

**JUSSIÊ GONÇALVES DE SOUZA NETO**

**PRODUÇÃO E MICROAMBIENTE DE CAFEEIROS (*Coffea arabica* L.) A  
DIFERENTES DISTÂNCIAS DE RENQUES DE CEDRO-AUSTRALIANO E  
EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos

Coorientador: Sílvio Nolasco de Oliveira Neto

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da  
Universidade Federal de Viçosa - Campus**

T

S729i  
2023

Souza Neto, Jussié Gonçalves de, 1996-  
Produção e microambientes de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) a  
diferentes distâncias de renques de cedro-australiano e eucalipto: /  
Jussié Gonçalves de Souza Neto. - Viçosa, MG, 2023.  
1 dissertação eletrônica (38 f.): il. (algumas color.).  
Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Agronomia, 2023.  
Referências bibliográficas: .  
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.309>  
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Café - Cultivo; 2. Café - Produtividade; 3. Plantas - Efeito da  
sombra; 4. Mudanças climáticas; I. Santos, Ricardo Henrique Silva II.  
Universidade Federal de Viçosa.. Departamento de Agronomia.  
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia III. Título

CDD 22. ed. 633.73

Bibliotecário(a) responsável: BRUNA SILVA CRB-6/2552

**JUSSIÊ GONÇALVES DE SOUZA NETO**

**PRODUÇÃO E MICROAMBIENTE DE CAFEEIROS (*Coffea arabica* L.) A  
DIFERENTES DISTÂNCIAS DE RENQUES DE CEDRO-AUSTRALIANO E  
EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal  
de Viçosa, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia,  
para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 31 de maio de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente  
 **JUSSIÊ GONÇALVES DE SOUZA NETO**  
Data: 02/10/2023 11:32:35-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Jussie Gonçalves de Souza Neto  
Autor

Documento assinado digitalmente  
 **RICARDO HENRIQUE SILVA SANTOS**  
Data: 05/09/2023 15:49:33-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Ricardo Henrique Silva Santos  
Orientador

*“Não vou brincar, não vou brincar  
vovô me disse que eu preciso estudar”  
Ao meu avô Agostinho (in memoriam)*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, grande arquiteto do Universo, pelas oportunidades e desafios.

À UFV, pela estrutura e professores, por me receber e me preparar para o caminho acadêmico.

À sociedade Brasileira que, por meio da contribuição tributária, permitiu que toda esta trajetória fosse possível.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia pela oportunidade de realizar o curso.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao meu orientador, professor Ricardo, pela orientação e por desenvolver em mim um forte senso de independência e responsabilidade.

Ao meu coorientador, professor Sílvio, pelos ensinamentos e boa vontade ao me transportar ao local da pesquisa diversas vezes.

Ao meu coorientador, professor Maicon, pelos ensinamentos, disponibilidade e bons momentos de conversa entre as obrigações acadêmicas.

À professora Herminia e à pesquisadora Waldênia, pela disponibilidade e importantes correções nesta Dissertação.

Aos senhores Sérgio e Filipe Viana, pela oportunidade de conduzir a pesquisa em sua propriedade.

À minha mãe, Simone, e ao meu padrasto, Danton, pela dedicação e apoio incondicional.

À Vivian, por ter me convencido a cursar este mestrado acadêmico e pelo imenso suporte até o ingresso.

À Carla, pela rara experiência compartilhada e por ser minha amiga durante todo o mestrado.

Aos amigos e parceiros do Laboratório de Agroecologia: Mariana, João, Ricardo, Josi, por toda ajuda na colheita do café e nas demais fases deste projeto.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. O caminho trilhado nunca é obra individual, tampouco o recebimento das honras de algo concluído. Portanto, sou grato pela experiência vivida nestes dois anos.

*“– Pois bem, quem és então?*

*– Sou parte da Energia  
Que sempre o Mal pretende e que o Bem sempre cria.”*

*Goethe, Fausto*

## RESUMO

SOUZA NETO, Jussê Gonçalves de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2023. **Produção e microambiente de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) a diferentes distâncias de renques de cedro-australiano e eucalipto.** Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos. Coorientador: Sílvio Nolasco de Oliveira Neto.

Em decorrência das mudanças climáticas é esperado que a cultura do cafeeiro arábica sofra alterações no seu desenvolvimento e produtividade. O cultivo do cafeeiro em Sistemas Agroflorestais (SAF) apresenta potencial de mitigar alterações negativas do clima, vide os extremos climáticos, resultando em menores estresses ambientais ao cafeeiro. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da espécie arbórea e da distância entre os cafeeiros e as árvores sobre o microclima e a produtividade do cafeeiro. O experimento localizou-se no município de Coimbra, Região das Matas de Minas Gerais, a 825 m de altitude, numa encosta com 21% de declividade e face de exposição solar sudeste a 142° SE. Foi conduzido entre setembro de 2021 e junho de 2022, instalado em uma lavoura de *Coffea arabica* L. cv. Catuaí 144, implantada em 2006. O espaçamento entre as plantas foi de 2,80 × 0,70 m, resultando em 5102 plantas/ha. Os renques de árvores foram implantados em 2006, utilizando-se duas espécies arbóreas (*Eucalyptus* sp. e *Toona ciliata* M. Roem. var. *Australis*), com espaçamento entre plantas de 1,82 e 3,43 m. As variáveis microclimáticas (potencial matricial do solo a 20 e a 40 cm de profundidade, temperaturas máxima, média e mínima do ar e radiação fotossinteticamente ativa) foram avaliadas, assim como a produtividade na safra 2021/22 foi estimada. Houve redução da produtividade conforme a proximidade do renque de eucaliptos, possivelmente causada pela competição por água, ainda que o ano agrícola tenha apresentado adequada disponibilidade hídrica para a região. A flutuação da temperatura do ar foi menor nos cafeeiros sombreados pelo eucalipto. O cafeeiro associado ao cedro-australiano apresentou produtividade (46,29 sacas/ha) superior à média da região cafeeicultora (23,10 sacas/ha). Não houve diferença na radiação fotossinteticamente ativa disponível aos cafeeiros, independentemente da espécie arbórea ou distância dos cafeeiros ao renque. Conclui-se que o cedro-australiano pouco influencia nas variáveis microclimáticas avaliadas e na produtividade do cafeeiro. Temperaturas do ar mais altas estão relacionadas a maiores produtividades na associação com o Eucalipto.

Palavras-chave: Café. Sombreamento. Produtividade. Microclima.

## ABSTRACT

SOUZA NETO, Jussié Gonçalves de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2023. **Yield and microclimate of coffee trees (*Coffea arabica* L.) cropped at different distances from australian cedar and eucalyptus alleys.** Adviser: Ricardo Henrique Silva Santos. Co-Adviser: Sílvio Nolasco de Oliveira Neto.

As a result of climate change, it is expected that the Arabica coffee crop will undergo changes in its development and productivity. Coffee cultivation in Agroforestry Systems (SAF) has the potential to mitigate negative climate changes, for instance, climate extremes, resulting in lower environmental stresses to the coffee tree. The objective of this work was to evaluate the effect of the tree species and the distance between the coffee trees and the trees on the microclimate and the productivity of the coffee tree. The experiment was located in the municipality of Coimbra, Forest Region of Minas Gerais, at 825 m altitude, on a slope with 21% slope and face of sun exposure southeast at 142° SE. It was conducted between September 2021 and June 2022, installed in a crop of *Coffea arabica* L. cv. Catuaí 144, implemented in 2006. The spacing between plants was 2.80 × 0.70 m, resulting in 5102 plants/ha. The tree alleys were implanted in 2006, using two tree species (*Eucalyptus* sp. and *Toona ciliata* M. Roem. var. *Australis*), with plant spacing of 1.82 and 3.43 m. The microclimatic variables (soil matrix potential at 20 and 40 cm depth, maximum, average and minimum air temperatures and photosynthetically active radiation) were evaluated, as well as the productivity in the 2021/22 harvest was estimated. There was a reduction in productivity according to the proximity of the Eucalyptus yield, possibly caused by competition for water, although the agricultural year presented adequate water availability for the region. The fluctuation of air temperature was lower in coffee trees shaded by Eucalyptus. The coffee tree associated with Australian cedar presented productivity (46.29 bags/ha) higher than the average of the coffee-growing region (23.10 bags/ha). There was no difference in the photosynthetically active radiation available to the coffee trees, regardless of the tree species or distance from the coffee trees to the alley. It is concluded that the Australian cedar has little influence on the microclimatic variables evaluated and on the productivity of the coffee tree. Higher air temperatures are related to higher productivity in the association with Eucalyptus.

Keywords: Coffee. Shading. Yield. Microclimate.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	9
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
3. RESULTADOS .....	18
4. DISCUSSÃO .....	26
5. CONCLUSÕES .....	32
6. CONSIDERAÇÕES.....	33
REFERÊNCIAS .....	34

## 1. INTRODUÇÃO

Aproximadamente 2,25 bilhões de xícaras de café são consumidas diariamente no mundo (Renolon, 2022; Torres-Valenzuela et al., 2019). O complexo cafeeiro gera anualmente 200 bilhões de dólares ao redor do mundo, com uma tendência de crescimento de 2,2% ao ano (The Coffee Guide, 2021). Há mais de 12,5 milhões de propriedades rurais dentro da cadeia produtiva do cafeeiro, sendo 60% destas de pequenos agricultores produzindo em áreas menores que 5 ha (Enveritas, 2019). Uma grande proporção de pequenos cafeicultores vive abaixo da linha da pobreza com 3,20 dólares por dia (The Coffee Guide, 2021).

Tendo em vista a grande escala de consumo, importância econômica e cultural, e, sendo o cafeeiro uma espécie sensivelmente afetada pela variação do clima, o aumento da frequência de extremos climáticos poderá comprometer sua produção nos próximos anos (Chengappa et al., 2017; Asayehgn et al., 2018; Rahn et al., 2018; Grüter et al., 2022). O Brasil é o maior produtor e segundo maior consumidor de café no mundo (Volsi et al., 2018; CONAB, 2022). A região das Matas de Minas produz, aproximadamente, 24% do total do café arábica de Minas Gerais, concentrando 30% dos produtores, sendo 80% constituído de pequenas propriedades (3 a 20 ha) (IBGE, 2006; CECMM, 2018; CONAB, 2022).

Considerando a relevância dessa cultura a nível nacional, estadual e regional, práticas agrícolas que aumentem a resiliência do agroecossistema são essenciais para a sua viabilidade no país, especialmente aos pequenos produtores, os quais são mais vulneráveis à volatilidade do clima e do mercado. O cultivo do cafeeiro em associação com uma ou mais espécies arbóreas é considerado uma prática agroflorestal (Pham et al., 2019), com o potencial de aumentar a resiliência dos agroecossistemas (Sebuliba et al., 2021).

De maneira geral, o cultivo do cafeeiro com espécies florestais utiliza espaçamentos menos adensados que os comumente utilizados pelo componente arbóreo e agrícola, para reduzir a competição inter espécies. Além disso, objetiva-se receitas a curto (culturas de ciclo curto), médio (espécies perenes) e longo prazo (espécies perenes de crescimento lento, porém de alto valor agregado). Dessa forma, o componente arbóreo apresenta o potencial de diversificar a renda do produtor e melhorar a Segurança Alimentar (Mbow et al., 2014).

Uma série de benefícios do cultivo de cafeeiro em consórcio com outras espécies arbóreas é relatada na literatura, como por exemplo a redução da flutuação da temperatura do ar, da radiação solar direta, da velocidade do vento e de danos por geada, bem como o aumento da umidade relativa do ar e a conservação da umidade do solo (Oliosi et al., 2016; Coltri et al., 2019; Sarmiento-Soler et al., 2019; Rigal et al., 2020).

Em relação aos resultados do café sombreado no Brasil, as experiências apresentam distintos comportamentos produtivos. No norte do Paraná, o consórcio com grevilea com densidade de até 71 plantas/ha não reduziu a produtividade do cafeeiro durante dez safras avaliadas (Baggio et al., 1997). Com a mesma espécie, no sudoeste da Bahia, espaçamentos superiores a 140 árvores/ha eliminam seus efeitos benéficos e reduzem a produtividade (Matsumoto e Viana, 2004). Em Brasília, o consórcio com Catuaí rubi e Mogno (*Swietenia macrophylla* King.) resultou em uma produção de 72 sacas/ha (Melo e Guimarães, 2000). Apesar disso, os consórcios podem resultar em produtividades tão baixas quanto 4 sacas/ha (Campanha et al., 2004). Em relação ao café conilon, o consórcio com seringueira somente não reduziu as produtividades quando alocados de 30 a 40 m de distância (Machado Filho et al., 2013).

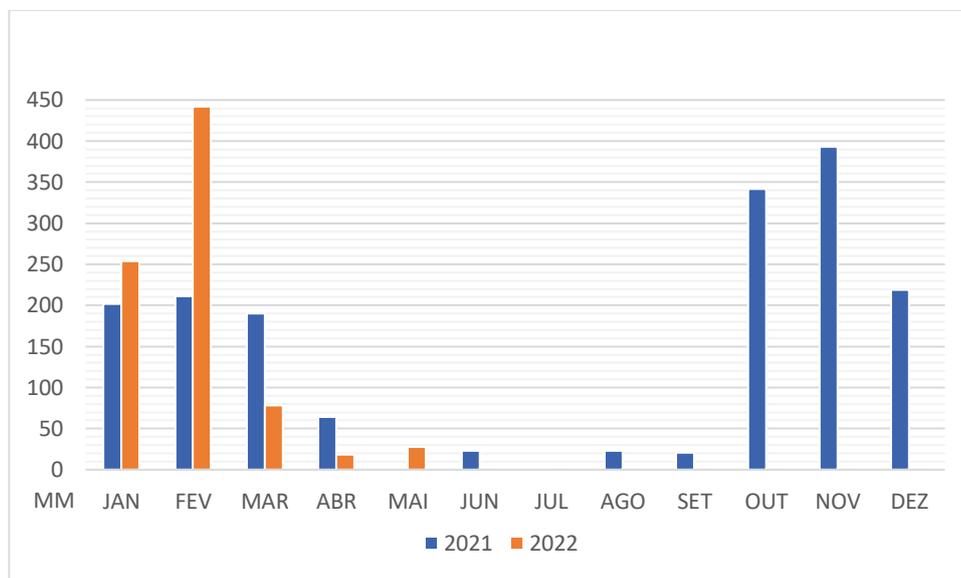
Portanto, para o êxito desse sistema, é fundamental a escolha do componente arbóreo e que seu arranjo espacial tenha como finalidade possibilitar os referidos benefícios, ao mesmo tempo evitar reduzir a produção do cafeeiro devido a competição por recursos de crescimento (Campanha et al., 2004; Martinez et al., 2004; Jaramillo-Botero et al., 2010; Santos et al., 2013). A escolha de espécies que possuem características como raízes profundas, crescimento lento (Sales et al., 2013) e baixas taxas de transpiração (van Kanten e Vaast, 2006) apresentam menores chances de prejudicar o desenvolvimento do cafeeiro. Dessa forma, é essencial conhecer os efeitos no microclima resultado da adição deste componente, bem como os efeitos da espécie arbórea e da distância entre as espécies arbórea e o cafeeiro no sistema, viabilizando e aumentando assim a adoção da prática agroflorestal por parte dos agricultores.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar se espécies arbóreas e a distância de cultivo influenciam no microclima e na produtividade do cafeeiro.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área experimental

A área está localizada no município de Coimbra (20°50'57" S e 42°50'5" O), Zona da Mata de Minas Gerais, a 825 m de altitude, possuindo 21% de declividade e face de exposição solar sudeste a 142° SE. O solo é de textura argilosa, composto de 54 % de argila, 13 % de silte e 33 % de areia total. As condições climáticas foram classificadas como Cwa, tropical de altitude, (inverno seco e verão morno) segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (1936), adaptada por Alvares et al. (2014). A pluviosidade acumulada da área em 2021 e janeiro a junho/2022 foi de 1688 e 822 mm, respectivamente (Figura 1).



**Figura 1:** Pluviosidade (mm) mensal de janeiro/2021 a junho/2022 na área experimental, na Fazenda Ouro verde II, Coimbra/MG.

O experimento foi conduzido entre setembro de 2021 e junho de 2022, instalado em uma lavoura de *Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho IAC 144, implantada em 2006, sendo sua última poda (esqueletamento) realizada em agosto de 2020. A vegetação anterior à implantação da lavoura de cafeeiro era composta por pasto sujo, com predominância da *Brachiaria* spp. O espaçamento entre as plantas era de 2,80 × 0,70 m, com 5102 plantas/ha. Os renques de *Eucalyptus* sp. (Eucalipto) já estavam estabelecidos na propriedade antes da implantação do cafeeiro. Os renques de *Toona ciliata* M. Roem. var. *Australis* (Cedro-australiano) foram implantados em 2006. O espaçamento entre plantas era de 1,82 e 3,43 m, para Eucalipto e Cedro-australiano respectivamente. Durante a condução do experimento o diâmetro médio a 1,3 m das árvores era de 102,7 e 102,5 cm e altura média de 26 e 18 m, para Eucalipto e Cedro-australiano respectivamente.

## 2.2 Caracterização do manejo do cafeeiro

A adubação foi realizada com fertilizante organomineral, composto de ureia, fostato monoamônico e cloreto de potássio, a fonte de matéria orgânica foi de origem 100% vegetal (papel e celulose) além da adição de ácidos húmicos e fúlvicos. A dosagem aplicada foi de 420 g de NPK (14-02-14) por planta na primeira semana de outubro/2021.

Os fertilizantes aplicados por pulverização foliar e suas dosagens foram: Produto I (500 mL/ha), Produto II (2,5 L/ha), Produto III (2 L/ha) e Produto IV (800 mL/ha). Em todas as aplicações foi adicionado 1% (12,3 g/L) de sulfato de magnésio na calda. As garantias dos nutrientes, informados em g/L, na bula dos produtos foi de 123 de carbono orgânico total, 36,9 de N e 61,5 de Cu solúvel em água (Produto I), 67 de N, 50,9 de S, 6,7 de B, 40,2 de Fe e 67 de Zn (Produto II), 61,5 de N, 49,2 de B, 55,4 de Zn, 2,1 de Cu solúvel em água e 0,185 de Mo (Produto III) e 65 de N, 65 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 13 de S, 26 de Co e 39 de Mo (Produto IV). Quanto à época de pulverização, o Produto I foi aplicado após a poda de esqueletamento e, no ano de produção, na pré e pós-florada do cafeeiro, os Produtos II e III foram aplicados em dezembro/2021 e o Produto IV foi aplicado em conjunto com as demais pulverizações foliares.

Para correção da acidez do solo foi aplicado, em setembro/2021, 3,0 t.ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, contendo 33-38% de CaO, 16-18% de MgO e 80-90% de PRNT. Em março/2022 foi aplicado novamente a mesma quantidade de calcário dolomítico, contendo 36-40% de CaO, 8-12% de MgO e 95-100% de PRNT.

A caracterização química do solo e o resultado de análise foliar do talhão em 2021 estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1.** Caracterização química de amostras do solo do talhão em que o experimento estava localizado, em março/2021

Profundidade	pH <sub>(H<sub>2</sub>O)</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>3+</sup>	SB	(t)	(T)	V	m
cm		cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>							%	
0-20	4,7	1,2	0,6	0,8	11,2	2,1	2,9	13,3	15,7	27,7

Profundidade	M.O.	Zn	Fe	Mn	Cu	B	P-rem	P	K
cm	dag/kg	mg/dm <sup>3</sup>					mg/L	mg/dm <sup>3</sup>	
0-20	4,03	2,0	73,4	9,1	0,8	0,85	20,5	57,6	100

**Legenda:** pH em água, KCl e CaCl<sub>2</sub> – Relação 1:2,5; P – K – Fe – Zn – Mn- Cu – Extrator Mehlich 1; Ca – Mg – Al – Extrator: KCl – 1 mol/L; H + Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L – pH 7,0; B – Extrator água quente; S – Extrator – Fosfato monocálcico em ácido

acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; M.O. (Matéria orgânica) = C.Org x 1,724 – Walkley-Black e P-rem = Fósforo Remanescente.

**Tabela 2.** Resultado de análise foliar de amostras do talhão em que o experimento estava localizado, em fevereiro/2021

Nutrientes										
N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B
g/kg						mg/kg				
28,0	1,90	26,8	12,3	3,60	1,50	6,40	50,80	200,0	14,00	75,10

O manejo da poda do cafeeiro utilizado na propriedade foi o sistema Safra Zero, que consiste na poda cíclica do cafeeiro, a qual é realizada na propriedade, no máximo até a primeira de quinzena de agosto, a poda de esqueletamento seguido do decote no ano de produção. Para o controle químico de plantas espontâneas foi utilizado herbicidas à base de glifosato e clorimurrom-etílico. Na pulverização via solo foi utilizado um inseticida à base de tiametoxam e ciproconazol, na pulverização foliar, fungicidas sistêmicos à base de azoxistrobina, difenoconazol e ciproconazol.

O cronograma com a época de cada prática de manejo do cafeeiro arábica, na Fazenda Ouro Verde II, nos anos de crescimento vegetativo e de produção do sistema Safra Zero estão apresentadas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

**Tabela 3.** Cronograma de práticas de manejo do cafeeiro arábica no ano 1 (crescimento vegetativo), na Fazenda Ouro verde II, em Coimbra/MG

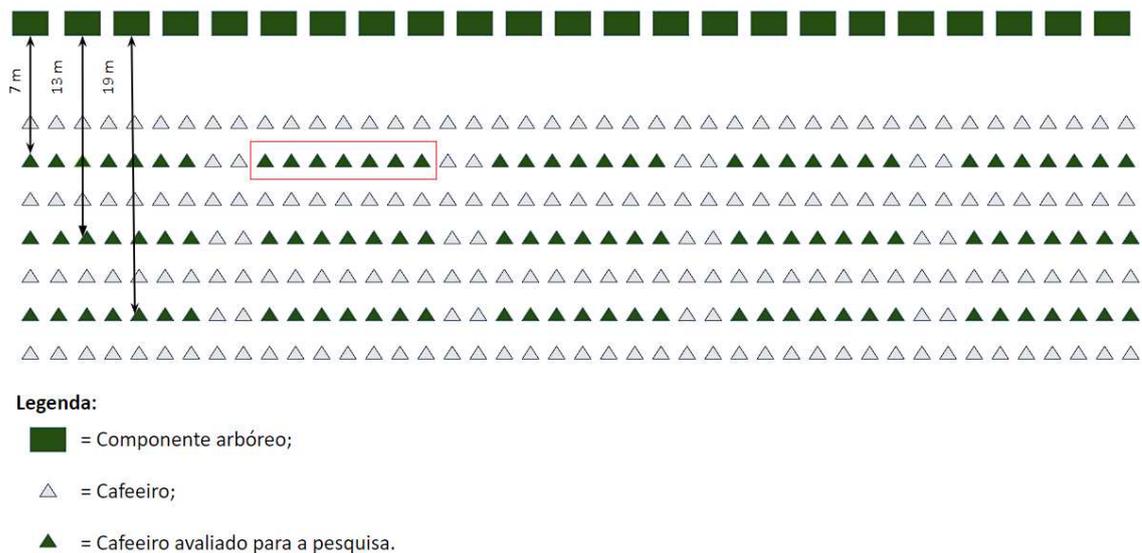
Atividade	Ano 1 (Crescimento vegetativo)											
	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	maio
Colheita	x											
Esqueletamento + decote			x									
Controle de plantas espontâneas (roçada)				x				x				
Controle de plantas espontâneas (controle químico)				x								
Desbrota				x			x		x			
Adubação					x							
Calcário					x							
Pulverização via solo						x						

Pulverização foliar			X	X			X		X
---------------------	--	--	---	---	--	--	---	--	---

**Tabela 4.** Cronograma de práticas de manejo do cafeeiro arábica no ano 2 (ano de produção), na Fazenda Ouro verde II, em Coimbra/MG

Atividade	Ano 2 (Ano de produção)												
	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	maio	jun
Pulverização pré e pós-florada				X									
Adubação					X								
Controle de plantas espontâneas (roçada)				X				X					
Controle de plantas espontâneas (controle químico)				X									
Pulverização via solo						X							
Pulverização foliar						X				X			
Colheita													X

As parcelas experimentais foram constituídas de sete plantas, alocadas em três distâncias (7, 13 e 19 metros) do renque de árvores, com cinco repetições, conforme a Figura 2.



**Figura 2:** Croqui do experimento no qual os retângulos representam o componente arbóreo e os triângulos marcados em verde, os cafeeiros avaliados para a pesquisa. Sete plantas representam uma parcela.

## 2.3. Avaliação das características microclimáticas e do potencial matricial do solo

### 2.3.1 Potencial matricial do solo

Os tensiômetros foram instalados a 10 e 30 cm de profundidade, representando as camadas de solo a 0-20 e 20-40 cm respectivamente, e a 0,5 m de distância da planta central de cada parcela, totalizando 30 tensiômetros por renque de espécie arbórea. As leituras, utilizando tensímetro de punção, foram realizadas a cada 15 dias, de setembro de 2021 a junho de 2022. Os tensiômetros eram completados com água após cada leitura. As perfurações no solo foram realizadas com um trado holandês, em seguida umedecido com água. Após isto, o tensiômetro foi inserido e o solo, ao redor na superfície, levemente pressionado.

### **2.3.2 Radiação Fotossinteticamente Ativa**

Para determinar os valores de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) disponível aos cafeeiros, foi utilizado um ceptômetro SunScan modelo Delta – T Device, por meio de seis leituras por parcela, três de cada lado das fileiras de plantas, totalizando 30 leituras por tratamento. As medições foram realizadas quinzenalmente, em horário próximo ao meio-dia. O valor da RFA da parcela em cada data corresponde à média das seis leituras.

### **2.3.3 Temperatura do Ar**

A temperatura do ar foi monitorada quinzenalmente por meio de termômetros de máxima e mínima, distribuídos em cada parcela, fixados à 1,6 m do solo e protegidos da incidência direta do sol, totalizando 15 termômetros por renque de espécie arbórea. A temperatura média foi calculada por meio da média aritmética das temperaturas máxima e mínima.

## **2.4. Colheita e processamento pós-colheita do cafeeiro**

A safra 2021/22 foi a primeira colheita após o esqueletamento do cafezal, ocorrido em 2020. Todas as plantas das parcelas foram colhidas por derriça no pano, colhendo-se frutos nos diferentes estádios de maturação.

A colheita do café foi realizada em 11/06/22, pela manhã. Após a colheita os frutos foram transportados ao Laboratório de Agroecologia da UFV, sendo quantificada a produção de café fresco de cada parcela. A produção total de frutos foi destinada ao processamento pós-colheita por via seca.

Os grãos processados permaneceram no terreiro por 21 dias, terminando a secagem em estufa de circulação forçada de ar, programada com temperatura média diária de 30 °C. Durante a secagem, o teor de água dos grãos foi monitorado, em dias alternados, em equipamento Gehaka Agri – G800. Após atingir o teor de umidade entre 11 e 12%, foram

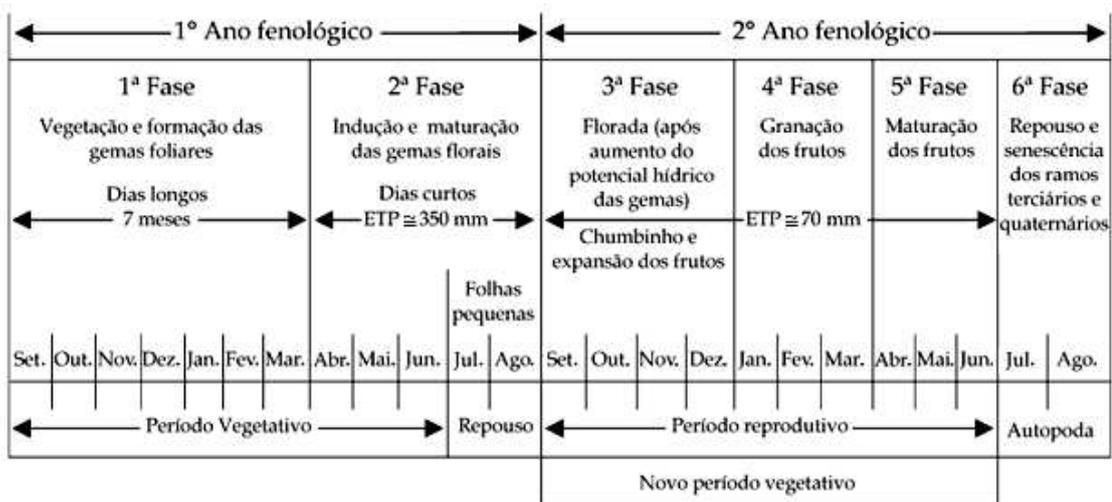
embalados em sacos de nylon, colocados em caixas de isopor e armazenados no Laboratório de Agroecologia da UFV.

#### 2.4.1 Produtividade em sacas/ha

Após o beneficiamento dos grãos de cada repetição, a produtividade do café beneficiado foi estimada e expressa em sacas/ha.

#### 2.5. Análise dos dados

Como forma de facilitar a observação e separar a associação do microclima e a produtividade, foi utilizada a esquematização das diferentes fases fenológicas do cafeeiro de acordo com Camargo & Camargo, (2001). Assim, o experimento foi conduzido durante os meses de setembro/2021 a junho/2022, que corresponde ao período reprodutivo da 3ª, 4ª e 5ª fase fenológica do cafeeiro nas condições climáticas tropicais do Brasil (Figura 3).



**Figura 3:** Esquematização das seis fases fenológicas do cafeeiro arábica, durante 24 meses, nas condições climáticas tropicais do Brasil (Camargo & Camargo, 2001).

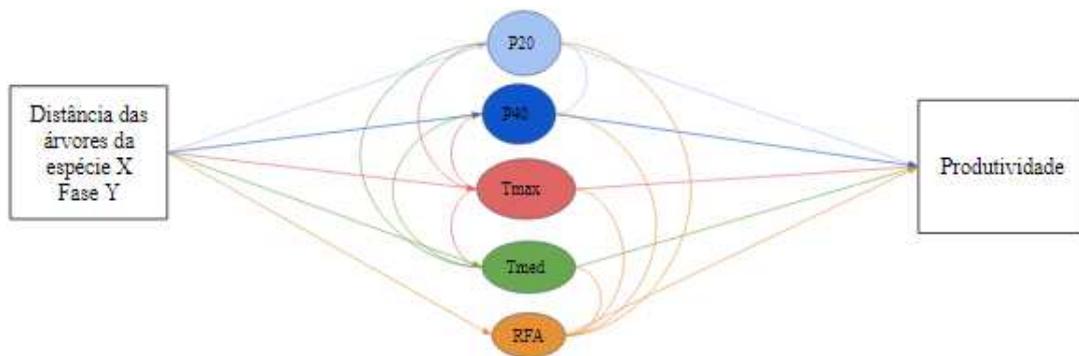
A 3ª fase, compreendida entre os meses de setembro a dezembro, é iniciada com a florada que, após a fecundação, origina os chumbinhos e que contém a etapa de expansão rápida dos frutos. A 4ª fase, compreendendo os meses de janeiro a março, é caracterizada pela granação dos frutos, nessa fase os líquidos internos se solidificam, dando forma ao grão. Já na 5ª fase, nos meses de abril a junho, ocorre a maturação dos frutos.

Foram estimadas as correlações para cada fase de desenvolvimento do fruto do cafeeiro. A partir das matrizes de correlações de cada fase, foi realizada a análise de trilha, onde a variável dependente (principal) foi a produtividade do cafeeiro, com o objetivo de

verificar quais características do microclima das diferentes espécies arbóreas e suas distâncias influenciam a variável principal. O modelo das associações entre as variáveis está descrito na Figura 4. Somente os efeitos indiretos com sentido biológico foram mantidos no modelo final da análise de trilha.

Antes de realizar a análise de trilha, o diagnóstico de multicolinearidade da matriz singular  $X'X$  (potencial matricial do solo a 20 cm, potencial matricial do solo a 40 cm, temperaturas máxima, média e mínima do ar e radiação fotossinteticamente ativa) foi executado, com base no número de condições (NC), de acordo com Montgomery et al. (2012). Quando  $NC < 100$ , a multicolinearidade é considerada fraca; quando  $100 < NC < 1000$ , moderada a severa, e quando  $NC > 1000$ , severa.

A variável microclimática temperatura mínima ( $T_{min}$ ) revelou multicolinearidade severa ( $NC \sim 6000$ ) para todas as fases após o diagnóstico, então optou-se pela retirada desta variável. O diagnóstico de multicolinearidade e análise de trilha foram realizadas utilizando o software RStudio (R Core Team, 2019).



**Figura 4:** Modelo da análise de trilha para as associações entre a distância do renque da espécie arbórea e as características do microclima e a produtividade do cafeeiro (sacas/ha), para cada fase do desenvolvimento do fruto. As linhas que conectam as variáveis microclimáticas (P20, P40,  $T_{max}$ ,  $T_{med}$  e RFA) entre si são os efeitos indiretos. As demais linhas são os efeitos diretos da análise de trilha.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Estatística descritiva

As médias do potencial matricial do solo a 20 e 40 cm de profundidade, temperaturas máxima, mínima e média do ar, e radiação fotossinteticamente ativa, estão apresentadas nas Tabelas 5, 6 e 7. As médias de produtividade do cafeeiro, em função da distância e espécie arbórea estão apresentadas na Tabela 8.

**Tabela 5.** Valores médios  $\pm$  erro-padrão do Potencial Matricial do solo a 20 cm (P20) e a 40 cm (P40) de profundidade, Temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin), média (Tmed) e Radiação fotossinteticamente ativa (RFA), durante a fase de florescimento, chumbinho e expansão dos frutos (Fase 1), compreendendo os meses de setembro a dezembro de 2021

Tratamento	P20	P40	Tmax	Tmin	Tmed	RFA
	kPa $\pm$ 0,24	kPa $\pm$ 0,23	$^{\circ}$ C $\pm$ 0,58	$^{\circ}$ C $\pm$ 0,10	$^{\circ}$ C $\pm$ 0,24	$\mu\text{mol (photons)/m}^{-2}$ $\text{s}^{-1} \pm 15,91$
	(n = 35)	(n = 35)	(n = 20)	(n = 20)	(n = 20)	(n = 30)
Eucalipto D1	-21,1	-23,8	33,5	15,8	24,7	613,1
Eucalipto D2	-17,8	-21,0	38,6	15,1	26,9	802,8
Eucalipto D3	-18,0	-23,4	40,2	14,8	27,5	623,8
Cedro D1	-17,4	-22,1	37,9	14,8	26,4	669,3
Cedro D2	-19,0	-20,5	40,8	14,5	27,7	686,7
Cedro D3	-17,3	-21,0	38,3	15,2	26,8	813,8

**Legenda:** D1 = cafeeiro alocado a 7 metros de distância do renque de árvores, D2 = cafeeiro alocado a 13 metros de distância do renque de árvores e D3 = cafeeiro alocado a 19 metros de distância do renque de árvores.

**Tabela 6.** Valores médios  $\pm$  erro-padrão do Potencial Matricial do solo a 20 cm (P20) e a 40 cm (P40) de profundidade, Temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin), média (Tmed) e Radiação fotossinteticamente ativa (RFA), durante a fase de granação (Fase 2), compreendendo os meses de janeiro a março de 2022

Continua...

...conclusão

Tratamento	P20	P40	Tmax	Tmin	Tmed	RFA
	kPa ± 0,79	kPa ± 1,00	°C ± 0,25	°C ± 0,08	°C ± 0,11	$\mu\text{mol (photons)/m}^{-2}$ $\text{s}^{-1} \pm 26,21$
	(n = 30)	(n = 30)	(n = 30)	(n = 30)	(n = 30)	(n = 30)
Eucalipto D1	-35,8	-40,2	34,2	16,8	25,5	500,0
Eucalipto D2	-27,6	-28,6	35,4	16,5	26,0	595,4
Eucalipto D3	-31,4	-26,9	37,7	16,6	27,2	548,1
Cedro D1	-26,6	-26,4	37,3	16,2	26,8	706,1
Cedro D2	-30,4	-29,7	37,3	15,6	26,5	840,0
Cedro D3	-23,3	-25,1	37,1	16,5	26,8	823,3

**Legenda:** D1 = cafeeiro alocado a 7 metros de distância do renque de árvores, D2 = cafeeiro alocado a 13 metros de distância do renque de árvores e D3 = cafeeiro alocado a 19 metros de distância do renque de árvores.

**Tabela 7.** Valores médios ± erro-padrão do Potencial Matricial do solo a 20 cm (P20) e a 40 cm (P40) de profundidade, Temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin), média (Tmed) e Radiação fotossinteticamente ativa (RFA), durante a fase de maturação dos frutos (Fase 3), compreendendo os meses de abril a junho de 2022

Tratamento	P20	P40	Tmax	Tmin	Tmed	RFA
	kPa ± 2,63	kPa ± 1,69	°C ± 0,28	°C ± 0,13	°C ± 0,11	$\mu\text{mol (photons)/m}^{-2}$ $\text{s}^{-1} \pm 13,58$
	(n = 35)	(n = 35)	(n = 35)	(n = 35)	(n = 35)	(n = 35)
Eucalipto D1	-81,3	-86,6	30,1	11,6	20,9	232,3
Eucalipto D2	-76,0	-81,0	29,4	10,4	19,9	376,7
Eucalipto D3	-75,1	-71,3	30,6	10,0	20,3	331,4
Cedro D1	-61,0	-67,9	30,6	10,1	20,4	221,2
Cedro D2	-57,7	-64,2	32,7	9,2	21,0	425,3

Cedro D3      -39,5      -60,6      33,7      9,9      21,8      340,2

**Legenda:** D1 = cafeeiro alocado a 7 metros de distância do renque de árvores, D2 = cafeeiro alocado a 13 metros de distância do renque de árvores e D3 = cafeeiro alocado a 19 metros de distância do renque de árvores.

**Tabela 8.** Valores médios ( $\pm$  desvio-padrão) de produtividade do cafeeiro em função da espécie arbórea e a distância do renque

Tratamento	Eucalipto (D1)	Eucalipto (D2)	Eucalipto (D3)	Cedro (D1)	Cedro (D2)	Cedro (D3)
Produtividade (sacas/ha)	22,08 $\pm$ 10,13	27,33 $\pm$ 10,13	31,54 $\pm$ 10,13	47,04 $\pm$ 10,13	45,54 $\pm$ 10,13	39,53 $\pm$ 10,13

**Legenda:** D1 = cafeeiro alocado a 7 metros de distância do renque de árvores, D2 = cafeeiro alocado a 13 metros de distância do renque de árvores e D3 = cafeeiro alocado a 19 metros de distância do renque de árvores.

Os maiores valores do P20 e P40, em geral, foram obtidos nas distâncias mais próximas do renque de árvores, sendo que na fase de maturação dos frutos, foi possível observar que todos os tratamentos apresentaram este comportamento. Os maiores valores de potencial mátrico estão relacionados a uma menor disponibilidade de água no sistema.

A Tmax foi mais alta quanto maior a distância do renque de eucaliptos, sendo observada esta relação nas fases de florescimento, chumbinho e expansão dos frutos e granação. Com respeito a Tmin, o comportamento foi o inverso nas fases de florescimento, chumbinho e expansão dos frutos e maturação. O mesmo padrão não pôde ser observado no renque de cedros, visto que apenas na fase de maturação foi observado que o valor mais baixo de Tmax foi na distância mais próxima ao renque.

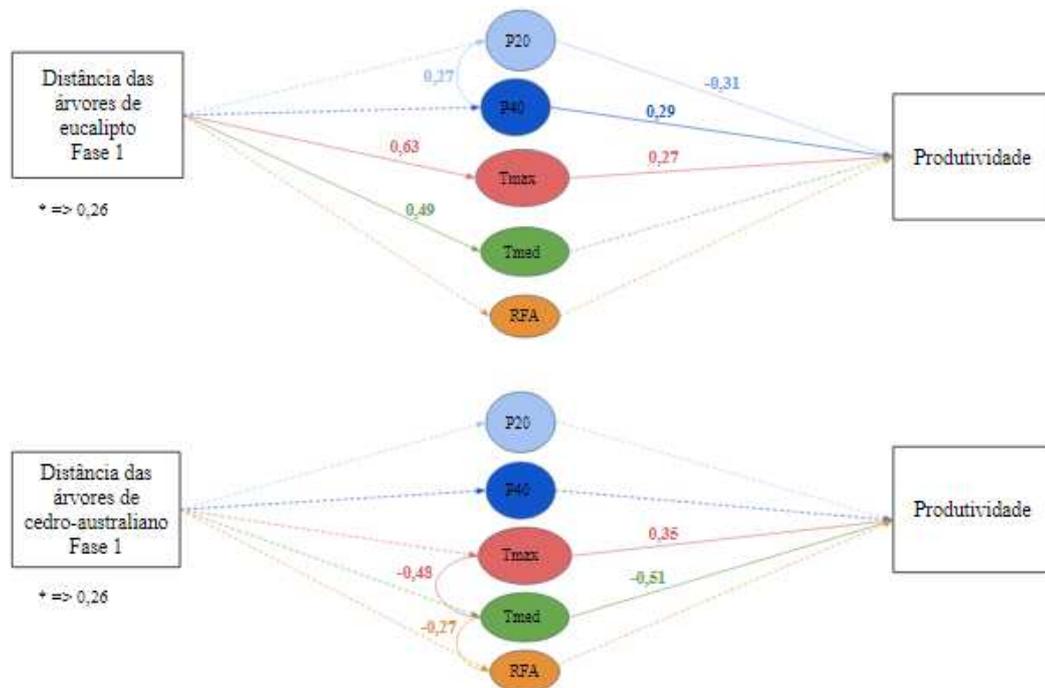
Os valores da RFA obtidos foram variáveis em função da espécie florestal e distância do renque. Com exceção das médias obtidas na fase de florescimento, chumbinho e expansão dos frutos no renque de eucaliptos, os menores valores de RFA foram obtidos nas distâncias mais próximas do renque de árvores.

A produtividade estimada dos cafeeiros foi menor no sistema com o renque de eucaliptos, obtendo 22,1 – 27,4 sacas/ha, quando comparado a 47,1 – 45,6 sacas/ha dos cafeeiros associados ao renque de cedros. Como informado pelos proprietários da fazenda, a produtividade dos cafeeiros no talhão em que o experimento foi conduzido foi de, aproximadamente, 38 sacas/ha, representando um valor intermediário entre a produtividade dos cafeeiros dos renques de Eucalipto e Cedro-australiano.

## 3.2. Análise de Trilha

### 3.2.1. Fase 1 (Florescimento, chumbinho e expansão dos frutos)

A análise de trilha, na fase de florescimento, chumbinho e expansão dos frutos, das associações entre a distância dos renques das árvores e as variáveis microclimáticas e produtividade dos cafeeiros está apresentada na Figura 5.



**Figura 5:** Análise de trilha das associações entre a distância dos renques de eucalipto e cedro-australiano e as variáveis microclimáticas P20 (Potencial matricial a 20 cm de profundidade), P40 (Potencial matricial a 40 cm de profundidade), Tmax (Temperatura máxima do ar), Tmed (Temperatura média do ar) e RFA (Radiação fotossinteticamente ativa) durante a fase de florescimento, chumbinho e primeira expansão dos frutos, correspondente aos meses de setembro a dezembro de 2021, e produtividade dos cafeeiros. As linhas pontilhadas das correlações representam resultados estatisticamente não significativos.

Na fase de florescimento, chumbinho e expansão dos frutos (Figura 5), houve relação positiva entre a distância do renque de eucaliptos e as temperaturas máxima (Tmax) e média do ar (Tmed). A produtividade foi associada negativamente com o potencial matricial a 20 cm de profundidade (P20) e positivamente com o potencial matricial a 40 cm de profundidade (P40) e a Tmax. Houve associação positiva entre o P20 e P40.

Nessa fase, em associação com o eucalipto, quanto maior a distância do renque de árvores, maiores as temperaturas máxima e média do ar nas proximidades dos cafeeiros.

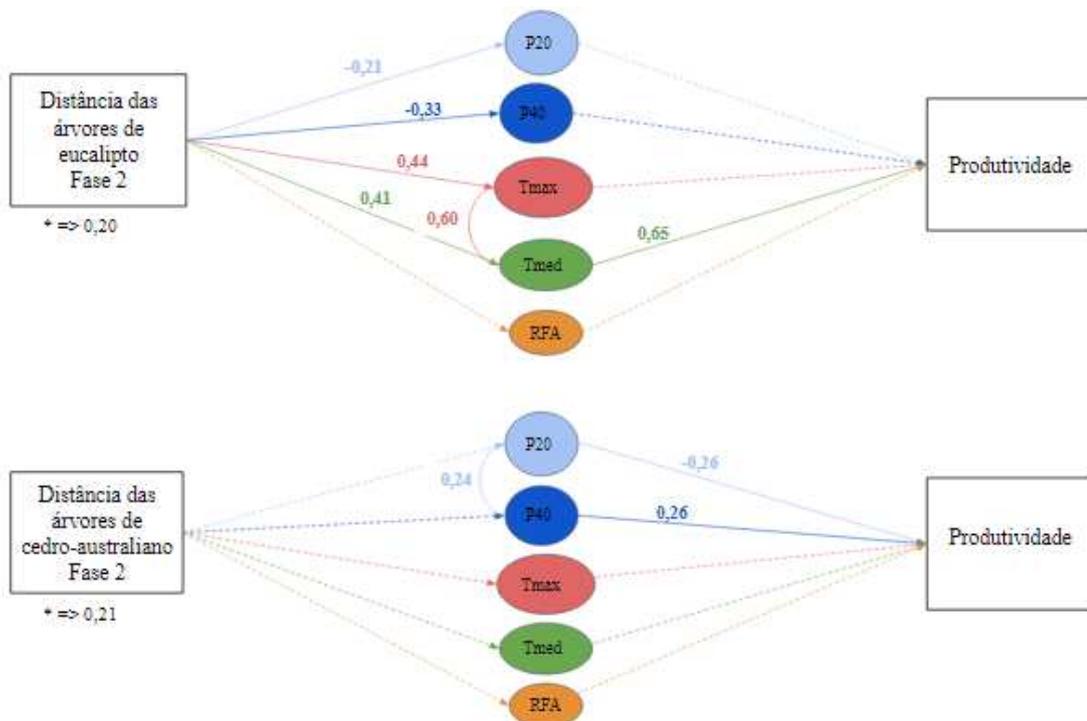
Também nessa associação, quanto maiores as temperaturas máximas e mais úmido o solo a 20 cm de profundidade, e mais seco a 40 cm, maiores foram as produtividades. Maiores valores do potencial matricial a 20 cm de profundidade estiveram associados a maiores valores do potencial matricial a 40 cm de profundidade.

Não houve associação significativa entre a distância do renque de cedros e as características do microclima (Figura 5), durante a fase florescimento, chumbinho e expansão dos frutos. Nessa situação, houve associação positiva entre a Tmax e a produtividade e associação negativa entre a Tmed e a produtividade. Houve associação negativa entre a Tmax e a Tmed, bem como associação negativa entre a Tmed e a RFA.

Na fase de florescimento, chumbinho e expansão dos frutos, correspondente aos meses de setembro a dezembro, a distância dos cafeeiros ao renque de cedro não influenciou as variáveis microclimáticas avaliadas. Nessa fase, na associação com o cedro, quanto maiores as temperaturas máximas, maiores as produtividades, embora quanto maiores as temperaturas médias, menores as produtividades. Maiores temperaturas médias estiveram associadas a menores temperaturas máximas e menor incidência de RFA nos cafeeiros. A umidade do solo não esteve associada à distância dos cafeeiros no renque dos cedros.

### 3.2.2. Fase 2 (Granação)

A análise de trilha das associações entre a distância dos renques das árvores e as variáveis microclimáticas e produtividade dos cafeeiros está apresentada na Figura 6.



**Figura 6:** Análise de trilha das associações entre a distância dos renques de eucalipto e cedro-australiano e as variáveis microclimáticas P20 (Potencial matricial a 20 cm de profundidade), P40 (Potencial matricial a 40 cm de profundidade), Tmax (Temperatura máxima do ar), Tmed (Temperatura média do ar) e RFA (Radiação fotossinteticamente ativa) durante a fase de expansão rápida à granação, correspondente aos meses de janeiro a março de 2022 e produtividade dos cafeeiros. As linhas pontilhadas das correlações representam resultados estatisticamente não significativos.

Na fase de granação (Figura 6), correspondente aos meses de janeiro a março, houve relação negativa da distância do renque de eucaliptos e o P20 e o P40. A Tmax e a Tmed apresentaram associação positiva com a distância do renque. A produtividade do cafeeiro foi associada positivamente com a Tmed. Houve associação positiva entre a Tmax e a Tmed.

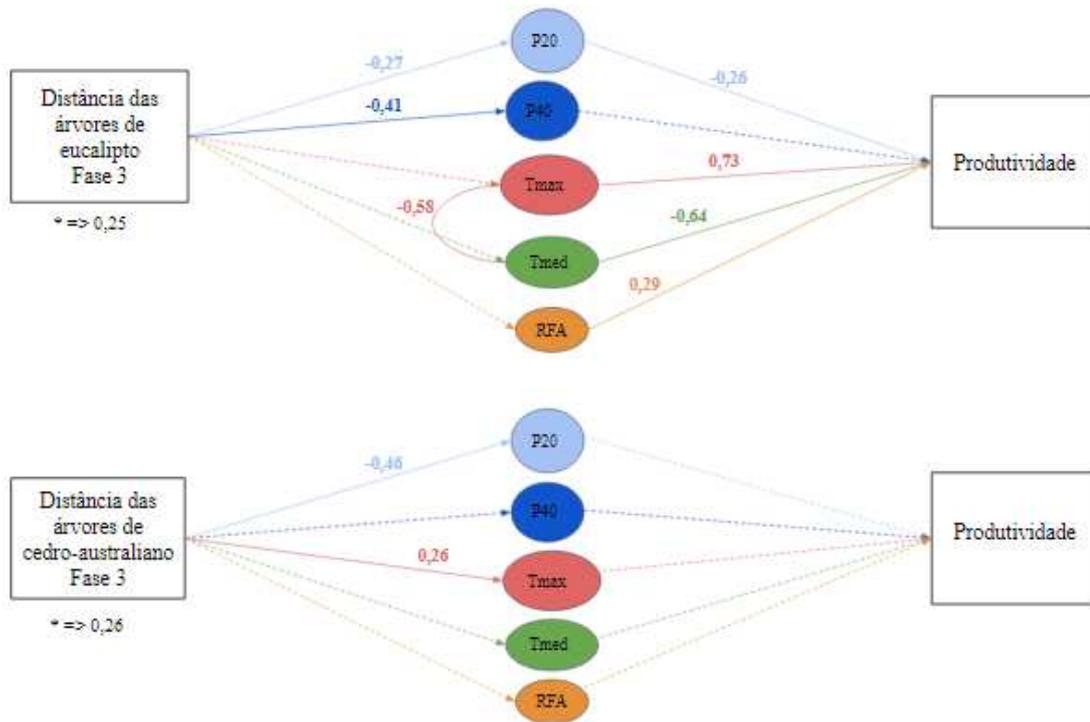
Na fase de enchimento de grão, quanto maior a distância dos cafeeiros ao renque de eucaliptos, maior a umidade do solo a 20 e 40 cm, mas estas não estiveram associadas à produtividade. Também nesta associação, quanto maior a distância do renque de eucaliptos, maiores as temperaturas média e máxima, sendo que a temperatura média esteve positivamente associada à produtividade. A distância do renque de eucaliptos não esteve associada à disponibilidade de RFA aos cafeeiros.

Não houve associação significativa entre a distância do renque de cedros e as características do microclima e a umidade do solo (Figura 6), durante a fase de expansão rápida/granação. Nessa situação, a produtividade esteve negativamente associada com o P20 e positivamente com o P40, embora estas características não estivessem associadas à distância do renque dos cedros. Houve associação positiva entre o P20 e o P40.

Na fase de expansão rápida/granação, nos meses de janeiro a março, a distância do renque de cedros não influenciou as variáveis microclimáticas avaliadas nos cafeeiros. Nesta fase, na associação com o cedro, quanto mais úmido o solo a 20 cm de profundidade, e mais seco a 40 cm, maiores foram as produtividades.

### **3.2.3. Fase 3 (Maturação dos frutos)**

A análise de trilha das associações entre a distância dos renques das árvores e as variáveis microclimáticas e produtividade dos cafeeiros está apresentada na Figura 7.



**Figura 7:** Análise de trilha das associações entre a distância dos renques de eucalipto e cedro-australiano e as variáveis microclimáticas P20 (Potencial matricial a 20 cm de profundidade), P40 (Potencial matricial a 40 cm de profundidade), Tmax (Temperatura máxima do ar), Tmed (Temperatura média do ar) e RFA (Radiação fotossinteticamente ativa) durante a fase de maturação dos frutos, correspondente aos meses de abril a junho de 2022 e produtividade dos cafeeiros. As linhas pontilhadas das correlações representam resultados estatisticamente não significativos.

Na fase de maturação dos frutos (Figura 7), correspondente aos meses de abril a junho, houve relação negativa da distância do renque de eucaliptos e P20 e P40, não havendo associação com as demais variáveis. A produtividade esteve associada negativamente com o P20 e a Tmed, e positivamente com a Tmax e a RFA. Houve associação negativa entre Tmax e Tmed.

Na associação com o eucalipto, durante os meses de abril a junho, quanto maior a distância do renque de árvores, mais úmido o solo a 20 e 40 cm de profundidade e quanto mais úmido o solo a 20 cm, maiores foram as produtividades. Ainda nessa associação, quanto maiores as temperaturas máximas, menores as médias e maiores as produtividades dos cafeeiros, embora estas não estivessem associadas à distância do renque de eucaliptos. Maiores valores de RFA estiveram associadas a maiores produtividades, mas estas não estavam associadas às distâncias do renque de eucaliptos. Maiores temperaturas máximas

estiveram associadas a menores temperaturas médias nos cafeeiros.

Houve associação negativa entre a distância do renque de cedros e o P20. A distância das árvores esteve associada positivamente com a Tmax durante a maturação dos frutos (Figura 7). Na fase de maturação dos frutos, correspondente aos meses de abril a junho, na associação com o cedro, quanto maior a distância do renque de árvores, maiores as temperaturas máximas e mais úmido o solo a 20 cm de profundidade, mas estas características não estiveram associadas à produtividade dos cafeeiros.

## 4. DISCUSSÃO

As médias de produtividade do cafeeiro arábica foram acima das médias regional, estadual e nacional da safra 2022, respectivamente 23,10, 21,60 e 22,50 sacas/ha (CONAB, 2022), exceto a parcela mais próxima do renque de eucaliptos (D1), para a qual foram encontrados valores próximos.

É necessário dividir a análise das variáveis microclimáticas em fases pois a maioria das culturas, inclusive o cafeeiro arábica, demandam diferentes condições ao longo do ciclo fenológico do fruto, evitando assim interpretações equivocadas (Carvalho et al., 2014).

### 4.1. Interpretação da análise química do solo e da folha do cafeeiro

As classes de interpretação da fertilidade do solo tiveram como referência os valores da publicação Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação (CFSEMG, 1999). Em relação à análise química do solo, os valores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  encontram-se na classificação baixo e muito baixo, respectivamente. A classificação química em função do pH do solo é interpretada como acidez elevada. A saturação por  $\text{Al}^{3+}$  (m%) e por bases (V%) foram classificadas como baixo e muito baixo. Os demais valores apresentaram classificações entre médio e bom, com exceção do P, sendo classificado como muito bom.

Solos com altos teores de M.O. (> 4-5 dag/kg) geralmente apresentam elevada CTC Total (T) e grande resistência à variação do pH, exigindo grandes quantidades de calcário para elevar a saturação por bases a valores exigidos pelas culturas em função de seu elevado poder tampão (Prezotti e Garçoni, 2013). Apesar destas condições de solo, as plantas apresentaram bom desenvolvimento e produtividade acima da média regional, mesmo em menores valores de saturação por bases e na presença de  $\text{Al}^{3+}$ . Isto ocorre devido à elevada T observada no local da pesquisa, que consegue reter uma grande quantidade de nutrientes e  $\text{Al}^{3+}$ . Como a disponibilidade de nutrientes é grande, as plantas conseguem se nutrir adequadamente, mesmo na presença de  $\text{Al}^{3+}$ .

As folhas do cafeeiro do talhão em que o experimento foi conduzido apresentaram valores de Ca, Mg, Mn, Cu e B dentro da escala nutricional considerada adequada (Matiello et al., 2020). Por outro lado, os valores de P e K estavam acima e Zn abaixo da escala adequada. Já N, S e Fe apresentaram valores entre a escala deficiente com sintomas e a limiar.

É recomendado que a análise foliar em cafeeiros deva ser realizada três meses após a floração, o que normalmente ocorre em dezembro/janeiro, ou seja, no início da fase de granação (Matiello et al., 2020). Além disso, esta é a época em que as pesquisas que definem

os níveis nutricionais efetuam a análise foliar (CFSEMG, 1999). É válido ressaltar que o talhão foi amostrado em fevereiro, época em que o enchimento dos grãos cafeeiro se encontra, em média, no terço final desta fase. Em geral, as análises foliares tardias apresentam níveis baixos dos teores dos nutrientes em função da extração demandada pelos frutos (Matiello et al., 2020). Portanto, os resultados da análise foliar, principalmente os que apontam valores limiares ou abaixo na escala nutricional, podem estar mascarados.

#### **4.2. Umidade do solo a 20 e 40 cm de profundidade**

Um menor potencial matricial do solo significa maior disponibilidade de água, portanto, maior umidade. Na prática, o intervalo de leitura do tensiômetro é de 0 a aproximadamente -81,06 kPa, representando, respectivamente, um solo saturado e o máximo de tensão em que as plantas conseguem retirar água do solo do ponto de vista econômico (Reichardt e Timm, 2004). Considerando que capacidade de campo para solos argilosos é de -30,40 kPa, a água disponível aos cafeeiros está na faixa de -30,40 a -81,06 kPa (Santinato et al., 2008).

Em relação à adequação do cafeeiro e a disponibilidade de água às plantas, na fase de florescimento, chumbinho e expansão dos frutos (fase 1), não foi observado déficit hídrico com base nas leituras médias dos tensiômetros, independentemente da espécie florestal ou distância do renque. Já na fase de granação dos frutos (fase 2), apenas os cafeeiros alocados na menor distância do renque de eucaliptos apresentaram leituras médias (0-20 e 20-40 cm) abaixo da capacidade de campo. Na fase de maturação (fase 3), todas as leituras médias estavam abaixo da capacidade de campo. Além disso, foram observadas leituras médias no limite e acima da tensão em que as plantas conseguem retirar água do solo do ponto de vista econômico, vide os cafeeiros alocados na menor distância do renque de eucaliptos (0-20 e 20-40 cm) e cedros (20-40 cm).

Na associação com eucalipto, a proximidade com o renque de árvores reduziu a umidade do solo, principalmente nos meses de setembro-novembro (fase 1) e de abril-junho (fase 3), ou seja, o início e o término do período chuvoso. Essa redução da umidade nesses meses, principalmente a 20 cm de profundidade, esteve associada às reduções de produtividade dos cafeeiros. Nos demais meses, provavelmente pela maior pluviosidade, a associação não se verificou.

A umidade do solo apresenta forte influência no crescimento do fruto em sistemas com café sombreado (Lin, 2009). Na fase de florescimento, chumbinho e expansão dos frutos, correspondente aos meses de setembro a dezembro, ocorre a etapa de rápida expansão dos

frutos (Camargo & Camargo, 2001), caracterizada pela alta absorção de água e acúmulo de matéria seca e nutrientes. Nessa etapa, a expansão celular é maior que a divisão celular na expansão rápida e florescimento, provavelmente causada pela síntese de polissacarídeos. É uma etapa crítica pois ocorre a maior taxa de acúmulo de nutrientes (Martinez et al., 2019). Portanto, a competição por recursos de crescimento nessa fase irá prejudicar a expansão do endocarpo, acúmulo de macronutrientes, deposição de substâncias de reserva e o tamanho final dos frutos.

Já na fase de maturação (fase 3), correspondente aos meses de abril a junho, ocorre o acúmulo de nutrientes e matéria seca nos frutos, ainda que a maioria destes compostos já tenha sido obtida na fase anterior à maturação (Martinez et al., 2019). Nessa fase, a distância do renque esteve relacionada negativamente com a umidade do solo a 20 cm que, por sua vez, influenciou negativamente a produtividade.

O déficit hídrico reduz a produtividade do cafeeiro (Aparecido, Rolim e Souza, 2015; Martins et al., 2015), os quais observaram relação inversa da deficiência hídrica e a produtividade. Relatos na literatura abordam os possíveis efeitos negativos das árvores de eucaliptos (Lemenih et al., 2014), as quais prejudicam o crescimento das culturas no sistema agrícola (Forrester et al., 2010), por competirem com eles pela umidade do solo (Mugunga et al., 2015; Kidanu, 2005) e, em alguns casos, exercerem efeito alelopático em culturas do seu entorno (Hartemink, 2003). Há uma limitação em regiões com longos períodos de seca, a qual pode ser intensificada pela competição entre espécies (DaMatta, 2004). Portanto, em função da umidade do solo, a produtividade do cafeeiro foi reduzida com a proximidade ao renque de eucaliptos.

Em relação ao cedro-australiano, são escassas as pesquisas que tratam de seu consórcio com o cafeeiro arábica. Em Santo Antônio do Amparo/MG, esta espécie florestal em consórcio com a variedade Catuaí Vermelho IAC 99 não resultou em diferença significativa para produtividade em comparação com o tratamento a pleno sol (Jácome et al., 2020). Em relação ao cafeeiro conilon, este componente arbóreo não influenciou a produtividade sob diferentes níveis de sombreamento (Olios et al., 2016). Diferentemente do eucalipto, esta associação não influenciou a umidade do solo a ponto de influenciar a produtividade do café em nenhuma das fases fenológicas do fruto. No início do período chuvoso (fase 1) não foi verificada relação nem entre a distância nem entre a umidade do solo a 20 e 40 cm de profundidade com a produtividade do cafeeiro. Já no término do período chuvoso (fase 3), a proximidade com o renque de cedros reduziu a umidade do solo a 20 cm, mas não o suficiente para reduzir a produtividade do cafeeiro (Figura 5).

De maneira geral, os valores médios de umidade do solo a 20 e 40 cm no sistema com o eucalipto foram menores que os valores com o cedro, indicando uma maior competição por água. A menor competição do cedro, provavelmente, é devida seu hábito caducifólio no período de outono-inverno e à densidade de plantio do renque ser quase a metade da densidade do eucalipto. Isto é verificado pois, conforme o avanço do período seco (final da fase 2), não há associação significativa entre a umidade do solo e distância ao renque de cedros (Figura 6). Por outro lado, na associação com o eucalipto, quanto menor a distância ao renque menor a umidade do solo. Já no período seco (fase 3) a proximidade com o renque não apenas esteve associada a menores valores de umidade como também menores valores de produtividade do cafeeiro. No mesmo período, na associação com o cedro, apenas foi verificada uma relação entre a distância e a umidade do solo a 20 cm de profundidade (Figura 7).

#### **4.3. Temperatura do ar**

Embora os valores médios de temperatura do ar deste estudo (Tabelas 3, 4 e 5) estejam superiores ao considerado ótimo (DaMatta & Ramalho, 2006; DaMatta et al., 2018), com temperaturas máximas no dossel acima de 34 °C, esta variável microclimática não foi considerada como limitante à produtividade. Há relato de relação direta entre o aumento da temperatura do ar e a produtividade do cafeeiro (Martins et al., 2015).

É possível que o motivo dos resultados serem distintos esteja na diferença da condução do experimento em casa de vegetação, utilizando vasos pequenos (10L) (DaMatta, 2004a), em comparação com a presente pesquisa, conduzida em campo.

Parte destes resultados, aparentemente controversos, são devidos às características edafoclimáticas do centro de origem da espécie, originada entre 10.000 a 20.000 anos (Scalabrin et al., 2020) serem estabelecidas como condições ótimas. Com o tempo, as práticas culturais e manejo dos próprios cafeicultores foram modificando a condução das lavouras. Registros sobre sistemas agrários antigos sugerem que o cultivo a pleno sol com terraceamento era comum no Lêmen (Friis, 2015), considerado o centro de dispersão secundária do café arábica (Ferne et al., 1968; Montagnon et al., 2021). No Brasil, o cultivo do cafeeiro a pleno sol existe há mais de 200 anos (Santos et al., 2012). O sucesso desse modelo de cultivo é devido a alta plasticidade fenotípica a variações climáticas do cafeeiro (Kufa & Burkhardt, 2011a, b; Tounekti et al., 2018; DaMatta et al., 2019). Portanto, altas temperaturas do ar, isoladamente, não prejudicam de forma sensível a produtividade do cafeeiro.

Foram testadas 35 variedades de cafeeiro arábica em Ouro Preto do Oeste/RO, com temperatura média anual de 25,8 °C, 2300 mm e 240 m de altitude, observando-se média de quatro safras de 24,60 sacas, sendo que a variedade empregada neste experimento produziu 26,29 sacas/ha (Teixeira et al., 2013). Possivelmente, a nutrição (Tabela 2) razoavelmente boa (CFSEMG, 1999) e disponibilidade hídrica (Figura 1) são mais relevantes à produtividade do que altas temperaturas e radiação fotossinteticamente ativa. Por outro lado, altas temperaturas geralmente estão associadas à alta intensidade luminosa que, em período seco/inverno (déficit hídrico), podem reduzir sensivelmente a produtividade do cafeeiro (Siles; Harmand; Vaast, 2010).

Na presente pesquisa, o cafeeiro estava localizado na face de exposição sudeste da encosta que, em geral, recebe menos radiação direta. Nesta face, as temperaturas mais altas perduram pouco tempo no dossel. Dessa forma, na associação com o eucalipto, as temperaturas máximas mais altas, associadas a maiores distâncias durante a fase de florescimento, chumbinho e expansão rápida (fase 1) foram benéficas à produtividade, uma vez que as taxas fotossintéticas e de crescimento vegetativo do cafeeiro se mantêm ao máximo ao longo do verão, como ocorre nas principais regiões produtivas do Brasil (Silva et al., 2004).

#### **4.4. Radiação Fotossinteticamente Ativa**

Em condições de cultivo a pleno sol, a RFA pode atingir  $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Taiz et al., 2017), sendo que o ponto de saturação das folhas do cafeeiro ocorre entre 300 e  $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (DaMatta, 2004). Na área da pesquisa, possivelmente, a faixa de radiação disponível é adequada ao cafeeiro nas condições climáticas relatadas, vide a maioria das leituras do ceptômetro indicarem valores dentro da faixa de saturação das folhas do cafeeiro (DaMatta, 2004).

O sombreamento influencia o desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro (Campanha et al., 2004), reduzindo a emissão floral. Além disso, o número total de nós é menor conforme o aumento da sombra (Jaramillo-Botero et al., 2006). No entanto, a distância e espécie arbórea não apresentaram efeito significativo sobre a RFA disponível aos cafeeiros que, por sua vez, não influenciou a produtividade. Por outro lado, na associação com o renque de eucaliptos, na fase de maturação, houve correlação positiva entre a produtividade e a RFA, ainda que esta disponibilidade não esteve associada ao componente arbóreo nem a distância.

Um dos fatores que influenciam a produtividade do cafeeiro é a orientação da encosta onde o dossel pode estar implantado. Na presente pesquisa, a encosta é voltada para o

sudeste e o renque de árvores está implantado de forma a não sombrear em demasiado a área, tendo em vista o caminhamento do sol (sentido leste-oeste). O sombreamento do cedro-australiano é ainda menor em função do tipo de copa e hábito caducifólio. A orientação sudeste ou “encosta noruega” é caracterizada pela menor incidência de radiação solar anualmente, e apresentam menores temperaturas médias, maior umidade relativa e sombreamento (Ferreira et al., 2012).

Portanto, era esperado que a RFA disponível não exercesse efeito significativo sobre a produtividade. As radiações mais altas medidas não prejudicaram a produtividade do cafeeiro (Tabelas 3, 4 e 5), dessa forma não haveria necessidade de sombrear a área em decorrência do excesso de radiação solar. O efeito do sombreamento deve ser investigado com mais detalhe, pois a influência na interceptação da RFA, taxas de evaporação e amplitude térmica variam conforme o tipo de sombra (Koutouleas et al. 2022).

## 5. CONCLUSÕES

Conclui-se com os resultados desta pesquisa que:

O Cedro-australiano influencia pouco nas variáveis de microclima e na produtividade do cafeeiro.

O Eucalipto reduz a umidade do solo e, afeta negativamente a produtividade do cafeeiro, mesmo considerando que o período de avaliação tenha apresentado boa disponibilidade hídrica.

Temperaturas do ar mais elevadas estão relacionadas a maiores produtividades na associação com o Eucalipto.

A Radiação fotossinteticamente ativa não influencia a produtividade do cafeeiro, independente do componente arbóreo ou distância dos renques.

## **6. CONSIDERAÇÕES**

A competição por água entre o cafeeiro e o componente arbóreo pode ser mais acentuada em anos de déficit hídrico mais severo. Recomenda-se estudos de longa duração com o objetivo de avaliar esta dinâmica.

Estudos futuros deverão focar nas práticas culturais, vide a frequência e tipo de poda, e orientação e arranjo do dossel que podem influenciar significativamente a produtividade do cafeeiro.

O efeito do sombreamento deve ser investigado com mais detalhe, pois a influência abaixo e acima do solo varia conforme o tipo de sombra.

## REFERÊNCIAS

- Alvares, C., Stape J., Sentelhas P., Gonçalves J., & Sparovek, G. (2014). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22:711–728.
- Asayehegn, K., Temple, L., Vaast, P., & Iglesias, A. (2018). Innovation Systems to Adapt to Climate Change: Lessons from the Kenyan Coffee and Dairy Sectors. In *Handbook of Climate Change Resilience* (pp. 1–24). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-71025-9\\_25-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-71025-9_25-1)
- Camargo, P. M., & Camargo, P. (2001). Agrometeorologia definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil.
- Campanha, M. M., Santos, R. H. S., de Freitas, G. B., Martinez, H. E. P., Garcia, S. L. R., & Finger, F. L. (2004). Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. *Agroforestry Systems*, 63(1), 75–82. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000049435.22512.2d>
- Carvalho, H., De, P., De, H., Carvalho, P., de Camargo, R., Wilson De Nóbrega Gomes, M., & Ferreira De Souza, M. (n.d.). Classificação do ciclo de desenvolvimento de cultivares de cafeeiro através da soma térmica classification of the development cycle of coffee cultivars by means of thermal sum. In *Coffee Science* (Issue 2).
- Chengappa, P. G., Devika, C. M., & Rudragouda, C. S. (2017). Climate variability and mitigation: perceptions and strategies adopted by traditional coffee growers in India. *Climate and Development*, 9(7), 593–604. <https://doi.org/10.1080/17565529.2017.1318740>
- Coltri, P. P., Pinto, H. S., Gonçalves, R. R. do V., Zullo Junior, J., & Dubreuil, V. (2019). Low levels of shade and climate change adaptation of Arabica coffee in southeastern Brazil. *Heliyon*, 5(2), e01263. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01263>
- Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais (CFSMG). (1999) Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG.
- Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). *Acomp. safra brasileira de café*, v. 9 – Safra 2022, n.4 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-52, dezembro 2022
- Conselho das entidades do café das Matas de Minas (Minas Gerais). *Região das Matas de Minas*. 2018. Disponível em: [www.matasdeminas.org.br](http://www.matasdeminas.org.br). Acesso em: 30 jun. 2023.
- DaMatta, F. M. (2004). Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*, 86(2–3), 99–114. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.09.001>
- DaMatta, F. M., & Ramalho, J. D. C. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 55–81. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>

DaMatta, F. M., Avila, R. T., Cardoso, A. A., Martins, S. C. v., & Ramalho, J. C. (2018). Physiological and Agronomic Performance of the Coffee Crop in the Context of Climate Change and Global Warming: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(21), 5264–5274. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04537>

DaMatta, F. M., Rahn, E., Läderach, P., Ghini, R., & Ramalho, J. C. (2019). Why could the coffee crop endure climate change and global warming to a greater extent than previously estimated? *Climatic Change*, 152(1), 167–178. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2346-4>

de Oliveira Aparecido, L. E., de Souza Rolim, G., & Sergio De Souza, P. (2015). Sensitivity of newly transplanted coffee plants to climatic conditions at altitudes of Minas Gerais, Brazil. In *AJCS* (Vol. 9, Issue 2).

Enveritas (2019). Disponível em: <https://carto.com/blog/enveritas-coffee-poverty-visualization/> Acesso em: 30 jun. 2023.

Fernie, L. M., Greathead, D. J., Meyer, F. G., Monaco, L. C., & Narasimhaswamy, R. L. (1968). *FAO coffee mission to Ethiopia*. Online document. FAO, Rome, Italy. pp.1964-1965. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2015002286>.

Ferreira, W. P. M., Ribeiro, M. F., Fernandes Filho, E. I., Souza, C. F., & Castro, C. C. R. (2012). As Características Térmicas das Faces Noruega e Soalheira como Fatores Determinantes do Clima Para a Cafeicultura de Montanha. Embrapa Café Brasília, DF.

Forrester, D. I., Theiveyanathan, S., Collopy, J. J., & Marcar, N. E. (2010). Enhanced water use efficiency in a mixed *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii* plantation. *Forest Ecology and Management*, 259(9), 1761–1770. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.07.036>

Friis, I. (2015). Coffee and qat on the Royal Danish expedition to Arabia – botanical, ethnobotanical and commercial observations made in Yemen 1762–1763. *Archives of Natural History*, 42(1), 101–112. <https://doi.org/10.3366/anh.2015.0283>

Grüter, R., Trachsel, T., Laube, P., & Jaisli, I. (2022). Expected global suitability of coffee, cashew and avocado due to climate change. *PLOS ONE*, 17(1), e0261976. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261976>

Hartemink, A. E. (Ed.). (2003). *Soil fertility decline in the tropics: with case studies on plantations*. CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851996707.0000>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Censo Agropecuário, 2006. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, v. 1.

Jácome, G. O., M., Mantovani, R., J., Silva, B. A., Rezende, T. T., & Landgraf, C. P. R. (2020). Soil attributes and coffee yield in an agroforestry system. *Coffee Science*, 15, 1–9. <https://doi.org/10.25186/v15i.1676>

Jaramillo-Botero, C., Prieto Martinez, H. E., Henrique, R., & Santos, S. (2006). Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no norte da América Latina e no Brasil: análise comparativa. In *Coffee Science* (Issue 2).

- Jaramillo-Botero, C., Santos, R. H. S., Martinez, H. E. P., Cecon, P. R., & Fardin, M. P. (2010). Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels. *Scientia Agricola*, 67(6), 639–645. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000600004>
- Kidanu, S., Mamo, T., & Stroosnijder, L. (2005). Biomass production of Eucalyptus boundary plantations and their effect on crop productivity on Ethiopian highland Vertisols. *Agroforestry Systems*, 63(3), 281–290. <https://doi.org/10.1007/s10457-005-5169-z>
- Koutouleas, A., Sarzynski, T., Bertrand, B., Bordeaux, M., Bosselmann, A. S., Campa, C., Etienne, H., Turreira-García, N., Lérán, S., Markussen, B., Marraccini, P., Ramalho, J. C., Vaast, P., & Ræbild, A. (2022). Shade effects on yield across different *Coffea arabica* cultivars — how much is too much? A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(4), 55. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00788-2>
- Kufa, T., & Burkhardt, J. (2010). Spatial Variability in Water Relations of Wild *Coffea arabica* Populations in the Montane Rainforests of Ethiopia. *Ecologia*, 1(1), 31–43. <https://doi.org/10.3923/ecologia.2011.31.43>
- Kufa, T., & Burkhardt, J. (2010). Variations in Leaf Water Potential in the Wild Ethiopian *Coffea arabica* Accessions under Contrasting Nursery Environments. *Journal of Agronomy*, 10(1), 1–11. <https://doi.org/10.3923/ja.2011.1.11>
- Lemenih, M. (2004). Effects of land use changes on soil quality and native flora degradation and restoration in the highlands of Ethiopia: implications for sustainable land management. Dept. of Forest Soils, Swedish Univ. of Agricultural Sciences.
- Lin, B. B. (2010). The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(4), 510–518. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.11.010>
- Martinez, H. E. P., Santos, R. H. S., Neves, Y. P. & Jaramillo-botero, C. Arborização de Cafezais nas Regiões Sudeste e Sul. In: MATSUMOTO, S. N. (Org.). Arborização de cafezais no Brasil. Vitória da Conquista: Uesb, 2004. p. 122-164.
- Martinez, H., Neves, J., Alvarez, V & Shuler, J. (2019). Mineral Nutrition and Fertilization. In: Farah, A. Coffee: Production, Quality and Chemistry.
- Martins, E., de Oliveira Aparecido, L. E., Paulino, L., Santos, S., Marcos, J., de Mendonça, A., & Sergio De Souza, P. (2015). Influência das condições climáticas na produtividade e qualidade do cafeeiro produzido na região do sul de minas gerais. In *Coffee Science* (Vol. 4, Issue 10).
- Martins, M. Q., Rodrigues, W. P., Fortunato, A. S., Leitão, A. E., Rodrigues, A. P., Pais, I. P., Martins, L. D., Silva, M. J., Reboredo, F. H., Partelli, F. L., Campostrini, E., Tomaz, M. A., Scotti-Campos, P., Ribeiro-Barros, A. I., Lidon, F. J. C., DaMatta, F. M., & Ramalho, J. C. (2016). Protective Response Mechanisms to Heat Stress in Interaction with High [CO<sub>2</sub>] Conditions in *Coffea* spp. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00947>

Matiello, J. B., Santinato, R., Almeida & Garcia. Cultura de Café no Brasil, Manual de Recomendações. (2020). Fundação Procafé.

Montagnon, C., Mahyoub, A., Solano, W., & Sheibani, F. (2021). Unveiling a unique genetic diversity of cultivated *Coffea arabica* L. in its main domestication center: Yemen. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68(6), 2411–2422. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01139-y>

Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). Introduction to Linear Regression Analysis. 5. ed. Wiley: New York, 672 p.

Mugunga, C. P., Kool, D., van Wijk, M. T., Mohren, G. M. J., & Giller, K. E. (2015). Water use by short rotation Eucalyptus woodlots in southern Rwanda. *Agroforestry Systems*, 89(6), 1119–1139. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9843-5>

Nair, P. K. R. (1993). *An introduction to agroforestry*. Kluwer Academic Publishers in cooperation with International Centre for Research in Agroforestry.

Oliosio, G., Giles, J. A. D., Rodrigues, W. P., Ramalho, J. C., & Partelli, F. L. (2016). Microclimate and development of *Coffea canephora* cv. Conilon under different shading levels promoted by Australian cedar (*Toona ciliata* M. Roem. var. *Australis*). *Australian Journal of Crop Science*, 10(04), 528–538. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.04.p7295x>

Prezotti, L. C. & Guarçoni, A. Guia de interpretação de análise de solo e foliar. (2013). Vitória, ES: Incaper, 104 p.

R Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 30 jun. 2023.

Rahn, E., Vaast, P., Läderach, P., van Asten, P., Jassogne, L., & Ghazoul, J. (2018). Exploring adaptation strategies of coffee production to climate change using a process-based model. *Ecological Modelling*, 371, 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.01.009>

Reichardt, K., & Timm, L. C. (2004). Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole.

Rigal, C., Xu, J., Hu, G., Qiu, M., & Vaast, P. (2020). Coffee production during the transition period from monoculture to agroforestry systems in near optimal growing conditions, in Yunnan Province. *Agricultural Systems*, 177, 102696. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102696>

Sales, E. F., Méndez, E., Caporal, F. & Faria, C. (2013). Agroecological transition of Conilon Coffee (*Coffea canephora*) Agroforestry Systems in the State of Espírito Santo, Brazil. *Agroecology and sustainable food systems*, 37 (4), 405-429.

Santinato, R., & Fernandes, A. L. T. (2012). Cultivo do cafeeiro irrigado por gotejamento. 2 ed., Uberaba: Autores, 388p.

Santinato, R., Fernandes, A. L. T., & Fernandes, D. R. (2008). Irrigação na cultura do café. 2 ed., Belo Horizonte: O Lutador, 476 p.

Santos, R., Rodrigues, L., Lima, C., & Jaramillo-Botero, C. (2012). Coffee Yield and Microenvironmental Factors in a Native Tree Agroforestry System in Southeast Minas Gerais, Brazil. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(1), 54–68. <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.608468>

Sarmiento-Soler, A., Vaast, P., Hoffmann, M. P., Rötter, R. P., Jassogne, L., van Asten, P. J. A., & Graefe, S. (2019). Water use of *Coffea arabica* in open versus shaded systems under smallholder's farm conditions in Eastern Uganda. *Agricultural and Forest Meteorology*, 266–267, 231–242. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.12.006>

Scalabrin, S., Toniutti, L., di Gaspero, G., Scaglione, D., Magris, G., Vidotto, M., Pinosio, S., Cattonaro, F., Magni, F., Jurman, I., Cerutti, M., Suggi Liverani, F., Navarini, L., del Terra, L., Pellegrino, G., Ruosi, M. R., Vitulo, N., Valle, G., Pallavicini, A., ... Bertrand, B. (2020). A single polyploidization event at the origin of the tetraploid genome of *Coffea arabica* is responsible for the extremely low genetic variation in wild and cultivated germplasm. *Scientific Reports*, 10(1), 4642. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61216-7>

Siles, P. F., Harmand, J., & Vaast, P. (2010). Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 78, 269-286.

Silva, E. A., DaMatta, F. M., Ducatti, C., Regazzi, A. J. & Barros, R. S. (2004). Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. *Field Crops Res.* 89:349-357.

Sylvain, P. (1955). Some observations on *Coffea arabica* L. in *Ethiopia*. *Turrialba* 5:37-53.

Teixeira, A., de França Souza, F., Pereira, A. A., Carlos Baião De Oliveira, A., & Rocha, R. B. (2013). *African Journal of Agricultural Research Performance of arabica coffee cultivars under high temperature conditions.* 8(33), 4402–4407. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7547>

The Coffee Guide (2021). Disponível em: <https://www.thecoffeeguide.org/>. Acesso em: 30 jun. 2023.

Torres-Valenzuela, L. S., Serna-Jimenez, J. A. & Martínez, K. Coffee By-Products: Nowadays and Perspectives. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.89508

Tounekti, T., Mahdhi, M., Al-Turki, T. A., & Khemira, H. (2018). Water relations and photo-protection mechanisms during drought stress in four coffee (*Coffea arabica*) cultivars from southwestern Saudi Arabia. *South African Journal of Botany*, 117, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.04.022>

Volsi, B., Telles, T. S., Caldarelli, C. E., & Camara, M. R. G. da. (2019). The dynamics of coffee production in Brazil. *PLOS ONE*, 14(7), e0219742. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219742>