hídrico em cafeeiros. O experimento foi conduzido na Fazenda Cafua, município de Lavras, entre os anos de 2021 a 2022. Os fatores foram compostos por um esquema fatorial 2x2x2, sendo duas cultivares (Catuaí IAC 99 e Catucaí 2SL), dois sistemas de condução (irrigado e sequeiro) e aplicação de quitosana (com quitosana e sem quitosana). As variáveis em estudo foram crescimento, atributos fisiológicos, produtividade e qualidade dos cafés. A quitosana e a irrigação influenciaram no crescimento das plantas. A quitosana promoveu incrementos em qualidade de bebida. O estresse hídrico foi notado nos valores de potencial hídrico foliar em cafeeiros em sequeiro. A irrigação promoveu maiores produtividades. As técnicas agronômicas de irrigação e aplicação de quitosana podem atenuar a deficiência hídrica e proporcionar maior crescimento de plantas de cafeeiro e produtividade.

Palavras-chave: cafeicultura moderna; potencializador fisiológico; eficiência do uso da água; cafés especiais.

1 INTRODUÇÃO

A quitosana é um derivado do polissacarídeo quitina, contendo unidades de N-acetilglicosamina e glicosamina, originados do exoesqueleto de crustáceos, moluscos e insetos (DUTTA et al., 2004). É um composto bioativo com diversas propriedades, incluindo atividade antioxidante, antimicrobiana, anti-inflamatória e imunomoduladora. Na fisiologia do cafeeiro, a quitosana tem sido estudada por seu potencial para melhorar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da planta (RABÊLO et al., 2019).

A quitosana é um polissacarídeo obtido por desacetilação da quitina por meio de processos biológicos, apresentando grande variedade de uso, inclusive na agricultura (Muxika et al., 2017). A aplicação da quitosana pode potencializar as atividades de enzimas antioxidantes como a superóxido dismutase, catalase, ascorbato peroxidase, glutathione redutase e guaicol peroxidase, além da prolina (RABÊLO et al., 2019). As aplicações agrícolas da quitosana induzem as plantas a produzirem quantidades baixas de peróxido de hidrogênio, que em pequenas concentrações atua como indicador de estresse, assim, ativando seu mecanismo de defesa enzimático e não enzimático (LEI et al., 2011). A quitosana aplicada em folhas de *Capsicum* sp. reduziram o consumo de água em 26% em casa de vegetação e 43 % no campo em relação ao controle, pela indução do fechamento dos estômatos através de uma diminuição do K nas células guarda (BITTELLI et al., 2001). A aplicação de quitosana em plantas induz a produção de peróxido de hidrogênio, que em concentrações baixas atua como sinalizador de estresse, ativando mecanismos de defesas enzimáticos e não enzimáticos (LEI et al., 2011).

A cafeicultura é uma importante atividade agrícola brasileira, sendo o Brasil o maior produtor mundial. No ano de 2023 a expectativa da produção do Brasil é de 54,74 milhões de sacas de café, em uma área de 2,25 milhões de hectares, com café arábica correspondendo a 69,3 da produção (CONAB, 2023).

Os últimos anos a cafeicultura tem passado por dificuldades decorrentes da instabilidade climática, tanto de secas e geadas recorrentes. A seca além da influência negativa na produtividade pode causar modificações do zoneamento climático onde é recomendado o plantio de cafés. Contudo, a região do Sul de Minas é predominantemente cultivada em sistema de sequeiro, visto sua precipitação e amplitude térmica foi, no passado, adequada para a produção cafeeira.

As regiões predispostas a períodos de déficit hídrico podem ser manejadas com irrigação, amenizando o efeito da seca. O sistema mais utilizado na cafeicultura é a irrigação

por gotejamento que promove uma irrigação localizada, possibilitando menor consumo de água em relação a outros sistemas de irrigação. Outra vantagem é sua utilização para realizar a fertirrigação, reduzindo custos com transporte na aplicação dos adubos. Porém, várias regiões produtoras de café não dispõem de quantidade de água suficiente para que seja realizada irrigação conforme a demanda da evapotranspiração da planta. Nessas situações que não há a possibilidade de irrigar, tem-se utilizado técnicas como o uso de plantas de cobertura, cultivares tolerantes ao déficit hídrico, biopolímeros, protetores e oligossacarídeos de revestimento (CASTANHEIRA et al., 2019; VOLTOLINI et al., 2020; FIGUEIREDO, 2022).

O uso de bioestimulantes tem apresentado boas respostas em crescimento e produtividade. Além disso, a aplicação foliar de quitosana tem sido utilizada para mitigar os efeitos do déficit hídrico na fisiologia das plantas, como: absorção reduzida de N, diminuição da pressão de turgor das células e redução do acúmulo de espécies reativas de oxigênio, ácido abscísico, reduzindo o crescimento das plantas (MOROVVAT et al., 2021).

A cafeicultura em sequeiro pode ser afetada drasticamente pelo clima em determinadas épocas do ano. Mesmo algumas lavouras que têm irrigação não possuem quantidade de água suficiente para uma irrigação adequada, necessitando de estratégias que otimizem sua utilização da água. Assim, a quitosana é um oligossacarídeo promove eficiência do uso da água pelas plantas, atenuando o déficit hídrico enfrentado pelo cafeeiro. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da aplicação foliar de quitosana sobre a produtividade e indução da tolerância ao déficit hídrico em cafeeiros.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Condições experimentais

O experimento foi instalado na fazenda Cafua (21°10'8.07"S e 44°58'40.33"O, altitude de 932 m), localizada próximo ao município de Ijaci – MG, Região do Campo das Vertentes. A região é caracterizada pelo bioma Mata Atlântica e classificada por Köppen como Cwa, mesotérmico com verões amenos e estiagens de inverno (SÁ JUNIOR et al., 2012).

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi instalado em fevereiro de 2021, em uma lavoura de café comercial e em produção no município de Ijaci-MG. Os trabalhos foram caracterizados pela aplicação dos seguintes tratamentos: duas cultivares de café (Catuai IAC 99 e Catucaí 2SL), quitosana (com e sem) e irrigação (sequeiro e irrigado), em sistema de parcelas subdivididas, em arranjo fatorial 2x2x2. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com 4 repetições (Tabela 1).

Tabela 1 - Tratamentos com utilização de quitosana e irrigação com a cultivar de café Catucaí 2SL e Catuai IAC 99.

TRAT	BIOPOLÍMERO	SISTEMA DE CULTIVO	CULTIVAR
T1	Quitosana	Irigado	CATUCAÍ 2SL
T2	Quitosana	Sequeiro	CATUCAÍ 2SL
T3	Sem quitosana	Irigado	CATUCAÍ 2SL
T4	Sem quitosana	Sequeiro	CATUCAÍ 2SL
T5	Quitosana	Irigado	CATUAÍ IAC 99
T6	Quitosana	Sequeiro	CATUAÍ IAC 99
T7	Sem quitosana	Irigado	CATUAÍ IAC 99
T8	Sem quitosana	Sequeiro	CATUAÍ IAC 99

Fonte: Do Autor (2024).

2.3 Aplicação da quitosana

As aplicações foliares de quitosana foram realizadas com pulverizador costal elétrico, totalizando três aplicações nos meses de fevereiro (23-02-2021), março (30-03-2021) e maio (04-05-2021). A quitosana foi aplicada em uma concentração de 300 mg L⁻¹, solubilizada em ácido acético 0,1 %, sendo que a diluição da quitosana em ácido foi realizada no mesmo dia das aplicações. O volume de calda utilizado durante as aplicações foi de 400 L ha⁻¹, com condições climáticas adequadas para a aplicação.

2.4 Variáveis avaliadas

Avaliações realizadas dos atributos fisiológicos, de crescimento, propriedades físicas do solo, produtividade e análises estatísticas sobre a condução do experimento.

2.4.1 Avaliações de crescimento

As avaliações de crescimento das plantas foram realizada da seguinte forma: Altura de plantas: medida da base do caule (superfície do solo) até a extremidade apical do caule, utilizando-se de uma régua graduada; Diâmetro de caule: medido na região do colo da planta, aproximadamente a 5 cm do solo, com uso de um paquímetro digital; Diâmetro da copa: medido dois ramos plagiotrópicos opostos, na porção do terço inferior da copa, apresentando o maior comprimento, com uso de régua graduada; Número de nós no ramo plagiotrópico.

2.4.2 Índices de clorofila

Os índices de clorofila “a” (CLA), “b” (CLB) e “total” (CLT), foram analisados com o ClorofiLOG, modelo CFL 1030 da Falker. O aparelho fornece os índices Falkers proporcionais à absorbância das clorofilas. As folhas avaliadas estavam totalmente expandidas, localizadas no terço média das plantas, entre o 3º e 4º par de folhas. Foram avaliadas quatro folhas por parcela.

2.4.3 Condutância estomática

A condutância estomática foi avaliada com utilização do porômetro (SC-1, Decagon Devices), por meio da determinação do fluxo de vapor real da folha através dos estômatos para o ambiente externo. As leituras foram realizadas em três plantas por parcela, em dias com boas condições climáticas, em folhas completamente expandidas, localizadas entre o 3º a 4º par de folhas no terço médio da planta, entre o período das 9:00 até 11:00 da manhã.

2.4.4 Potencial hídrico foliar

Foram monitorados os valores de potenciais hídricos foliares medidos em folhas funcionais, do terceiro ou quarto par de folhas, em uma planta útil de cada subparcela presente na linha de irrigação e da cultivar. Para essa determinação utilizou-se uma câmara de pressão com operação de até 70 bar, com os devidos acessórios. Os dados obtidos foram analisados e relacionados com o crescimento cafeeiro. Os dias para a coleta dos dados foram sem a ocorrência de chuvas. As medidas do potencial hídrico foliar foram feitas entre quatro e seis horas da manhã, antes do amanhecer “pre-dawn”. As avaliações foram realizadas a cada três meses durante o período de um ano, procurando abranger as quatro estações climáticas.

2.4.5 Colheita

Em julho de 2021 realizou-se a colheita manual dos frutos em cada unidade experimental. Após realizar a derriça no pano, mensurou-se o volume de café maduro, em seguida, retirou-se uma amostra de 0,5 L para a determinação da classe de maturação que os frutos se encontravam (verde, verde cana, cereja ou passa/seco), adaptados de Camargo e Camargo (2000). Também foram avaliados o número de frutos no ramo plagiotrópico e o número de frutos por roseta.

Na sequência, outra amostra de café maduro de 3,0 L foi colocada no terreiro para secar até atingir aproximadamente 11,5% de umidade. Após a seca, o café em coco foi medido o volume e sua massa e beneficiado. A massa do café beneficiado foi avaliada e com as informações obtidas calculou-se o rendimento (litros de café maduro por saca de café beneficiado), renda (kg de café em coco por kg de café beneficiado) e produtividade (sacas de café beneficiada por hectare). A produtividade foi corrigida com a umidade de 11,5%. Posteriormente, amostras de 300 g dos grãos de cafés foram submetidas a análise

granulométrica com peneiras de crivos circulares (18, 17, 16, 15 e 14), oblongos (12, 10 e 9) e o fundo.

2.5 Análises estatísticas

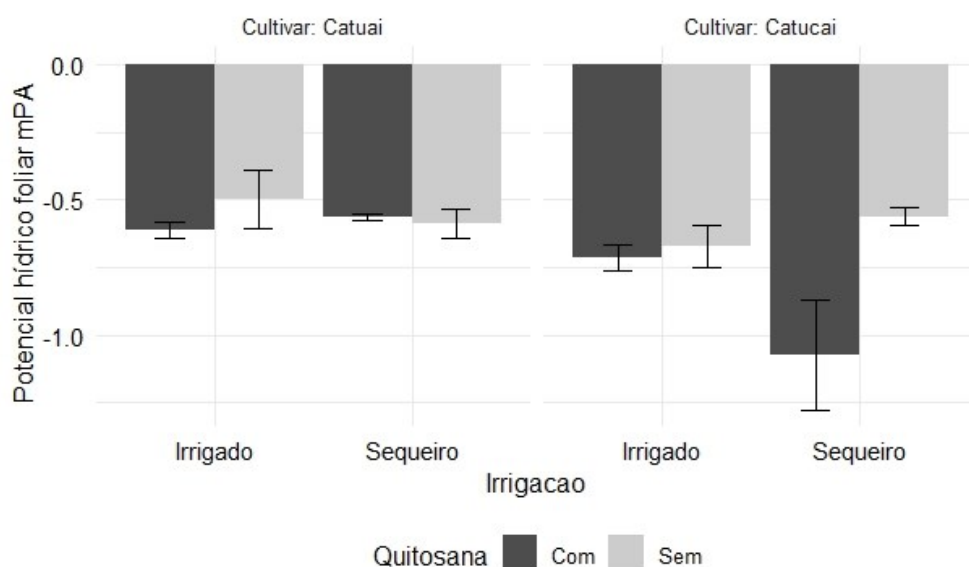
Os resíduos dos dados foram submetidos às pressuposições da ANOVA, verificando-se a normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e a homocedasticidade pelo teste Bartlett. Logo depois, realizou-se a análise de variância com a significância das fontes de variação verificada pelo teste F. Os dados foram submetidos a análise de regressão, utilizando modelos matemáticos com lógica biológica e altos valores de coeficiente de determinação (R^2). Esses procedimentos estatísticos foram realizados por meio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016) e os gráficos plotados pelo Sigmaplot (SYSTAT SOFTWARE Inc, 2008).

As amostras de qualidade química e sensoriais foram determinadas com o teste de Análise de Componente Principais (PCA). As interpretações dos resultados foram realizadas conforme os fatores em estudo se correlacionavam. As análises estatísticas foram realizadas por meio do software R-Studio.

3 RESULTADOS

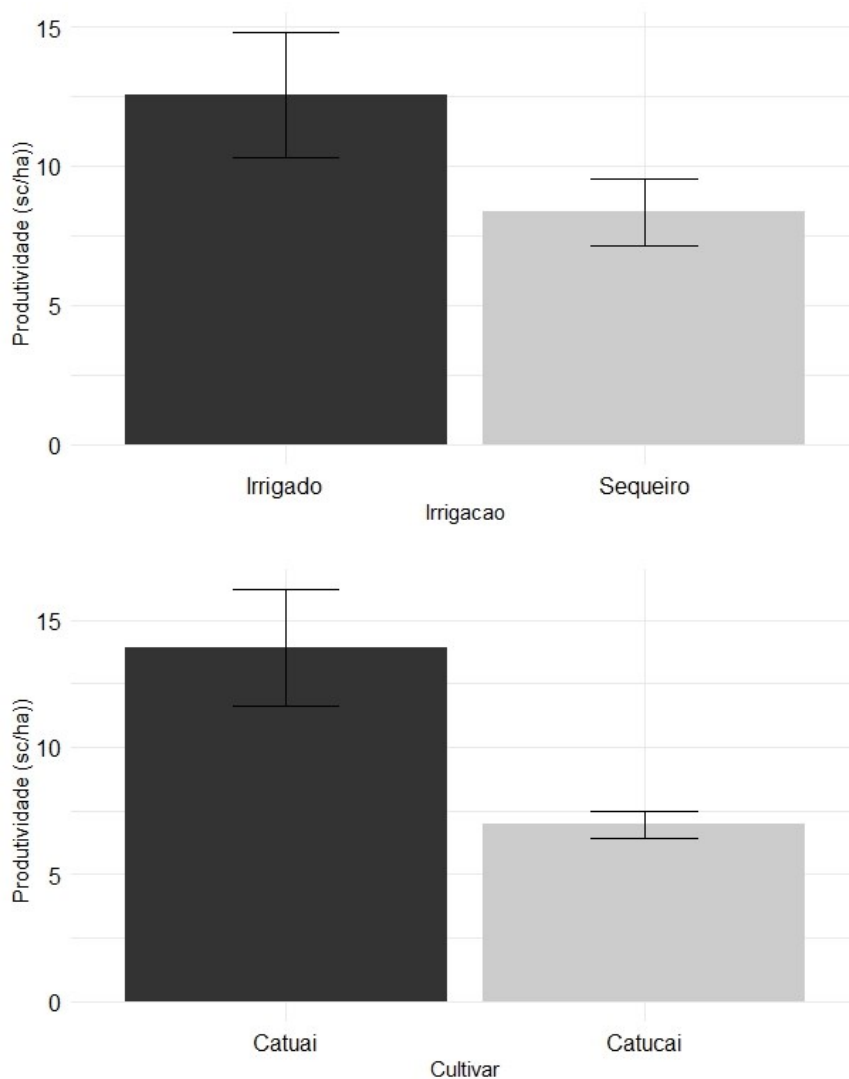
As avaliações de crescimento não apresentaram diferenças significativas para a altura da planta e diâmetro do caule. As médias dos índices de clorofilas A, B, total e condutância estomática também não se diferenciaram significativamente. O potencial hídrico em 2021 não apresentou efeito significativo, porém em 2022 houve interação significativa entre o manejo da irrigação e a cultivar, sendo influenciado substancialmente pela irrigação, sobretudo, com a cultivar Catucaí 2SL (Figura 1). A quitosana contribuiu para que as folhas, mesmo em condições de sequeiro, suportassem maiores déficits hídricos com a cultivar Catucaí 2SL, sendo 42,1% superiores ao tratamento em sistema sequeiro, sem aplicação de quitosana.

Figura 1 – Potencial hídrico foliar de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de irrigação e aplicação de quitosana em 2022.



Dentre os atributos produtivos do cafeeiro, a renda, rendimento e classificação física de peneiras não apresentaram diferenças significativas. A produtividade apresentou diferenças significativas em relação ao tipo de sistema de cultivo, irrigado e de sequeiro, além das cultivares (Figura 2). O sistema irrigado foi responsável por um incremento de 38,2% em relação ao sistema em sequeiro, enquanto a cultivar Catucaí 99 produziu 40,8% a mais que a cultivar Catucaí 2SL (Figura 2).

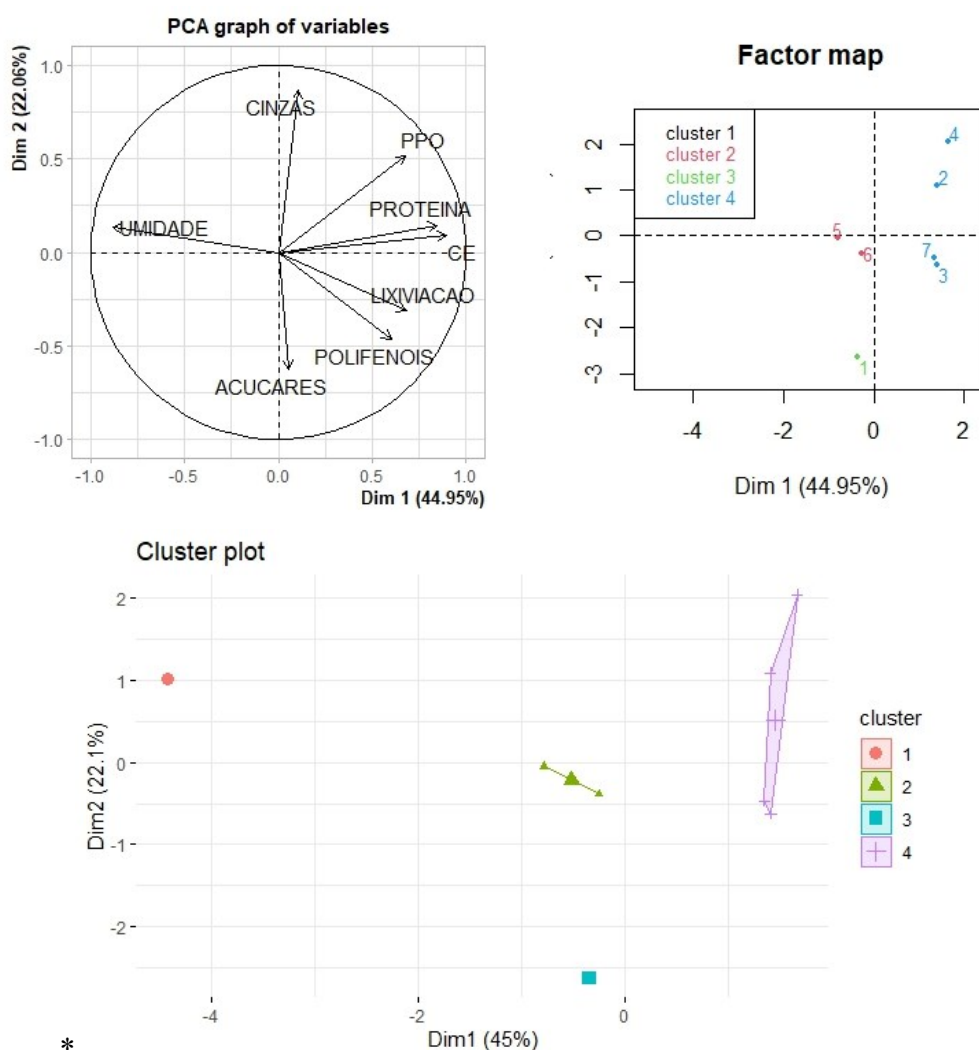
Figura 2 – Produtividade, renda e rendimento de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo em 2020 e 2021.



Fonte: Do autor (2024).

As análises de componentes principais dos diferentes manejos de irrigação, quitosana e cultivares foi possível observar a discriminação dos tratamentos quanto às características das análises bioquímicas de qualidade na safra de 2021. Na análise de componentes principais, identificou-se agrupamentos dos tratamentos de acordo com a paridade entre eles, sendo que essa análise foi realizada para as características das análises bioquímicas de qualidade. Na análise bioquímica os dois primeiros componentes principais explicaram 67,01% da variabilidade total dos dados (Figura 3).

Figura 3 – Análise dos componentes principais de análises bioquímicas em grãos de cafés submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2021.

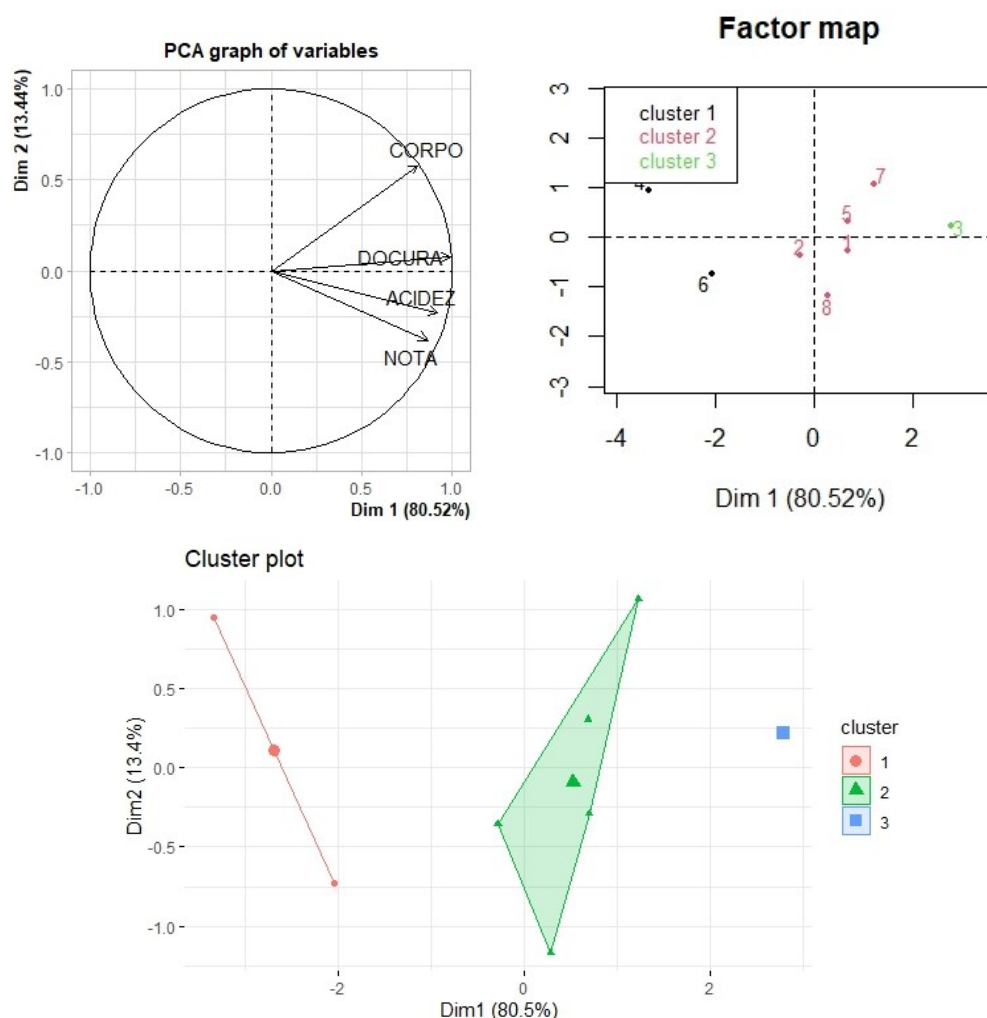


Fonte: Do autor (2024).

Houve a formação de quatro grupos em relação a distribuição dos atributos relacionados a qualidade bioquímica. Dentre os grupos, dois deles tiveram somente 1 tratamento, o grupo 1 com o tratamento 8 (sem aplicação de quitosana, sequeiro com a cultivar Catuaí IAC 99) e o grupo 3 com o tratamento (Cultivar Catucaí 2SL, com aplicação de quitosana e sistema irrigado). Além disso, o grupo 2 consistiu de dois tratamentos, enquanto o grupo 4 foi formado pelo restante dos 4 tratamentos do experimento. O grupo 1 apresentou maior proximidade da característica umidade. Também próximo a essa característica encontrou-se o grupo 2, porém mais ao centro da distribuição. O grupo 3 foi localizado próximo aos açúcares e o grupo 4 ficou próximo às características proteínas, polifenoloxidase e condutividade elétrica no segundo quadrante e polifenóis e lixiviação no quarto quadrante.

Na PCA sobre a análise sensorial da safra 2021, os dois primeiros componentes principais explicaram 93,96% da variabilidade total dos dados (Figura 4). Houve a formação de 3 grupos em relação à dispersão das características sensoriais do café. O grupo 1, formado por dois tratamentos (Catucaí 2SL sem quitosana em sistema sequeiro e Catucaí IAC-99 com aplicação de quitosana em sistema irrigado), ficou localizado no lado oposto da dispersão das características sensoriais do café, indicando que esses tratamentos não contribuíram para a qualidade sensorial da bebida.

Figura 4 – Análise dos componentes principais de análises sensoriais em grãos de cafés submetidos a diferentes manejos de cobertura do solo, fertilizantes e condicionadores de solo na safra de 2021.



Fonte: Do autor (2024).

O grupo 3, formado por apenas um tratamento (Catucaí 2SL sem quitosana em sistema irrigado) foi agrupado mais próximo do atributo doçura. Além disso, o grupo 4, formado pelos demais tratamentos, foi agrupado próximo à todas as características sensoriais analisadas,

possivelmente indicando a maior contribuição desses tratamentos para a melhoria da qualidade sensorial do café.

4 DISCUSSÃO

A condução em sistema de sequeiro do cafeeiro respondeu pelo maior potencial hídrico foliar, indicando menor disponibilidade hídrica no solo para a cultivar Catucaí. Alterações de crescimento do cafeeiro imediatamente após o término do período de suspensão da irrigação em todos os tratamentos mostraram que apenas a indução de 90 dias de déficit hídrico, comparado a irrigação plena, reduziu significativamente o número de nós na o ramo plagiotrópico em 'Catuaí', mas não afetou o comprimento, o acúmulo de área foliar, nem a altura das plantas. Em 'Bourbon', todas essas variáveis de crescimento foram afetadas em algum grau pelos tratamentos de déficit hídrico, em comparação com a irrigação plena, embora tenham sido observadas variações entre os tratamentos. De modo geral, o efeito no crescimento foi discreto, mesmo no 'Bourbon', uma vez que o cafeeiro apresenta naturalmente baixa taxa de crescimento de junho a agosto devido às temperaturas mínimas reduzidas (MIRANDA et al., 2020).

O déficit hídrico é um dos principais fatores limitantes da produção de cafés, mesmo em propriedades que possuem sistema de irrigação, mas não têm reservatórios suficientes para irrigar conforme a lâmina adequada para a evapotranspiração do cafeeiro. O déficit hídrico é mais intenso dependendo da época do ano, incidência solar e distribuição das chuvas (COSTA et al., 2018; 2020). O que tem sido observado a campo são “irrigações de salvação ou de socorro”, que consiste em fornecimento de água para períodos específicos para a cafeeiro (MATIELLO et al., 2016).

Analizando o cenário em que o fornecimento de água é inadequado, Peloso et al. (2017), investigaram as limitações fotossintéticas em folhas de café arábica, submetidos ao déficit hídrico, de plantas cultivadas a 30, 60 e 100% de água disponível. O déficit hídrico afeta negativamente a fotossíntese das plantas, decorrentes do decréscimo da condutância estomática e sugerindo diminuição na taxa de transporte de elétrons, levando a um menor aproveitamento da energia luminosa para a fotoquímica (TAIZ et al., 2017). Outra resposta das plantas expostas ao déficit hídrico, também associada a redução da turgidez celular, é o decréscimo do potencial hídrico, que pode comprometer todos os processos vitais responsáveis pelo crescimento vegetal (SANTOS, 2019).

Um indicativo que o cafeeiro se encontra em condições de déficit hídrico é pela diminuição dos valores de condutância estomática (DAMATTA et al., 2006). O fechamento estomático é o principal mecanismo de controle das trocas gasosas nas plantas superiores terrestres em condições de déficit hídrico (PELOSO et al., 2017). Além disso, a um

decréscimo da taxa da transpiração dos cafeeiros conforme a disponibilidade hídrica é reduzida (RONCHI et al., 2015).

O maior potencial hídrico foi observado no tratamento com manejo irrigado. Não houve diferenças significativas quanto o déficit hídrico entre as cultivares Catuaí IAC-99 e Catucaí 2SL. A cultivar também pode influenciar as respostas ao déficit hídrico, sendo susceptível ou tolerante as condições de escassez hídrica (CARVALHO et al., 2021). À medida que o solo seca, torna-se mais difícil a absorção de água, porque ocorre elevação das forças de retenção e diminuição da disponibilidade de água no solo (ARAÚJO et al., 2011). Santos (2019), avaliando lâminas de irrigação de 20, 60, 100 e 140% da evapotranspiração (ET_c) em quatro cultivares, relata que conforme diminui-se a porcentagem da lâmina de irrigação o potencial hídrico foliar é inversamente proporcional. Além disso, dentre as cultivares analisadas, MGS Paraíso 2 apresentou menor valor de potencial hídrico foliar na lâmina de 60% da ET_c, demonstrando potencial maior tolerância as condições de déficit hídrico.

Embora os índices de clorofila não tenham apresentado diferenças significativas, diferentemente de Nguyen et al. (2011) mostraram que o oligômero de quitosana aumentou fortemente o teor de clorofilas e carotenóides nas folhas de mudas de café em até 46,38-73,51% em comparação com o controle. Concentrações de 150 ppm de quitosana apresentaram um aumento significativo em comparação com a planta controle em clorofila total, carotenóides, além da absorção de N, P e K nas folhas, rendimento da cultura e tamanho do grão (SAN et al., 2021).

A presença de doenças no cafeeiro pode afetar a qualidade dos frutos, diretamente pela produção de compostos polifenólicos que são inversamente proporcionais a qualidade. Os tratamentos com quitosana apresentaram menor incidência de cercosporiose (dados não publicados). A utilização da quitosana como indutor de resistência tem ganhado espaço na cafeicultura estimulando a produção de fitoalexinas, assim como a ativação de genes de resistência (LOPEZ-VELAZQUEZ et al.2021). Gomes et al. (2023), estudando nanopartículas de quitosana carregadas com cobre no controle de ferrugem, identificaram maior bioatividade nessa associação do que o cobre isolado. Dessa forma, as nanopartículas de quitosana carregadas com Cu podem induzir uma resposta de defesa das plantas mais significativa à infecção por *Hemileia vastatrix* do que o Cu convencional, atuando como um fungicida.

Além disso, foi observada uma correlação entre as atividades da polifenoloxidase e a produção de fitoalexina, o que permitiu uma resposta de defesa eficaz nos cafeeiros. Os resultados mostraram que a quitosana a 0,05% aumentou a atividade e a expressão gênica das

β -1,3glucanases e induziu uma resposta diferenciada de enzimas relacionadas ao sistema antioxidante das plantas (LOPEZ-VELAZQUEZ et al.2023). Foi observado aumento na quantidade de compostos fenólicos em plantas tratadas com quitosana de alto peso molecular a 0,05%; portanto, a quitosana pode ser considerada uma molécula eficaz no controle da ferrugem do café (LOPEZ-VELAZQUEZ et al.2021).

Lopez-Velazquez et al. (2023) avaliando a aplicação de quitosana em concentrações de 0,01% e 0,05% no controle de *Hemileia vastatrix*, identificaram efeito da quitosana de na indução da expressão gênica relacionada à patogênese (β -1,3-glucanase, peroxidase, fenilalanina-amônia-liase, NPR1 e catalase), na atividade enzimática das proteínas relacionadas à patogênese (β -1,3-glucanase, peroxidase, superóxido dismutase, polifenol oxidase e APX) e na produção de fitoalexina. A fenilalanina-amônia-liase encontrada em plantas, atua como enzima biossintética chave na catalisação na síntese de uma variedade de compostos polifenólicos, está principalmente envolvida em mecanismos de defesa (LOPEZ-VELAZQUEZ et al.2019; LOPEZ-VELAZQUEZ et al. 2021).

O desenvolvimento de infecções microbianas nos grãos de café pode comprometer tanto o seu aspecto visual quanto o sensorial e o aroma. Entre os microorganismos associados a frutos e grãos de café, os fungos filamentosos representam o grupo que pode causar maior dano (PIMENTA et al., 2003). Dentre as micotoxinas presentes em grãos de café, a ocratoxina A é a de maior relevância e representa uma ameaça mais imediata ao consumo e comércio do produto, em função da imposição de limites aos níveis de ocorrência desta micotoxina (PASIN et al., 2009; PIMENTA et al., 2018). A quitosana é apontada como uma substância com propriedade de invólucro para alimentos, apresentando um filme de revestimento sem interferir nas características sensoriais do fruto, com boa durabilidade, biodegradável, permeabilidade à água e oxigênio, além da proteção microbiana (SILVA, 2023)

Embora a irrigação tenha proporcionado maiores produtividades, quando aplicada de forma deficitária (irrigação de salvamento) ou em excesso, pode causar prejuízos por reduzir a produtividade (MARTINS et al., 2007). Além disso o uso da fertirrigação em lavouras cafeeiras permite reduções de custos com operações mecanizadas em aplicações de fertilizantes e inseticidas e fungicidas de solo (FERNANDES et al., 2012).

A cercosporiose pode ter sua incidência aumentada em condições relacionadas a temperatura, umidade e insolação, além do espaçamento, desequilíbrio nutricional, compactação do solo e déficit hídrico (POZZA e POZZA, 2023; FERNANDES et al., 2012; RESENDE et al., 2022; VILELA et al., 2022). Paiva et al. (2014) Verificou que os manejos

de irrigação influenciaram a incidência da cercosporiose e o enfolhamento, sendo que, em plantas não irrigadas a incidência da cercosporiose foi 30% maior, que os manejos irrigados. Quanto ao enfolhamento verificou-se que os tratamentos 20 kPA e 60 kPA foram 9% e 5% maiores comparado ao tratamento não irrigado. O aumento mais expressivo no enfolhamento foi obtido quando empregado o manejo do balanço hídrico com um valor 13% maior que a testemunha.

A infecção de *Cercospora coffeicola* é mais intensa à plena exposição solar e com deficiência nutricional. Já nos cafés densamente sombreados, a incidência de cercosporiose é menor que em cafezais desprovidos de sombra intensa (POZZA e POZZA, 2023). Também o manejo da irrigação e adubação afetaram a cercosporiose em lavouras de café sob diferentes práticas de manejo de irrigação por gotejamento e adubação. A suspensão da irrigação por 70 dias, de julho a setembro de 2012, favoreceu a intensidade da cercosporiose e, no mesmo ano, altas taxas de aplicação de NK aumentaram a produtividade (BARBOSA JÚNIOR et al., 2019).

Os tratamentos irrigados apresentaram maiores médias de produtividade, comparativamente aos conduzidos em sequeiro, tanto quando era utilizada a quitosana ou não, nas duas cultivares. Na literatura vários autores abordam incrementos em produtividade em relação ao sistema sequeiro podem apresentar reduções de produtividade de até 80% (COSTA et al., 2018; COSTA et al., 2020; DAMATTA e RAMALHO, 2016). A irrigação é fundamental para a produtividade do cafeeiro pois fornece água em abundância para o ciclo das plantas em três fases críticas: enchimentos dos frutos, expansão e granação (CAMARGO et al. 2010).

Os tratamentos com irrigação também influenciaram na retenção das folhas, que diretamente influencia em maiores taxas fotossintéticas no cafeeiro, consequentemente produzindo mais fotoassimilados, contribuindo para o acúmulo de açúcares nos frutos. Com o aumento da lâmina de irrigação, há maior umidade do solo e água facilmente disponível, facilitando a absorção de água pelas raízes das plantas. Com isso, há um aumento da absorção de água pelas raízes, as células ficam mais túrgidas, promove o alongamento celular e diminui a resistência da perda de água, favorecendo as trocas gasosas (SANTOS, 2019).

Os tratamentos com irrigação e aplicação de quitosana agruparam-se com características tendendo a maior atividade da enzima polifenoloxidase, proteínas e condutividade elétrica. Danos causados nas membranas celulares favorecem a liberação e ativação da polifenoloxidase que oxida o ácido clorogênico a seus isômeros, aumentando a adstringência do fruto (FAGAN et al., 2010). A polifenoloxidase está diretamente relacionada

a qualidade de bebida, sobretudo de frutos colhidos em estágio de maturação cereja, aumentando seus índices conforme a maturação dos frutos (PIMENTA et al., 1997).

A irrigação pode influenciar na qualidade de bebida dos frutos tanto diretamente por produzirem grãos com maior acúmulo de açúcares totais, consequentemente, com maior tamanho de peneiras e promover maturação dos frutos de forma homogênea. Indiretamente a irrigação pode ajudar na menor incidência de cercosporiose. O déficit hídrico e a temperatura do ar foram os elementos meteorológicos com maior influência na produtividade do cafeeiro. As condições climáticas atípicas não alteraram a qualidade da bebida e as características granulométricas dos grãos de café, nos diferentes tratamentos realizados (MARTINS et al., 2015).

Tefaye et al. (2013) testaram duas técnicas de irrigação com déficit: secagem parcial da zona radicular e irrigação com déficit normal comparativamente com um tratamento irrigado de forma plena em *Coffea arabica*. Entre as práticas de irrigação testadas, a irrigação plena resultou em teor de umidade do solo consideravelmente maior, conteúdo relativo de água nas folhas, condutância estomática (gs) e rendimento da cultura melhoraram significativamente a qualidade dos grãos de café.

O manejo da irrigação durante o período seco, associada à adequada nutrição com NPK levou ao acúmulo de compostos bioquímicos nos grãos de café considerados precursores positivos da qualidade da bebida. Vinecky et al. (2016) identificou efeito do K na bioquímica dos grãos, incrementando nos conteúdos de lipídios e ácido. O teor de cafeína aumentou com maiores quantidades de N, mas não foram observados efeitos significativos do tratamento com P na composição bioquímica do grão. Os teores de sacarose e lipídios totais sempre pareceram mais elevados em grãos de plantas não irrigadas do que em grãos de plantas cultivadas com irrigação contínua levou ao acúmulo de compostos bioquímicos nos grãos de café considerados positivos precursores da qualidade da bebida (VINECKY et al., 2016).

As cultivares não agruparam-se especificamente para qualidade, demonstrando que não houve diferenças entre Cacuai 2SL e Catuai IAC 99. Fernandes et al. (2020) avaliando diferentes cultivares também não observaram diferenças significativas, entretanto todas as cultivares apresentam pontuação de bebida entre 79 e 81.

5 CONCLUSÃO

As técnicas agronômicas de irrigação e aplicação podem atenuar os efeitos causados pela deficiência hídrica e proporcionar maior crescimento de plantas de cafeeiro e produtividade. A quitosana influenciou em incrementos de qualidade de bebida.

REFERÊNCIAS

- BETTIOL, W.; GHINI, R. **Proteção de plantas em sistemas agrícolas alternativos**. In: CAMPANHOLA, C.; BETTIOL, W. Métodos alternativos de controle fitossanitário. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. p.80-96.
- BITTELLI, M., et al. Reduction of transpiration through foliar application of chitosan. **Agric. Forest Meteorol**, p.107-167, 2001.
- BRASIL. CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira - Café: segundo levantamento**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>. Acesso em 28/05/2023.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira - Café: quarto levantamento. Observatório Agrícola**, Brasília, v. 5, p. 1-49, dez. 2023.
- CABRERA, J. C. et al. Practical Use of Oligosaccharins in Agriculture. **Acta Hort**, 1009, ISHS, p. 195-212, 2013.
- COELHO, G. et al. Efeito de épocas de irrigação e de parcelamento de adubação sobre a produtividade do cafeeiro ‘Catuai’. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p. 67-73, 2009.
- COSTA J. O.; COELHO, R. D.; BARROS, T. H. S.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; FERNANDES, A. L. T. Physiological responses of coffee tree under different irrigation levels. **Engenharia Agrícola** v. 38, p. 648–656, 2018.
- COSTA, J. O.; COELHO, R. D.; BARROS, T. H. S.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; FERNANDES, A. L. T. Canopy thermal response to water deficit of coffee plants under drip irrigation. **Irrigation and Drainage**, v. 12, p. 472-482, 2020.
- DA MATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, p. 55–81, 2006.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, dez. 2007.
- DUTTA, P. K. *et al.* Chitin and chitosan: Chemistry, properties and applications. **Journal of Scientific & Industrial Researchs**, [S. l.], v. 63, p. 20-31, 2004.
- DZUNG, N.; LUONG, T.; NGUYEN, T.; JUNG, W. Research on impact of chitosan oligomers on biophysical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee. **Carbohydrates Polymers**, v. 84, p. 751-755, 2011.
- EL-SERAFY, R. S. Phenotypic Plasticity, Biomass Allocation, and Biochemical Analysis of Cordyline Seedlings in Response to Oligo-Chitosan Foliar Spray. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 1503 -1514, 2020.

FERNANDES, A. L. T.; SILVA, R. O.; FRAGA JR, E. F.; SANTANA, M. J.; DIAS, M. M. Use of organic fertilization with irrigation in coffee production in brazilian cerrado. **Revista Ambiente e Água**, v. 15, p. 1-13, 2020a.

FERNANDES, M. I. S. et al. Parâmetros produtivos e de qualidade de cultivares de cafeeiros na região do Alto Paranaíba, Minas Gerais, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, p. 1-18, 2020b.

GOMES, D. G. et al. Nanoencapsulation Boosts the Copper-Induced Defense Responses of a Susceptible *Coffea arabica* Cultivar against *Hemileia vastatrix*. **Antibiotics**, v. 12, p. 249-271, 2023.

HA, N. M. C. et al. Preparation of NPK nanofertilizer based on chitosan nanoparticles and its effect on biophysical characteristics and growth of coffee in green house. **Springer**, v. 45, p. 51-63, 2019.

LIMA, J. V. O.; FERNANDES, A. L. T.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; CRUZ, E. O. H.; CRUZ, J. P. H. SANTANA, M. J. Avaliação do consumo de água e energia elétrica utilizando sensores na irrigação do café. **Revista brasileira de agricultura irrigada**, v. 14, p. 3844-3853, 2020.

LOMELÍ-FLORES, J. R. et al. Impacts of weather, shade cover and elevation on coffee leafminer *Leucoptera coffeella* (*Lepidoptera: Lyonetiidae*) population dynamics and natural enemy. **Crop Protection**, v. 29, n. 9, p. 1039-1048, 2010.

LÓPEZ-VELÁZQUEZ, J. C. et al. High-density chitosan induces a biochemical and molecular response in *Coffea arabica* during infection with *Hemileia vastatrix*. **Int. J.Mol.Sci.**, v. 24, p. 1-16, 2023.

LÓPEZ-VELÁZQUEZ, J. C. Evaluation of the physicochemical properties of chitosans in inducing the defense response of *Coffea arabica* against the fungus *Hemileia vastatrix*. **Polymers**, v. 13, p. 1-15, 2021.

LÓPEZ-VELÁZQUEZ, J. C. et al. Gelatin chitosan PVA hydrogels and their application in agriculture. **JChemTechnolBiotechnol**, v. 25, p. 1-10, 2019.

MARTINS, E. et al. Weather influence in yield and quality coffee produced in south Minas Gerais region. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 499–506, 2015.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. A.; FERNANDES, D. R. **Cultura do café no Brasil**: manual de recomendações, Varginha: Fundação Procafé, 2016. 542 p.

MIRANDA, F. L. et al. Synchronizing coffee blossoming and fruit ripening in irrigated crops of the Brazilian Cerrado Mineiro Region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 4, p. 605-613, 2020.

MOROVVAT, S. A. Effects of Foliar Application Chitosan and Salicylic Acid on Physiological Characteristics and Yield under Deficit Irrigation Condition, **AGRIVITA Journal of Agricultural Science**, v. 43, n. 1, p. 101-113, 2021.

MUXIKA, A., et al. Chitosan as a bioactive polymer: Processing, properties and applications. *International Journal of Biological Macromolecules* v.105, p. 1358-1368, 2017.

OLIVEIRA, L.J.C. de. **Mudanças climáticas e seus impactos na produtividade das culturas do feijão e do milho no Estado de Minas Gerais**. 2007. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PELOSO, A. F.; TATAGIBA, S. D.; AMARAL, J. F. T. Limitações do crescimento vegetativo em cafeeiro arábica promovido pelo déficit hídrico. **Revista engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 139-147, 2017.

PIMENTA, C. J.; ANGÉLICO, C. L.; CHALFOUN, S. M. Challenges in coffee quality: Cultural, chemical and microbiological aspects. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 4, p. 337-349, 2018.

PIMENTA, C. J.; VILELA, E. R. Compostos fenólicos e atividade das polifenoloxidasas em cafés (*Coffea arabica* L.) colhido em sete épocas diferentes. **Revista Acta Scientiarum**, , v. 25, p. 245-247, 2003.

RABÊLO, V. M. et al. The foliar application of a mixture of semisynthetic chitosan derivatives induces tolerance to water deficit in maize, improving the antioxidant system and increasing photosynthesis and grain yield. **Scientific Reports**, v. 9, p. 1-13, 2019.

ROCHA, O.C. et al. Qualidade físico-hídrica de um latossolo sob irrigação e braquiária em lavoura de café no cerrado. **Coffee Science**, v.9, p.516-526, 2014.

RONCHI, C. P, de Araújo FC, de Almeida WL, da Silva MAA, Magalhães CEO, de Oliveira LB, Drumond LCD. 2015. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao deficit hídrico para concentração da florada no cerrado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*: 24–32;

SAMANTA, S.; SINGH, A.; ROYCHOUDHURY, A. Involvement of sùlfur in the regulation of abiotic stress tolerance in plants. In: ROYCHOUDHURY, A.; TRIPATHI, D. K. (Ed). **Protective chemical agents in the amelioration of plant abiotic stress: Biochemical and molecular perspectives**. India: Wiley-Blackwell, 2020. P. 437-466.

SÁ JÚNIOR, A. de *et al.* Application of the Koppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 108, n. 1-2, p. 1-7, Apr. 2012.

SAN, P. T. et al. Impacts of κ - Oligocarrageenan Application on Photosynthesis, Nutrient Uptake and Bean Yield of Coffee (*Coffea robusta*). **Sains Malaysiana**, v. 50, n. 11, p. 3171-3179, 2011.

SILVA, B. C. A. **Desenvolvimento de embalagem antioxidante e antimicrobiana a base de quitosana para armazenamento de cafés especiais**. 2023. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP, 2023.

SERAFIM, M. E. et al. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 362-370, abr. 2013.

SYSTAT SOFTWARE Inc. - SSI. Sigmaplot for Windows, version 11.0. 2008. Disponível em: <http://www.systat.com/products/sigmaplot/>. Acesso em: 13 de julho de 2021.

TESFAYE, G. S. et al. Plant water relations, crop yield and quality of Arabica coffee (*Coffea arabica*) as affected by supplemental deficit irrigation. **Cabidigitallibrary**, p. 665-672. 2013.

VINECKY, F. et al. Controlled irrigation and nitrogen, phosphorous and potassium fertilization affect the biochemical composition and quality of Arabica coffee beans. **Journal of Agricultural Science**, v. 155, p. 902-918, 2016.

VOLTOLINI, G. B. Produtividade, qualidade e custo de produção de cafeeiros em função de diferentes técnicas agronômicas. 2019. 88 p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

APÊNDICE A – ANÁLISE QUÍMICA DA CASCA DE CAFÉ UTILIZADA NOS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO



Laboratório de Análises Agropecuárias - Ltda.
Rua Fábio Modesto, nº158. Caixa Postal 3019 Bairro Joaquim Sales, Lavras-MG - CEP: 37200-000
Contato: (35) 3822-5174 - www.3rlab.com.br - email: contato@3rlab.com.br



R. S./Nome Fantasia	ALISSON ANDRE VICENTE CAMPOS	Telefone	(35) 98848-2043
Cliente/Conta	65963 - ALISSON ANDRE VICENTE CAMPOS	E-mail	marinasv3p@gmail.com
CPF/CNPJ	085.644.526-69	Cultura/Safra	
Empreendimento	-	Entrada - Saída	26/02/2021
Técnico/Solicitante	MARINA SCALIONI VILELA	Pacotes	01-FOBL-BÁSICO, 09-ADICIONAL (Ca), 10-ADICIONAL (Mg), 11-ADICIONAL (S), 12-ADICIONAL (B), 14-ADICIONAL (Cu), 15-ADICIONAL (Fe), 16-ADICIONAL (Mn), 19-ADICIONAL (Zn)

Resultados da análise de Fertilizantes Orgânicos

Código de Barras	Descrição amostra	pH	C.T.C mmolc/kg	Umidade	Biureto	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA			ANÁLISES QUÍMICAS						
						Passante ABNT 10 (P1)	Passante ABNT 20 (P2)	Passante ABNT 50 (P3)	M.O.T	C.O.T	R.M.T	R.M.I	R.M.S	F ₂ O ₅	K ₂ O
FOBL21-161	COMPOSTO ORGÂNICO	8,26	NS	8,30	NS	51,47	27,11	7,95	43,40	25,12	NS	NS	NS	3,42	3,62

MACRONUTRIENTES						MICRONUTRIENTES										OUTROS ELEMENTOS QUÍMICOS							
N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cl	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Zn	Al	Cd	Cr	F	Na	Pb	Se	Si	SiO ₂	
%																							
2.35	1.49	3.00	10.39	0.62	0.53	0.01	NS	0.01	0.50	0.05	NS	NS	0.05	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	

pH = potencial hidrogênio;
ABNT 10 (P1) = Passante 0,3mm;
R.M.T = Resíduo mineral total;
N = Nitrogênio total;
Mg = Magnésio;
Cu = Cobre;
Ni = Níquel;
Cr = Cromo;
Se = Selênio;

Umidade = Umidade;
Biureto = Biureto;
R.M.I = Resíduo mineral insolúvel;
P₂O₅ = Fosfato de Fósforo;
S = Enxofre;
Fe = Ferro;
Zn = Zinco;
F = Flúor;
Si = Silício;

ABNT 10 (P1) = Passante 2mm;
M.O.T = Matéria orgânica total;
R.M.S = Resíduo mineral solúvel;
K₂O = Óxido de Potássio;
B = Boro;
Mn = Manganês;
Al = Alumínio;
Na = Sódio;
SiO₂ = Óxido de Silício;

ABNT 20 (P2) = Passante 0,84mm;
C.O.T = Carbono orgânico total;
C.T.C = Capacidade de troca de cátions;
Ca = Cálcio;
Cl = Cloro;
Mo = Molibdênio;
Cd = Cádmio;
Pb = Chumbo;
NS = Não solicitado;

Informações relevantes:

- 1 - Não assumimos responsabilidade pelas interpretações dos resultados analíticos.
- 2 - Recomendações de calagem e adubação sempre devem ser feitas mediante consulta de um Engenheiro Agrônomo.
- 3 - O presente laudo não possui finalidades jurídicas.

APÊNDICE B – ANÁLISE QUÍMICA DO COMPOSTO ORGÂNICO UTILIZADO NOS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO



Laboratório de Análises Agropecuárias - Ltda.
Rua Fábio Modesto, nº158. Caixa Postal 3019 Bairro Joaquim Sales, Lavras-MG - CEP: 37200-000
Contato: (35) 3822-5174 - www.3rlab.com.br - email: contato@3rlab.com.br



Cliente: ALISSON ANDRE VICENTE CAMPOS - 65963 || 085.644.526-69

Empreendimento:

Técnico responsável: MARINA SCALIONI VILELA

Pacotes: QUÍMICO MINERAIS

Descrição: CASCA DE CAFÉ

Data de entrada: 26/02/2021

Data de saída: 02/03/2021

Resultados de Alimentos - Análises Químicas

Informações da Amostra

Código de Barras: 1100000087

		60d	4a
Umidade	%	6,72	-
Matéria Seca	%	93,28	-

Carboidratos		60d	4a
FDA	%MS	NS	NS
FDN	%MS	NS	NS
FDNmo	%MS	NS	NS
Lignina	%MS	NS	NS
Amido	%MS	NS	NS

Proteínas		60d	4a
Proteína Bruta	%MS	NS	NS
PIDA	%MS	NS	NS
PIDN	%MS	NS	NS
NNP	%MS	NS	NS

Cordura		60d	4a
Extrato Etéreo	%MS	NS	NS
Minerais		60d	4a
Cinzas	%MS	NS	NS
Cálcio	%MS	0,28	-
Fósforo	%MS	0,09	-
Magnésio	%MS	0,08	-
Potássio	%MS	2,96	-
Sódio	%MS	0,00	-
Enxofre	%MS	0,11	-
Cloreto	%MS	NS	NS
Alumínio	ppm	870,49	-
Boro	ppm	21,65	-
Cobre	ppm	14,54	-
Ferro	ppm	144,59	-
Manganês	ppm	27,69	-
Zinco	ppm	5,89	-
DCAD	meq/100gr	NS	NS

Penn State		60d	4a
TMP	mm	NS	NS
Desvio Padrão	mm	NS	NS
KPS		60d	4a
Amido	%	NS	NS
KPS		NS	NS
FDNfe		60d	4a
MS	%	NS	NS
FDN	%	NS	NS
Tam. Partículas de Grãos		60d	4a
TMP	mm	NS	NS
Desvio Padrão	mm	NS	NS

Informações relevantes:

- 1 - Não assumimos responsabilidade pelas interpretações dos resultados analíticos.
- 2 - Recomendações de calagem e adubação sempre devem ser feitas mediante consulta de um Engenheiro Agrônomo.
- 3 - O presente laudo não possui finalidades jurídicas.
- 4 - Todas amostras analisadas serão descartadas após noventa dias.



Amostra nº 1100000087
Análises Químicas. Página 1 de 2