

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

BRUNA PENHA COSTA

**EFEITO DO CAULIM SOBRE A MORFOLOGIA, ANATOMIA E TROCAS
GASOSAS DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.)**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2023

BRUNA PENHA COSTA

**EFEITO DO CAULIM SOBRE A MORFOLOGIA, ANATOMIA E TROCAS
GASOSAS DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.)**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

Orientador: Dr. Cláudio Yuji Tsutsumi

Linha de pesquisa: Manejo de Culturas

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2023

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática
do Sistema de Bibliotecas da Unioeste

Costa, Bruna Penha

Efeito do caulim sobre a morfologia, anatomia e trocas gasosas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) / Bruna Penha Costa; orientador Cláudio Yuji Tsutsumi. -- Marechal Cândido Rondon, 2023.

102 p.

Tese (Doutorado Campus de Marechal Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2023.

1. Cafeicultura . 2. Caulim. 3. Regulação térmica . 4. Biomassa. I. Tsutsumi, Cláudio Yuji , orient. II. Título.



Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46
 Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>
 Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000
 Marechal Cândido Rondon - PR.



BRUNA PENHA COSTA

Efeito do caulim sobre a morfologia, anatomia e trocas gasosas do cafeeiro
 (*Coffea arabica* L.)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas, APROVADA pela seguinte banca examinadora:

Orientador - Claudio Yuji Tsutsumi

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Elcio Silvério Klosowski

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Shirley Martins Silva

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)
 (por videoconferência)

Eliemar Campostrini

Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF)
 (por videoconferência)

Cesar Abel Krohling

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER)
 (por videoconferência)

Marechal Cândido Rondon, 15 de março de 2023

*Esta conquista a minha família, em especial a meu tio
Flaviano Neves Costa pela visão de futuro e por ter
acreditado que eu seria a primeira doutora na família.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Á DEUS pela força, determinação que me deu mediante a sua Graça (Por isso o agradeço e o louvo!) ao longo da minha caminhada.

Á Ana Célia Mota Penha (mãe), Antônio Neves Costa (pai), Wenison e Jailson Penha Costa (irmãos) pelo incentivo, companheirismo e paciência ao longo da minha vida pessoal e acadêmica.

Á minha avó Maria Mota Penha pela sua bondade e simplicidade que jamais será esquecida (In memoria).

Ao meu tio Flaviano Neves Costa por ter acreditado e me incentivado ao longo da minha jornada acadêmica (In memoria).

Á Carlos Augusto Rocha de Moraes Rego pelo companheirismo, pelo afeto e pelo auxílio na vida acadêmica (por ter sido meu companheiro de campo, de laboratório, por ter me incentivado nos bons e maus momentos).

Aos meus tios Francisco, Flaviano, João, Célia, Celina, Maria José, Paulina Neves Costa e Alcídia Maria Penha dos Santos e José Silva França Filho pela alegria que tiveram com as minhas conquistas pessoais e acadêmicas.

Aos companheiros acadêmicos, pelo auxílio e ensinamento de metodologias essenciais ao desenvolvimento desta pesquisa em especial a Deise Cadorin Vitto e Jaqueline de Araújo Barbosa por serem pessoas solícitas e com grande zelo na hora de ajudar.

As pessoas que tive a oportunidade de conhecer (minha turma de doutorado).

Aos funcionários da UNIOESTE em especial a Leila Dirlene Allievi Werlang, Jucenei Fernando Frandoloso, Cleiton Rodrigo Hansel, Neusa Francisca Michelon Herzog, Marcelo Junior Lang, Flavio Goetz pelo auxílio e gentileza com que me trataram.

A meu orientador o Dr. Cláudio Yuji Tsutsumi por ter me aceitado como orientada, pelo tempo despendido nessa atividade, pelos ensinamentos e pela confiança depositada em mim e no meu trabalho, por ter sido mais que um orientador (por ter sido humano, gentil, um ponto de luz nos dias difíceis desta caminhada), serei eternamente grata.

A Empresa de Mineração Violani do município de Colombo no Paraná pelas amostras de caulim doadas para o desenvolvimento desta pesquisa.

Á Universidade Estadual do Oeste do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação Stricto sensu em Agronomia pela oportunidade de realização do Doutorado.

A Capes pela concessão da bolsa de estudo.

RESUMO

COSTA, Bruna Penha, Doutoranda, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fevereiro – 2023. **Efeito do caulim sobre a morfologia, anatomia e trocas gasosas do cafeeiro** (*Coffea arabica* L.). Orientador: Doutor Cláudio Yuji Tsutsumi.

O cafeeiro é espécie sensível a estresses abióticos podendo provocar alterações morfológicas, anatômicas, e interferência na taxa fotossintética como reflexo de sua influência sobre as trocas gasosas. Na busca por soluções para mitigar esses estresses, nos últimos anos vem se intensificando os estudos sobre produtos com ação antitranspirante, a exemplo do caulim uma argila modificada que apresenta propriedades reflexivas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de doses de caulim em diferentes cores com e sem adição de adjuvante nas variáveis de crescimento bem como na anatomia foliar e nas trocas gasosas do café arábica cultivar IPR 100. O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Horticultura e Controle Biológico Professor Mário César Lopes no município Marechal Cândido Rondon - PR, exposto as condições de campo durante o período de 02 de novembro de 2020 a 08 de maio de 2021. O delineamento experimental foi blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial incompleto com tratamento adicional, totalizando 11 tratamentos e 33 parcelas. O primeiro fator foi constituído por três doses de caulim (20, 40 e 60 g), o segundo fator por duas cores de caulim (branco e creme), o terceiro fator pela ausência ou presença de adjuvante e o tratamento adicional. A parcela foi constituída por quatro mudas da cultivar IPR 100. As variáveis morfológicas avaliadas foram: altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de ramos plagiotrópicos (NRP), índice de área foliar (IFA), matéria seca foliar (MSF), matéria seca do caule (MSC), matéria seca do sistema radicular (MSR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST). Variáveis anatômicas: espessura das cutículas adaxial (ECAD) e abaxial (ECAB), espessura da epiderme adaxial (EPAD) e abaxial (EPAB), espessura do parênquima paliçádico (EPP) e lacunoso (EPL), espessura do vaso do xilema (XI) e do floema (FLO) e limbo foliar (LIFO), bem como a número de estômatos (NES) por mm^2 , diâmetro polar ($\emptyset P$) e equatorial ($\emptyset EQ$) dos estômatos. E as variáveis de trocas gasosas: de assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO_2 na câmara subestomática (Ci), taxa transpiratória (Trmmol), e o uso eficiente de água WUE. A dose 40 de caulim branco com adjuvante proporcionou maior efeito sobre as variáveis de crescimento. A dose 20 g de caulim creme com adjuvante influenciou no aumento da produção da camada cuticular no cafeeiro. Já

espessura da cutícula e do parênquima paliçádico foi reduzida quando aplicado 40 g de caulim branco sem adjuvante, contudo essa mesma dose favoreceu o aumento no diâmetro do vaso do xilema e o aumento do número de estômatos. A fotossíntese foi positivamente influenciada pela aplicação de caulim com destaque para os tratamentos 20 e 40 g caulim branco com adjuvante e 20 e 40 g caulim creme com adjuvante.

Palavras-chaves: Antitranspirante, Café arábica, Estresse luminoso, Estresse térmico, Reflexão.

ABSTRAC

COSTA, Bruna Penha, Doctor degree. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, February – 2023. **Effect of kaolin on the morphology, anatomy, and gas exchange of coffee** (*Coffea arabica* L.). Advisor: Doctor Scientiae Cláudio Yuji Tsutsumi.

Coffee is a species sensitive to abiotic stresses that can cause morphological and anatomical changes, in addition to interfering with its photosynthetic rate as a reflection of its influence on gas exchange. In the search for solutions to mitigate these stresses, studies on products with antiperspirant action have been intensified in recent years, such as kaolin, a modified clay that has reflective properties. The objective of this work was to evaluate the effects of the application of kaolin doses in different colors with and without the addition of adjuvant on the growth variables as well as on the leaf anatomy and gas exchange of arabica coffee cultivar IPR 100. The experiment was carried out at the Experimental Station of Horticulture and Biological Control Professor Mário César Lopes in the municipality Marechal Cândido Rondon - PR, exposed to field conditions during the period from November 2, 2020 to May 8, 2021. The experimental design was randomized blocks, with three replications, in incomplete factorial scheme with additional treatment, totaling 11 treatments and 33 plots. The first factor was constituted by three doses of kaolin (20, 40 and 60 g), the second factor by two colors of kaolin (white and cream), the third factor by the absence or presence of adjuvant and the additional treatment. The plot consisted of four seedlings of the IPR 100 cultivar. The morphological variables evaluated were: plant height (PH), stem diameter (SØ), number of plagiotropic branches (NPB), leaf area index (LAI), material leaf dry matter (MFM), stem dry matter (SM), root system dry matter (RSM), shoot dry matter (SM) and total dry matter (TM). Anatomical variables: adaxial (AD) and abaxial (AB) cuticle thickness, adaxial (CAD) and abaxial (CAB) epidermis thickness, palisade (EP) and spongy (ES) parenchyma thickness, xylem vessel thickness (XI) and phloem (PH) and leaf blade (LE), as well as the number of stomata (NS) per mm², polar (ØP) and equatorial (ØEQ) diameter of the stomata. And the gas exchange variables: net CO₂ assimilation (A), stomatal conductance (gs), internal CO₂ concentration in the substomatal chamber (Ci), transpiration rate (Trmmol), and the efficient use of WUE water. Dose 40 of white kaolin with adjuvant provided greater effect on growth variables. The 20 g dose of cream kaolin with adjuvant influenced the increase in the production of the cuticular layer in the coffee tree. The thickness of the cuticle and palisade parenchyma was reduced when 40 g of white kaolin was applied without adjuvant, however

this same dose favored the increase in the diameter of the xylem vessel the increase in the number of stomata. Photosynthesis was positively influenced by the application of kaolin, with emphasis on the treatments 20 and 40 g white kaolin with adjuvant and 20 and 40 g cream kaolin with adjuvant.

Keywords: Antiperspirant, Coffee arabica, Light stress, Reflection, Thermal stress.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	9
REFERÊNCIAS	14
2. ARTIGO I- CRESCIMENTO INICIAL DO CAFEIRO ASSOCIADO AO USO DO CAULIM E ADJUVANTE	17
2.1 INTRODUÇÃO.....	18
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
2.3 RESULTADOS	24
3.4 DISCUSSÃO.....	31
2.4 CONCLUSÃO.....	36
2.5 REFERÊNCIAS	36
3. ARTIGO II- RESPOSTA DA ANATOMIA FOLIAR DO CAFEIRO ARABICA CULTIVAR IPR 100 COM APLICAÇÃO DO CAULIM E ADJUVANTE	42
3.1 INTRODUÇÃO.....	42
3.2 METODOLOGIA	45
3.3 RESULTADO	49
3.4 DISCUSSÃO.....	64
3.5 CONCLUSÃO.....	69
3.6 REFERÊNCIAS	70
4. ARTIGO III - EFEITOS FISIOLÓGICOS NAS TROCAS GASOSAS EM PLANTAS DE CAFÉ ARABICA IPR 100 COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES E CORES DE CAULIM	74
4.1 INTRODUÇÃO.....	75
4.2 METODOLOGIA	77
4.3 RESULTADOS	82
4.4 DISCUSSÃO.....	88
4.5 CONCLUSÃO.....	93

4.6 REFERÊNCIAS	94
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	97

1. INTRODUÇÃO GERAL

O café arábica possui importância histórica na economia brasileira como uma das maiores commodities produzidas e exportadas (ALBUQUERQUE e SILVA, 2008; CECAFÉ, 2022). De acordo com o quarto levantamento da CONAB (2022), os cafezais nacionais estão em ano de bionalidade positiva com produção de 50.920,1 mil sacas de café beneficiados. Comparando o ano safra de 2020 (bionalidade positiva), que sofreu com intemperes climáticas (altas temperaturas, déficit hídrico e incidência de geadas), apresentou queda na produção de 19,3%, tal perda sinaliza o grau de sensibilidade do café frente às condições ambientais (CONAB, 2022).

Os níveis de perdas são diferentes entre as espécies de café produzidas no Brasil com interesse comercial, a saber: *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* (Pierre ex A. Froehner) (DAVIS et al., 2011). Ainda de acordo com Davis et al. (2011) existe 123 espécies de cafés com ocorrência natural, contudo figuram essencialmente como fonte de diversidade genética frente a *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora*.

As espécies de café são classificadas como pertencentes ao grupo das Fanerógamas, classe Angiosperma, subclasse Dicotiledônia, ordem Rubiales, família Rubiaceae, tribo Coffeae, subtribo Coffeinae, gênero *Coffea* (MATIELLO et al., 2005). Dentro do gênero *Coffea* a espécie *Coffea arabica* L. (café arábica) tem sua origem no Sul da Etiópia com temperaturas entre 16,5 a 22,5 °C (VIEIRA, 2017). Por ser uma planta de sub-bosque o aparelho fotossintético do café arábica satura-se em condições de irradiância em torno de 300 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (DAMATTA et al., 2007), como resultado da saturação pode ocorrer a fotoinibição e a fotooxidação (TAIZ et al., 2017).

Kluge et al. (2015), explica que a fotoinibição é um processo que ocorre devido à exposição da planta a um ambiente com intensa luminosidade o que desencadeia um excesso de excitação dos centros de reação principalmente no fotossistema II, tendo como resultado a

inibição da fotossíntese, contudo o dano provocado pela fotoinibição pode ser reparado (reversível). Ainda de acordo com os autores outro processo que o excesso de luz pode provocar é a fotooxidação, fenômeno irreversível, em que o grau de excitação se torna tão intenso e prolongado que estes interagem com átomos de oxigênio, originando radicais livres os quais podem desestruturar a camada lipídica dos tilacóides e dos cloroplastos, um sinal visual da fotooxidação é o branqueamento das folhas (degradação dos cloroplastos).

A temperatura é outro fator que realiza papel essencial para a realização das atividades metabólicas. De acordo com Bita e Gerats (2013) e Peck (2016), a temperatura é essencial para as plantas, pois esta pode acelerar ou reduzir a velocidade das reações químicas nas células alterando assim as funções biológicas nas plantas.

Uma vez superada a temperatura ótima da planta, a transpiração um dos meios de dissipação de energia térmica das folhas pode não ocorrer de modo efetivo, principalmente quando o ambiente se encontra com baixa umidade relativa do ar e do solo levando a um estresse térmico (TAIZ et al., 2017). Tal estresse, dependendo de sua intensidade e duração, pode atuar sobre a morfologia, fisiologia e bioquímica da planta (HASANUZZAMAN et al., 2013), ao reduzir o fluxo de transporte de elétrons e modificar a atividade da RuBisCO (TAIZ et al., 2017) e a composição dos pigmentos (HASANUZZAMAN et al., 2013), provocando redução das taxas de fotossíntese e incremento na fotorrespiração o que afeta as relações hídricas, modificando a demanda evaporativa, a fluidez e influenciar na rota metabólica atuando sobre os metabolitos primários e secundários (WISE et al., 2004).

Ainda sobre o estresse térmico pode levar ao aumento da fluidez das membranas celulares (RUELLAND e ZACHOWSKI, 2010) e na produção de espécies reativas de oxigênio (BITA e GERATS, 2013), desnaturação de proteínas (MAESTRI et al., 2002), perda de produção (DIDONET e VITÓRIA, 2006), redução ou paralização do crescimento e em casos mais severos a morte da planta (CARGNIN et al., 2006).

Para Bita e Gerats, (2013) em condições ambientais o estresse térmico normalmente estar associado a outras espécies de estresse, sendo o mais comum o hídrico, o que potencializa os efeitos negativos sobre a planta. Dessa forma o somatório dos estresses térmico e luminoso muitas vezes associadas com privação hídrica, induzem o fechamento dos estômatos reduzindo a transpiração foliar (TURNER et al., 1984), acarretando o aumento da temperatura do dossel e diminui a fotossíntese líquida (SHELLIE e KING, 2013). Logo, sob alta densidade de fluxo de fótons fotossintéticos, a transpiração, as taxas de respiração e fotorrespiração são alteradas nas plantas, resultando na fotoinibição e na clorose (MOUTINHO-PEREIRA et al., 2009).

Para Matos et al. (2009), as plantas de café tendem a se adaptar até um dado ponto mediante as modificações morfológicas, anatomia, bioquímicas e fisiológicas (MATOS et al., 2009). As modificações morfológicas que frequentemente ocorrem no cafeeiro, a saber: a altura, diâmetro, número de ramos plagiotrópicos e distâncias entre os nós (TATAGIBA et al., 2010), bem como na área foliar e a biomassa da planta (DARDENGO et al., 2013).

Já a anatomia, em especial a foliar apresenta variações nas dimensões do limbo foliar, do mesófilo, como consequência, variação na área foliar e na densidade estomática (BALIZA et al., 2012), além da variação do índice estomático (MARTINS et al., 2014), sendo que essas características são fortemente influenciadas pelo nível de radiação (DO NASCIMENTO et al., 2006).

A nível bioquímico ocorrem modificações no metabolismo dos compostos primários e secundários (HASANUZZAMAN et al., 2013), na atividade enzimática, nos teores de aminoácidos (CAVATTE et al., 2012) e nos teores de clorofila e carotenoides (POMPELLI et al., 2012). Para Baliza et al. (2012), essas modificações buscam proporcionar uma maior captação da radiação solar, influenciando inúmeros processos, tais como: taxa de assimilação

de CO² e condutância estomática, podendo interferir no processo fotossintético (MESSCHMIDT et al., 2015).

Como alternativas as estratégias para reduzir o excesso de radiação, o estresse térmico e racionalizar o uso de água na agricultura vem se adotando no campo a tecnologia dos antitranspirantes (BRILHANTE et al., 2016) produtos que atuam sobre a transpiração foliar.

Estes podem ser classificados de acordo com o seu modo de ação em: formadores de filmes, metabólicos (GLENN, 2012) e refletores (BRILHANTE et al., 2016) em destaque os refletores. Brilhante et al. (2016), os antitranspirantes refletores possuem a capacidade de refletirem as radiações: ultravioleta e infravermelho o que auxilia na redução da temperatura das folhas.

O caulim é um dos refletores mais estudados e que apresenta indicação para produção de produtos orgânicos (OMRI, 2018). A sua aplicação resulta na formação de uma película branca, que aumenta o albedo na superfície e a refletância da radiação incidente, sem reduzir significativamente as taxas fotossintéticas (SHELLIE e KING, 2013). Sendo uma argila modificada composta por silicato hidratado de alumínio (Al₄Si₄O₁₀(OH)₈), inerte em uma ampla faixa de pH, não abrasivo, não tóxico (GLENN et al., 2010) comercializado em forma de pó (CANTORE et al., 2009) e facilmente se dispersa na água (LUCIANI et al., 2019).

O emprego do caulim apresenta maior demanda em fases mais sensíveis das plantas (ALMEIDA et al., 2020). Podendo ser utilizado no plantio e replantio de mudas como estratégia de redução na transpiração principalmente em um ambiente que possa estar com algum nível de déficit hídrico (PALLARDY, 2008). Em espécies frutíferas no período de pegamento e maturação dos frutos (YUN e LIHUA, 2013), na pós-colheita sobre os frutos como medida protetiva a possíveis ataques de pragas bem como na proteção contra o desenvolvimento de doenças fúngicas (KOVÁCS e KERESZTES, 2002) entre outros usos.

Na literatura são encontrados relatos sobre os benefícios da aplicação do caulim em diferentes culturas com destaque para: mamoeiro (CAMPOSTRINI et al., 2010), parreira (CONDE et al., 2018; DINIS et al., 2016; GLENN et al., 2010), macieira (GLENN, 2009), nozes (LUCIANI et al., 2019) e cafeeiro (COBRA et al., 2020; Da SILVA et al., 2019; STEIMAN et al., 2007).

Sendo seus efeitos: proteção do aparato fotossintético (Da SILVA et al., 2019) através da regulação térmica foliar, eficiência do uso de água, assimilação de carbono, além da proteção contra a escaldadura (BOARI et al., 2015).

A partir do exposto a hipótese deste trabalho é que a aplicação de diferentes cores e doses de caulim associados ou não a presença de adjuvante irá reduzir os estresses abióticos pela modificação na morfologia e anatomia foliar como processo de aclimatação sem causar reduções significativas nas trocas gasosas do café arábica cultivar IPR 100. Para avaliar essa hipótese, esta tese foi dividida em três artigos com diferentes objetivos:

Artigo 1. Intitulado: CRESCIMENTO INICIAL DO CAFEEIRO ASSOCIADO AO USO DO CAULIM E ADJUVANTE. Tendo o objetivo de avaliar os possíveis efeitos das diferentes cores do caulim sobre as variáveis de crescimento: altura da planta, diâmetro do caule, número de ramos plagiotrópicos, índice de área foliar, matéria seca foliar, matéria seca do caule, matéria seca do sistema radicular, matéria seca da parte aérea e matéria seca total.

Artigo 2. Intitulado: RESPOSTA DA ANATOMIA FOLIAR DO CAFEEIRO ARÁBICA CULTIVAR IPR 100 COM APLICAÇÃO DO CAULIM E ADJUVANTE. Tendo o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação de doses de caulim em diferentes cores com e sem adição de adjuvante sobre a anatomia foliar (espessura das cutículas adaxial e abaxial, espessura da epiderme adaxial e abaxial, espessura do parênquima paliçádico e lacunoso, espessura do vaso do xilema e do floema e limbo foliar, bem como a número de estômatos por mm^2 , diâmetro polar e equatorial dos estômatos) do café arábica cultivar IPR 100 na fase inicial da cultura.

Artigo 3 Intitulado: EFEITOS FISIOLÓGICOS NAS TROCAS GASOSAS EM PLANTAS DE CAFÉ ARABICA IPR 100 COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES, CORES DE CAULIM. Tendo o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação de doses de caulim em diferentes cores com e sem adição de adjuvante sobre as trocas gasosas (assimilação líquida de CO₂, taxa transpiratória, condutância estomática e eficiência no uso de água) nas plantas de café cultivar IPR 100.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da. Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. (Ed.), EMBRAPA, 2008. 275p.
- BALIZA, D. P. et al. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, 7(3):250-258, 2012.
- BITA, C. E.; GERATS, T. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. **Frontiers in Plant Science**, 4(7): 273, 2013.
- BOARI, F et al. Particle film technology: A supplemental tool to save water. **Agricultural Water Management Journal Elsevier**, 147(1):154–162, 2015.
- BRILLANTE, L. et al. Comparing kaolin and pinolene to improve sustainable grapevine production during drought. **PLoS One**, 11(6): e0156631, 2016.
- CAMARGO, A. P. **Arborização de cafezais**. O Agrônomo, 59 (1):25-27, 2007.
- CAMPOSTRINI, E.; REIS, F. O.; SOUZA, M. A. Processed-Kaolin Particle Film on Papaya Leaves: a Study Related to Gas Exchange, Leaf Temperature and Light Distribution in Canopy. **Acta Horticulturae**, 864 (25):195-200, 2010.
- COBRA, M. M. et al. Photoprotector in arabica coffee seedlings. **Revista Ciência Agrícola**, 18 (2):1-6, 2020.
- CONDE, A. et al. Kaolin particle film application stimulates photoassimilate synthesis and modifies the primary metabolome of grape leaves. **Journal of Plant Physiology**, 223(4):47–56, 2018.
- CANTORE, V.; BERNARDO, P.; ALBRIZIO, R. Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield and quality. **Environmental and Experimental Botany**, 66(2):279-288, 2009.

CARGNIN, A. et al. Tolerance to thermic stress in wheat genotypes. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 41(8):1269-1276, 2006.

CAVATTE, P. C. et al. Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee? A morphophysiological analysis. **Physiologia Plantarum**, 144(2):111-122, 2012.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**. Café, v. 9 – Safra 2022, n.4 - Quarto Levantamento, Brasília, p. 1-53, 2022.

DA SILVA, P. S. O. et al. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. **Scientia Horticulturae**, 245(2):171-177, 2019.

DAMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 19(4):485– 510, 2007.

DARDENGO, M. C. J. D. et al. Crescimento e qualidade de mudas de café conilon produzidas em diferentes recipientes e níveis de sombreamento. **Coffee Science**, 8(4):500-509, 2013.

DAVIS, A. P. et al. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 167(4):357-377, 2011.

DIDONET, A.D.; VITÓRIA. T, B. Common bean response to heat stress in different phenological stages. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 36(3):199-204, 2006.

DINIS, L. T. et al. Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. **Journal of Plant Physiology**, 191(2):45-53, 2016.

Do NASCIMENTO, E. A. et al. Morphophysiological alternations in leaves of *Coffea arabica* L. plants in consort with *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. **Ciência Rural**, 36(3):852-857, 2006.

GLENN, D. M. The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. **HortScience**, 47 (6): 710-711, 2012.

GLENN, D. M. Particle Film Mechanisms of Action That Reduce the Effect of Environmental Stress in ‘Empire’ Apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 134(3):314–321, 2009.

GLENN, D.M et al. Impact of kaolin particle film and water deficit on wine grape water use efficiency and plant water relations. **Hortscience**, 45(8):1178–1187, 2010.

HASANUZZAMAN, M. et al. Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms of Heat Stress Tolerance in Plants. **International Journal of Molecular Sciences** 14(5):9643-9684, 2013.

- LUCIANI, E. et al. Mitigation of multiple summer stresses on hazelnut (*Corylus avellana* L.): effects of the new arbuscular mycorrhiza *glomus iranicum tenuihypharum* sp.nova. **Scientia Horticulturae**, 257(11):108659, 2019.
- MARTINS, S. C. V. et al. Understanding the low photosynthetic rates of sun and shade coffee leaves: bridging the gap on the relative roles of hydraulic, diffusive and biochemical constraints to photosynthesis. **PLoS One**, 9(4):e95571, 2014.
- MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações**. Fundação PROCAFÉ. Edição revisada, ampliada e ilustrada. Rio de Janeiro/ Varginha, 2005.
- MATOS, F. S. et al. Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. **Environmental and Experimental Botany**, 67(2):421-427, 2009.
- MESSCHMIDT, A. A. et al. Trocas gasosas e atividade antioxidante de portaenxertos de *Prunus* spp. submetidos ao estresse por seca e alagamento. **Revista de la Facultad de Agronomía**, 114(1):71-81, 2015.
- MOUTINHO-PEREIRA, J. et al. Effects of elevated CO₂ on grapevine (*Vitis vinifera* L.): physiological and yield attributes. **Vitis**. 48 (4): 159–165, 2009.
- POMPELLI, M. F. et al. Leaf anatomy, ultrastructure and plasticity of *Coffea arabica* L. in response to light and nitrogen availability. **Biotemas**, 25(4):13-28, 2012.
- SHELLIE, K.C.; KING, B. A.; Kaolin particle film and water deficit influence red winegrape color under high solar radiation in an arid climate. **American Journal of Enology and Viticulture**. 64(2):214-222, 2013.
- STEIMAN, S. R.; BITTENBENDER, H. C. Kaolin particle film use and its application on coffee. **Hortscience**, 42(7):1605-1608, 2007.
- VIEIRA, H. D. (Org). **Café rural: noções da cultura**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, 2017. 304 p.
- WISE, R. R. et al. Electron transport is the functional limitation of photosynthesis in field-grown Pima cotton plants at high temperature. **Plant, Cell & Environment** 27(6): 99-104, 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed, Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.
- TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. dos. Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Coffee Science**, 5(3):251-261, 2010.
- TURNER, C. N.; SCHULZE, E. D.; GOLLAN, T. The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. **Oecologia**, 63(3):338-342. 1984

2. ARTIGO I- CRESCIMENTO INICIAL DO CAFEIEIRO ASSOCIADO AO USO DO CAULIM E ADJUVANTE

Resumo: Estresses abióticos causam danos significativos ao desenvolvimento do cafeeiro. Buscando soluções para atenuá-los, os estudos sobre a ação antitranspirante têm sido intensificados, a exemplo do caulim, que produz um filme de partículas com propriedades reflexivas. Nesse contexto, este experimento tem como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de doses de caulim em diferentes cores com ou sem adição de adjuvante sobre variáveis biométricas durante o crescimento inicial do cafeeiro. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com três repetições em esquema fatorial incompleto com um tratamento adicional, resultando em 11 tratamentos e 33 parcelas. O primeiro fator compreendeu três doses de caulim (20, 40 e 60g); o segundo fator apresentou duas cores de caulim (branco e creme), e o terceiro fator foi a ausência ou presença de um adjuvante, incluindo também um tratamento adicional (testemunha). A parcela foi composta por quatro mudas da cultivar IPR 100. Observou-se que a altura da planta (AP), número de ramos plagiotrópicos (NRP), índice de área foliar (IAF), matéria seca foliar (MSF), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR) e matéria seca total (MST) apresentaram diferenças significativas. Em relação à AP, a dose de 40g de creme de caulim sem adjuvante aumentou 7,07 cm a mais que o controle. Para IAF a dose de 40g com adjuvante teve aumento de 97,65 cm². Para MSF e MST, a dose de 40 g de caulim branco com adjuvante apresentou aumentos respectivos de 5,2 e 12,78 g. A aplicação de caulim branco com adjuvante aumentou a MSPA em 4,52g. Para MSR, a dose de 40g de caulim branco com adjuvante aumentou 6,51g a mais que o controle. A dose de 40g de caulim branco com adjuvante teve maior efeito nas variáveis biométricas.

Palavras-Chaves: Antitranspirante; Biomassa; Estresse térmico; Partícula de filme.

2.1 INTRODUÇÃO

O Brasil, maior produtor de café em grão, previu para a safra 2020/2021 a produção de 46.878,7 mil sacas de café em grão, uma redução de cerca de 25,7% em relação à safra anterior (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2021). Tal diminuição está associada aos efeitos fisiológicos da bienal negativa e às condições climáticas adversas de seca, altas temperaturas e geadas nas regiões produtoras.

Devido a fatores climáticos, como temperatura, umidade do ar e solo, as lavouras de café para produção comercial estão praticamente confinadas à região intertropical, variando entre a latitude 20-25° N e a latitude 24° S (BICHO et al., 2011). O café arábica, principal espécie de interesse econômico do gênero *Coffea*, apresenta estreita faixa térmica ótima entre 18 e 22 °C (MATIELLO et al., 2010), limitando sua área produtiva em um país tropical como o Brasil.

As condições ambientais adversas obrigam muitos cafeicultores a utilizar a poda recepa (toque) para proteger a lavoura e permitir maior produção na safra seguinte. Tais adversidades impõem aos pesquisadores e agricultores a necessidade de estudar técnicas de manejo que mitiguem o efeito de temperaturas acima do ideal, como sombreamento (RIBEIRO et al., 2019), redução de espaço (RONCHI et al., 2015), seleção de plantas de alta cultivares tolerantes à temperatura (BRITO et al., 2019), e mais recentemente tem sido utilizada a aplicação de caulinita (SANTOS et al., 2021).

Nos últimos anos, aumentaram os estudos sobre produtos com ação antitranspirante. Três tipos de produtos são conhecidos: filme de partículas, materiais refletores e promotores de fechamento dos estômatos (GLENN, 2012; AHMED et al., 2013; CONDE et al., 2018; RIBEIRO et al., 2019). Os antitranspirantes que se destacam são os formadores de película como a caulim e os refletores por não serem tóxicos e terem um período de eficácia mais longo em comparação com os de efeito metabólico que estimulam o fechamento estomático (AHMED et al., 2013).

O caulim é citado por GLENN e PUTERKA (2005) como um antitranspirante que forma um filme de partículas, sendo descrita como uma argila modificada, multifuncional, de cor branca, não porosa, não poluente e de baixa abrasividade. É comercializado na forma de pó (GLENN et al., 2010), diluído em água e aplicado por meio de spray. Quando seca, cobre a superfície da folha com uma película branca, formando um filme de partículas com propriedades reflexivas (DINIS et al., 2016).

A literatura cita o uso do caulim com efeitos benéfico em diferentes culturas, como mamoeiro (CAMPOSTRINI; REIS; SOUZA, 2010), parreira (GLENN et al., 2010; DINIS et al., 2016; CONDE et al., 2018), macieira (GLENN, 2009), eucalipto (SANTOS et al., 2021), algodoeiro (SILVA; SILVA, 2015) e cafeeiro (STEIMAN; BITTENBENDER, 2007; COBRA et al., 2020).

Os principais efeitos descritos são a regulação térmica foliar reduzindo o impacto das altas temperaturas; uso eficiente dos recursos hídricos pela planta, potencializando a resposta ao déficit hídrico; assimilação de carbono porque os estômatos permanecem abertos por períodos mais prolongados; proteção contra escaldadura (BOARI et al., 2015) e pragas e doenças (NATEGHI; PAKNEJAD; MOAREFI, 2013; SILVA; SILVA, 2015).

Pelo exposto, a hipótese deste trabalho é que a aplicação de diferentes cores e doses de caulim associado ou não à presença de adjuvante promoverá o crescimento vegetativo do cafeeiro em seu desenvolvimento inicial. Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de doses de caulim em diferentes cores com ou sem adição de adjuvante sobre variáveis biométricas durante o crescimento inicial do cafeeiro.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Horticultura e Controle Biológico Professor Mário César Lopes (latitude 24°46' S, longitude 54°22' W e altitude aproximada de

420 m), pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE), Campus Marechal Cândido Rondon - PR. Foi conduzido em condições de campo entre 02 de novembro de 2020 e 08 de maio de 2021. Os dados meteorológicos sobre o período experimental foram obtidos na Estação Meteorológica de Observação Automática de Superfície de Marechal Cândido Rondon (Figura 1).

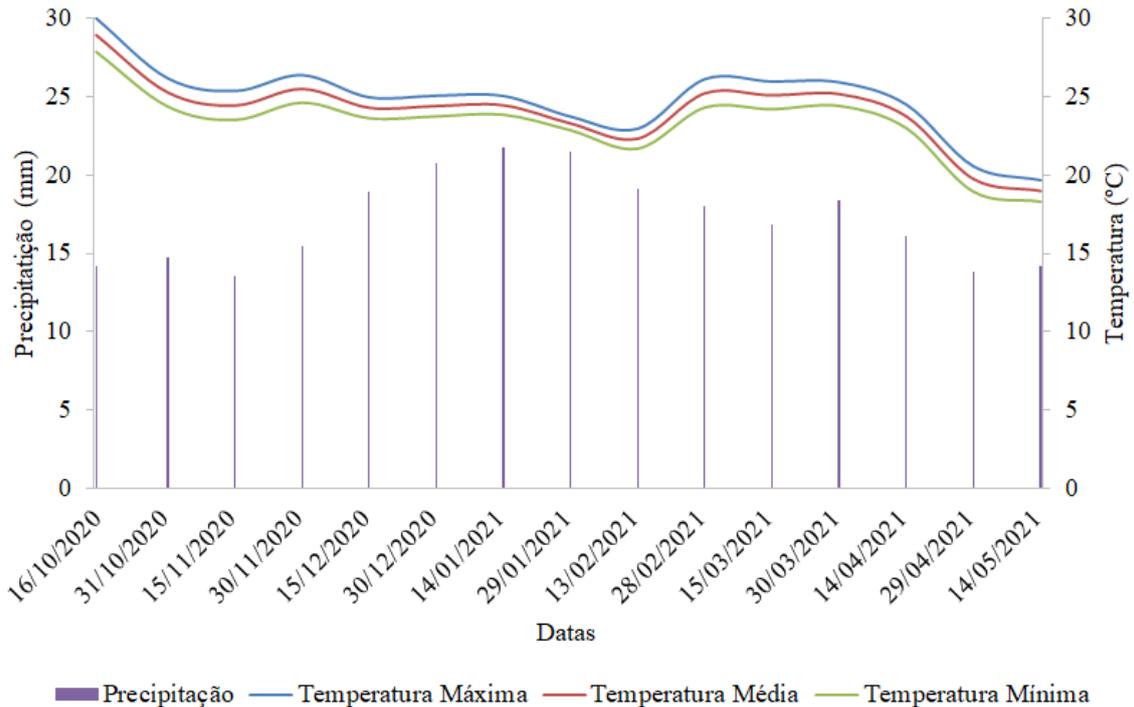


FIGURA 1. Temperatura máxima e mínima ao longo do período de condução do experimento.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, mesotérmico e subtropical úmido (ALVARES et al., 2014). A temperatura média anual do ar variou entre 22 e 23 °C, e a umidade relativa do ar entre 70 e 75%. A precipitação pluviométrica anual total variou entre 1600 e 1800 mm, com evapotranspiração de referência entre 1000 e 1100 mm por ano (NITSCHKE et al., 2019).

O solo do substrato é Latossolo Vermelho distroférico de textura muito argilosa (695 g kg⁻¹ de argila, 212 g kg⁻¹ de silte e 93 g kg⁻¹ de areia) (SANTOS et al., 2018). A porção de solo

coletada para os experimentos foi peneirada (malha 4 mm). Em seguida, amostras foram coletadas aleatoriamente e enviadas para caracterização dos atributos químicos do solo (TEIXEIRA et al., 2017).

Os resultados da análise química do solo antes do experimento foram: pH em $\text{CaCl}_2 = 5,55$; matéria orgânica = $34,25 \text{ g kg}^{-1}$; P (disponível) $21,58 \text{ mg dm}^{-3}$; Ca^{2+} $2,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg^{2+} $1,57 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; K^+ $1,31 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Al^{3+} $0,12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{H+Al} = 4,29 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{SB} = 4,97 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{CTC} = 9,26 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{V} = 53,7\%$.

Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com três repetições em esquema fatorial incompleto com tratamento adicional ($3 \times 2 \times 2 - 1$) + 1, resultando em 11 tratamentos e 33 parcelas. O primeiro fator compreendeu três doses de caulim (20, 40 e 60 g); o segundo fator teve duas cores de caulim (branco e creme), e o terceiro fator foi a ausência ou presença de adjuvante (óleo mineral na proporção de 0,05% utilizado para atuar como espalhante e adesivo), incluindo também um tratamento adicional (testemunha), recebendo água no mesmo volume de calda que os demais tratamentos à base de caulim receberam. O esquema fatorial ficou incompleto pela ausência da dose 60 g (cor branca e creme) com adjuvante devido à impossibilidade técnica de aplicá-lo sem obstruir a ponta de pulverização. A parcela continha quatro mudas, cada muda depositada em um vaso com 12 dm^3 de solo.

A cultivar utilizada foi a IPR 100, que se originou do cruzamento entre um cafeeiro do germoplasma Catuaí e o cafeeiro “Catuaí” x genótipo de café da série ‘BA-10’ com genes de *C. liberica*. O IPR 100 é indicado principalmente para regiões quentes com temperaturas médias acima de $21,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (SERA; SERA, 2017).

A adubação do substrato foi realizada com base no Manual de Adubação e Calagem do Estado do Paraná (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - SBCS, 2017), aplicando-se 155 kg ha^{-1} da formulação comercial de 10-15-15 (N- P_2O_5 - K_2O). As mudas de café foram obtidas de um viveiro certificado e possuíam quatro pares de folhas e a presença de uma folha de

“orelha de onça”. Estas foram mantidos em área semi protegida por 15 dias para aclimação; foi aplicado, com sete dias de antecedência da implantação do experimento, o fungicida protetivo Oxicloreto de cobre na dosagem de 2 kg ha⁻¹ com um volume de calda de 200 L.

Os diferentes caulins utilizados foram enviados para análise química no laboratório de análise de minerais e rochas- Instituto Lamir, pertencente à Universidade Federal do Paraná onde se determinou a granulométrica na malha 325 (0,044 mm), o pH de 5,4 e a partir da análise química semiquantitativa total por espectrometria de fluorescência de raios X foram encontrados os seguintes resultados para o caulim branco: SiO₂(49,0 %), Al₂O₃ (34,9 %), Fe₂O₃ (2,0%), K₂O (1,4%), TiO₂ (0,6%), MgO (0,3%), P₂O₅ (< 0,1%), Zr O₂ (< 0,1%), CaO (<0,1%), MnO (< 0,1%), SO₃ (<0,1%), ZnO (< 0,1%), SrO (< 0,1%), Rb₂O (<0,1%) e para o caulim creme: SiO₂ (58,1%), Al₂O₃ (25,4 %), Fe₂O₃ (3,0%), K₂O (4,0 %), TiO₂ (1,1 %), MgO (1,0 %), BaO (0,1%), (Na₂O 0,1%) P₂O₅ (0,1%), ZrO₂ (0,1%), CaO (<0,1%), MnO (< 0,1%), SrO (< 0,1%), Rb₂O (<0,1%).

A aplicação dos tratamentos teve início no dia 02 de dezembro de 2020, 30 dias após o transplântio das mudas. (COBRA et al., 2020). Foi utilizado pulverizador costal pressurizado a CO₂ com pressão constante de 43,5 Psi, barra de pulverização plana tripla cerâmica Magnojet, tipo cônico 100, a 50 cm de altura das plantas, e volume de calda de 250 L ha⁻¹ (SILVA; RAMALHO, 2013). No momento da aplicação, a temperatura do ar e a umidade relativa do ar eram de 27 °C e 54%, respectivamente, medidas por meio de um termohigrômetro modelo HT-700. A velocidade do vento foi de 4,5 km h⁻¹. A aplicação dos tratamentos ocorreu em um intervalo de 30 dias durante seis meses. A umidade do solo foi mantida próxima a 0,25 m³ m⁻³, capacidade de campo, monitorada com medidor de umidade do solo (modelo Hidro Farm 1+ FM 2030).

As avaliações biométricas realizadas foram altura da planta em centímetros (AP), diâmetro do caule em centímetros (DC), número de ramos plagiotrópicos (NRP), índice de área foliar

(IAF), matéria seca de folha em gramas por planta (MSF), matéria seca de caule em gramas por planta (MSC), matéria seca da raiz em gramas por planta (MSR), matéria seca da parte aérea em gramas por planta (MSPA) e matéria seca total em gramas por planta (MST). As avaliações não destrutivas (AP, DC e NRP) foram realizadas mensalmente após a aplicação dos tratamentos. As avaliações destrutivas (IAF, MSF, MSC, MSR, MSPA, MST) foram feitas após a coleta do experimento em 8 de maio de 2021.

A altura da planta (AP) foi medida com fita métrica desde a base da planta no solo até a última folha se estabelecer no ramo principal (ortotrópico). O diâmetro do caule (DC) foi medido com paquímetro digital na altura de 5 cm do caule do solo. O número de ramos plagiotrópicos (NRP) foi contado com uma tabela de números de pares na área experimental.

As plantas tiveram suas estruturas separadas (raiz, caule e folhas) na coleta do experimento. As folhas passaram pelo medidor de área foliar modelo LI-3100C Area Meter para determinar a área foliar específica ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$). Em seguida, foram identificados e armazenados em sacos de papel kraft, secos em estufa com ventilação forçada a 65 °C por 72 horas, obtendo-se a matéria seca específica (MSE). Essa metodologia foi reproduzida para as demais partes (caule e raiz), determinando MSF e MSC, enquanto MSPA foi obtida pela adição de MSF + MSC, e a MST foi obtida pela adição de MSR + MSPA. Após esse período, foram pesados em balança de precisão de 0,0001 g. O IAF foi medido pelo método direto, utilizando-se a multiplicação da área foliar específica e MSF (LUCCHESI, 1984).

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e teste de homogeneidade de variâncias de Hartley, verificando-se a falta de normalidade dos dados. Eles foram transformados por $\sqrt{x+1}$, e foi realizada a análise de variância (ANOVA). As médias significativas pelo teste F ($p \leq 0,01$ e $\leq 0,05$) foram comparadas pelo teste de Tukey. As médias expostas nas tabelas são dos dados retransformados obtidos da operação inversa

em $\sqrt{(x+1)}$. As análises estatísticas foram feitas com o programa SAS (SAS Analysis System, 2014).

2.3 RESULTADOS

Pela análise de variância foram observada diferença para AP entre: dose x cores de caulim; dose x adjuvante; cores de caulim x adjuvante e fatorial x adicional, para NRP e IAF entre a interação dose x adjuvante, para MSF entre as interações: dose x cores de caulim; dose x adjuvante e cores de caulim x adjuvante, para MSPA entre a interação cores de caulim x adjuvante, para MSR no fator adicional e adjuvante e para MST entre as interações cores de caulim x adjuvante e fatorial x adicional (Tabela 1). Já para as variáveis DC e MSC não houve diferença com média geral de 7,25 cm e 4,17 g, respectivamente.

TABELA 1. Média da altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de ramos plagiotrópicos (NRP), índice de área foliar (IAF), matéria seca da folha (MSF), matéria seca do caule (MSC), matéria seca da raiz (MSR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST).

FV	GL	AP	DC	NRP	IFA	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST
		QM								
bloco	2	13,65	1,28	0,57	9693,07	5,88	1,55	1,99	13,14	22,93
dose	2	5,47	1,03	0,36	16756,47*	3,81	0,14	12,84	2,53	25,53
caulin	1	2,55	0,52	0,11	37669,51*	12,63*	0,07	4,72	10,79*	1,24
adj	1	14,11	1,90	0,04	10738,28	13,32*	0,42	66,53*	18,44*	155,01*
dose*caulin	2	18,20*	0,10	0,03	6170,29	2,06	0,01	2,93	1,85	8,56
dose*adj	1	4,04	0,27	1,04*	18378,41*	2,45	0,50	3,20	5,17	16,51
caulin*adj	1	1,82	0,61	0,38	53886,22**	32,76*	1,13	1,32	46,06*	62,97*
dose*caulin*ad j	1	15,20*	0,09	0,04	41,55	10,71*	0,51	12,22	6,54	36,65
adicional	1	42,84**	0,41	0,07	297,43	4,20	0,64	18,55*	8,12	51,21*
Erro	20	3,17	0,49	0,18	2905,68	1,04	0,71	4,06	2,43	10,18
Total	32					---				
Média		38,61	7,25	2,86	264,56	7,11	4,17	12,02	11,29	23,31
CV (%)		4,62	9,65	14,67	20,37	14,30	14,30	16,75	13,81	13,69

Nota: Adj- adjuvante

Na variável AP para a interação dose x adjuvante, a dose 40 de caulim creme sem adjuvante diferiu da dose 40 de caulim creme com adjuvante representando um incremento na altura de 5,42 cm (12,92%), para as demais combinações as médias não diferiram (Tabela 2). No que se refere à dose 60, não pode ser analisada pela ausência dos tratamentos da referida dose com adjuvante.

TABELA 2. Altura de plantas (cm) de café arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha		34,88		A				
		Sem adj			Com adj					
Cores/Doses	20		40		60		20		40	
	Branco	38,46	<i>aAαA</i>	40,63	<i>aAαB</i>	40,12	<i>aAB</i>	37,63	<i>aAαA</i>	39,50
Creme	37,93	<i>aAαA</i>	41,95	<i>aAαB</i>	37,83	<i>aAA</i>	39,18	<i>aAαA</i>	36,53	<i>aAβA</i>

Nota: Adj- adjuvante. Letra minúscula comparação na coluna entre as cores dentro dos fatores doses e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúsculas comparação na linha entre as doses dentro dos fatores cores e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra grega comparação na linha entre as doses na presença ou ausência de adjuvantes dentro da mesma cor pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúsculas em itálico comparação dos tratamentos x adicional pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Em relação ao AP, comparado com fatorial x adicional (testemunha), diferenças significativas foram observadas na dose de 40 g de caulim branco com e sem adjuvante, 60 g de caulim branco e 40 g de caulim creme sem adjuvante (Tabela 2). Comparando-se o tratamento

adicional (testemunha) com a dose de 40 g de creme de caulim sem adjuvante, percebeu-se um crescimento de AP de 20,27% para as plantas que receberam caulim, com aumento de 7,07 cm entre as médias observadas. As doses de 40 e 60 g de caulim branco sem adjuvante e 40 g de caulim branco com adjuvante tiveram acréscimos de 5,57 cm, 5,24 cm e 4,62 cm.

Avaliando o NRP na interação dose x adjuvante, observa-se que as doses de 20 g e 40 g com e sem adjuvante não apresentaram diferença (Tabela 3). O mesmo comportamento foi observado para a dose de 20 g sem adjuvante x 20 g com adjuvante ou 40 g com e sem adjuvante.

TABELA 3. Média de número de ramos plagiotrópicos de plantas de café arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha		3,00		
Cores/Doses	Sem adj			Com adj		
	20	40	60	20	40	
Branco	2,50	3,16	2,66	3,33	3,00	
Creme	2,66	3,16	2,50	2,83	2,66	
	Sem adj	20	2,58 Aa	Com adj	20	3,08 Aa
	Sem adj	40	3,16 Aa	Com adj	40	2,83 Aa

Nota: Adj- adjuvante. Letra maiúscula comparação na coluna no fator dose pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra minúscula comparação na linha entre as doses dentro dos fatores dose e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade

A IAF na interação dose x adjuvante comparando as doses 20 g x 40 g com ou sem adjuvante não apresentou diferença entre elas (Tabela 4). Dentro das doses, a dose de 40 g sem

adjuvante diferiu da mesma dose com adjuvante na ordem de 38,53%, com aumento do IAF de 97,65, o que não foi observado para a dose de 20 g.

TABELA 4. Média do índice de área foliar de plantas de café arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

Testemunha 275,48									
Cores/Doses	Sem adj			Com adj					
	20	40	60	20	40				
Branco	324,35	435,64	212,62	239,99	245,85				
Creme	192,48	266,42	153,55	302,92	260,91				
	Sem adj	20	258,41	Aa	Com adj	20	271,45	Aa	
	Sem adj	40	351,03	Aa	Com adj	40	253,38	Ab	

Nota: Adj- adjuvante. Letra maiúscula comparação na coluna no fator dose pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra minúscula comparação na linha entre as doses dentro dos fatores dose e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Em relação ao MSF dentro da interação dose x cores de caulim, independente das doses ou cores utilizadas sem adjuvante, as médias não diferiram entre si. Entretanto, os resultados para a dose de 40g entre o caulim branco e a caulim creme com adjuvante apresentam diferença entre as médias, com aumento de 55,17% para o caulim branco em relação a caulim creme, aumentando 5,2 g entre os tratamentos (Tabela 5)

TABELA 5. Média de matéria seca foliar de plantas de café arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha 5,99									
Cores/Doses		Sem adj				Com adj					
		20	40	60		20	40				
Branco		6,87	aA α	5,80	aA β	6,12	aA	8,73	aA α	11,60	aB α
Creme		6,93	aA α	7,32	aA α	5,99	aA	6,78	aA α	6,40	bA α
	Sem adj branco	20,60		<i>Aa</i>		Com adj branco	26,50		<i>Ab</i>		
	Sem adj creme	22,81		<i>Aa</i>		Com adj creme	23,96		<i>Aa</i>		

Nota: Adj- adjuvante. Letra minúscula comparação na coluna entre as cores dentro dos fatores doses e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúsculas comparação na linha entre as doses dentro dos fatores cores e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra grega comparação na linha entre as doses na presença ou ausência de adjuvantes dentro da mesma cor pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúscula em itálico comparação na coluna no fator cores de caulim pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra minúscula em itálico comparação na linha entre os fatores cores de caulim e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

A comparação do caulim branco entre as doses 20 x 40 g com adjuvante teve uma diferença entre as médias de 24,74%, representando um aumento de 2,87 g de MSF para a dose de 40 g de caulim branco com adjuvante. Este comportamento não foi observado para o caulim creme. Na interação cores de caulim x adjuvante para MSF, as médias não diferiram entre si independente das comparações estabelecidas.

Ainda em relação ao MSF na interação dose x adjuvante, a dose de 20 g de caulim branco ou creme com ou sem adjuvante não teve diferença. No entanto, 40 g de caulim branco com ou

sem adjuvante aumentaram a MSF em 100% entre as doses. Este comportamento não foi observado para o caulim creme.

Para o MSPA apresentado na tabela 6, houve diferença entre as médias para a interação cores de caulim x adjuvante. Observa-se que as médias dos tratamentos com caulim branco e creme com ou sem adjuvante não diferiram. O mesmo comportamento foi observado com os tratamentos de caulim branco e creme com adjuvante (Tabela 6). Porém, comparando o tratamento com caulim branco com ou sem adjuvante, observa-se uma diferença de 44,77%, representando um aumento de 4,52 g na MSPA na comparação entre os tratamentos. O caulim creme com e sem adjuvante não apresentou diferença entre as médias.

TABELA 6. Média da matéria seca da parte aérea de plantas de café arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha		9,72				
Cores/Doses	Sem adj			Com adj				
	20	40	60	20	40			
Branco	10,71	9,50	10,77	13,26	15,99			
Creme	11,58	11,30	10,512	10,68	10,16			
	Sem adj	branco	10,10	Ab	Com adj	branco	14,63	Aa
	Sem adj	creme	11,44	Aa	Com adj	creme	10,42	Aa

Nota: Letra maiúscula comparação na coluna no fator cores de caulim pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra minúscula comparação na linha entre os fatores cores de caulim e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Avaliando os dados MSR entre fatorial X adicional (testemunha), apenas a dose de 40 g de caulim branco com adjuvante diferiu do controle, apresentando um aumento de 6,51 g, que é

um aumento de 67,47% para o tratamento com caulim (Tabela 7). Da mesma forma, o fator adjuvante apresentou diferença entre as médias onde a presença do produto influenciou o acúmulo de MSR em 30,40%.

TABELA 7. Média da matéria seca radicular em gramas de plantas de café arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

Testemunha 9,65 A										
Cores/Doses	Sem adj						Com adj			
	20		40		60		20		40	
Branco	10,87	A	10,21	A	9,54	A	12,51	A	16,16	B
Creme	10,49	A	12,25	A	12,07	A	14,04	A	14,42	A
	Sem adj	10,95	B				Com adj	14,29	A	

Nota: Adj- adjuvante. Letra maiúscula em itálico comparação dos tratamentos x adicional pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúscula comparação do adjuvante pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Com relação a MST, comparando o fatorial X adicional (testemunha), apenas a dose de 40 g de caulim branco com adjuvante diferiu da testemunha. Comparando as médias percebe-se um aumento de 12,79 g, representando um aumento de 66,02% para o tratamento com caulim. Vale ressaltar que o tratamento com caulim branco na dose de 40 g sem adjuvante foi 63,19% menor que o tratamento com adjuvante, fato que deve ser melhor estudado (Tabela 8).

TABELA 8. Média da matéria seca total em gramas de plantas de café arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha		19,37		A		
Cores/Doses	Sem adj				Com adj			
	20		40		20		40	
Branco	21,50	<i>A</i>	19,71	<i>A</i>	<i>25,77</i>	<i>A</i>	32,16	<i>B</i>
Creme	22,07	<i>A</i>	23,55	<i>A</i>	24,72	<i>A</i>	24,58	<i>A</i>
	Sem adj	branco	20,60	<i>Aa</i>	Com adj	branco	26,50	<i>Ab</i>
	Sem adj	creme	22,81	<i>Aa</i>	Com adj	creme	23,96	<i>Aa</i>

Nota: Adj- adjuvante. Letra maiúscula em itálico comparação dos tratamentos x adicional pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúscula comparação na coluna no fator cores de caulim pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra minúscula comparação na linha entre os fatores cores de caulim e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

No MST, a interação cores x adjuvante não diferiu dos tratamentos sem adjuvante (caulim branco e creme). O mesmo comportamento foi observado entre os tratamentos com adjuvante (caulim branco e creme). No entanto, os tratamentos com caulim branco, com e sem adjuvante, apresentam uma diferença de 28,63% entre si, representando um aumento de 5,90 g na TMS. A comparação entre os tratamentos de creme de caulim com e sem caulim não teve diferença nas médias.

3.4 DISCUSSÃO

Entre os fatores climáticos, a chuva, a temperatura do ar e o fotoperíodo tiveram maior impacto na taxa de crescimento da parte aérea do cafeeiro (crescimento de ramos ortotrópicos

e plagiotrópicos, formação de nós e expansão das folhas) (Ronchi; Damatta, 2007). É relatado na literatura que dias mais longos geram maior crescimento vegetal em diversas regiões (Silva et al., 2004). Da mesma forma, Baliza et al. (2012) e Rodríguez-López et al. (2014) demonstram que modificações sazonais alteram o crescimento e desenvolvimento das plantas, promovendo melhor desenvolvimento fotossintético com implicações diretas na produtividade.

Este experimento foi conduzido em condições de alta temperatura, com precipitação irregular e dias mais longos (Figura 1), que favorecem o desenvolvimento aéreo dos cafeeiros, principalmente no primeiro ano de implantação, onde apresenta crescimento vegetativo vigoroso por ser uma lavoura sensível a fotoperíodos mais longos que influenciam a taxa de crescimento.

A cultivar IPR 100 apresenta maior tolerância a temperaturas médias-altas. Assim, supõe-se que apresente desenvolvimento satisfatório na exposição total ao sol. Neste experimento, a altura média do controle foi de 34,88 cm (Tabela 2), próxima aos 35 cm obtidos por Furtado et al. (2020) ao avaliar as cultivares IPR 100 e Tupi em cultivo protegido.

Para a variável AP, os tratamentos com maiores doses de caulim branco com e sem adjuvante tiveram maior aumento do que os tratamentos com caulim creme e a testemunha (Tabela 2). Isso pode indicar que a caulim branco tem maior capacidade de reflexão da radiação solar sem interferir na capacidade de fotossíntese da planta. Portanto, plantas tratadas com caulim branco (doses 40 g e 60 g) provavelmente fixam mais CO₂, o que leva a uma maior alocação de carbono nas folhas e outros tecidos em crescimento (Liang et al., 2020).

Além disso, a presença de um adjuvante pode proporcionar maior permanência das partículas de caulim nas folhas do cafeeiro, prolongando o efeito da refletância sobre esta estrutura. Ramos (2010) destaca que, embora muitos fatores influenciem a altura da parte aérea, ela é

tecnicamente aceita por fornecer uma previsão estimada do crescimento e potencial de desenvolvimento da planta.

Este experimento observou que os diferentes tratamentos não interferiram na percepção das plantas quanto aos fatores elencados por Ronchi e Damatta (2007) associados à taxa de crescimento do cafeeiro. Significativamente, o fotoperíodo não apresentou diferenças entre as médias dos tratamentos empregados para NRP (Tabela 3). Este fato é positivo quando se entende que a caulin não reduziu o número de ramificações plagiotrópicas pela maior refletância da radiação solar.

Para compreender a importância desse resultado em relação a outros tipos de manejo, por exemplo, o sombreamento, Rodrigues (2009), ao avaliar o crescimento de plantas jovens de café conilon consorciadas com espécies florestais como o cedro australiano (*Toona ciliata* var. *australis* (F. Muell) Bahadur) e *Parkia multijuga* Benth, relataram que o aumento do sombreamento reduziu o número e o comprimento dos ramos plagiotrópicos, o que afeta o crescimento vegetativo e a produtividade do cafeeiro.

Colodetti et al. (2018) relatam que o maior NRP produz maior número de folhas fotossintetizantes, o que aumenta o número de fotoassimilados, favorecendo a produtividade do café.

Ao avaliar o desempenho vegetativo, Freitas et al. (2007) estimaram a variabilidade e as correlações genéticas em cultivares de café arábica de porte alto e observaram que quanto maior o AP, maior o NRP. Este fato evidencia a existência de um mecanismo compensatório de crescimento vertical por um mecanismo horizontal. Este comportamento não foi observado em nosso experimento.

A área foliar é considerada um parâmetro vital de rendimento, pois o processo fotossintético ocorre na estrutura foliar (Favarin et al., 2002). Plantas de metabolismo fotossintético C3, como o café, geralmente têm um ponto de saturação luminosa mais baixo do que plantas de

metabolismo C4 e CAM (Taiz et al., 2017). Além disso, condições ambientais com temperaturas mais elevadas aumentam a fotorrespiração, limitando o crescimento e a produtividade da cultura (Gerlach et al., 2013) e reduzindo a longevidade dos cafeeiros.

Glenn (2012) afirma que a aplicação de caulim contribui para o aumento do albedo da superfície foliar devido à refletância do comprimento das ondas ultravioleta e infravermelha. Como forma de compensar a menor quantidade de luz disponível, as plantas investem no crescimento da área foliar e na concentração de clorofila nas folhas, semelhante às espécies ombrófilas (Almeida et al., 2005). Isso corrobora os resultados do nosso experimento em que, independentemente da cor do caulim, as diferentes doses proporcionaram diferenças no IAF. A relação entre a dose de 40 g de caulim sem adjuvante aumentou 97,65 em relação à presença de adjuvante (Tabela 4).

Assim, pode-se inferir que o caulim proporcionou um efeito de refletância da radiação solar (Dias; Bruggemann, 2010), aumentando o albedo da área foliar, o que pode ter atenuado o impacto da alta intensidade luminosa nos estômatos, contribuindo para o aumento da assimilação de carbono (Otto et al., 2013). Nesse caso, favorece o desenvolvimento da planta por apresentar maior concentração do produto. Quanto ao maior IAF observado neste experimento sem adjuvante; mais pesquisas são necessárias para entender esse resultado.

O efeito proporcionado pelo aumento do albedo já foi citado na literatura para as espécies: laranja, limão, seringueira e feijão comum (Abou-Khaled; Hagan; Davenport, 1970), café (Ricci et al., 2011; Ricci; Cochetto Junior; Almeida, 2013), nozes e amêndoas (Rosati et al., 2006) e maçã (Wünsche et al., 2004).

Vale ressaltar que o aumento do albedo foliar gera um crescimento mais intenso nos cafeeiros em relação a AP e NRP, o que foi observado sob condições de sombreamento e correspondeu ao efeito de estiolamento, mecanismo da planta para otimizar a captação de luz, conforme observado em estudos anteriores (Camargo, 2007; Ricci; Cochetto Junior; Almeida, 2013). No

entanto, não podemos afirmar que o estiolamento ocorreu neste experimento porque o diâmetro do caule não estava de acordo com os outros tratamentos. Badran e Dwaykat (2018), com o aumento do albedo foliar causado pela aplicação de caulim, observaram como principais resultados: a redução dos danos fisiológicos causados pelo estresse térmico e excesso de radiação solar sem interferir na fotossíntese, o que favorece o acúmulo de matéria seca.

Segundo Charbonnier et al. (2017), o acúmulo de matéria seca é positivo porque indica que o carbono fixado é utilizado para desenvolver e manter a estrutura vegetal baseada no acúmulo de biomassa. A variação no acúmulo de matéria seca sugere a capacidade da planta em captar os recursos naturais disponíveis e utilizá-los para sua manutenção e desenvolvimento.

Neste experimento, o aumento do IAF pode ter influenciado o maior acúmulo de MSF, MSR, MSPA e MST. Vale ressaltar que, para IAF, a dose de 20 g sem adjuvante teve maior desenvolvimento, indicando uma característica genética da cultivar IPR 100, pois foi desenvolvida para regiões com temperatura média anual acima de 21,5°C (Sera; Sera, 2017). Além disso, baixas doses de caulim já reduziram o possível estresse térmico a que a planta poderia estar submetida, influenciando no aumento do IAF.

Para de MSF, MSR, MSPA e MST, a dose de 40 g de caulim branco com adjuvante proporcionou maior acúmulo de matéria seca. Esse fato indica que, pelo aumento do albedo foliar e maior duração do produto na planta a partir do adjuvante, eles investiram no crescimento foliar e na concentração de clorofila nas folhas (Almeida et al., 2005), contribuindo para maior assimilação de carbono (Otto et al., 2013). Portanto, podemos inferir que ocorreu um aumento da fotossíntese líquida e que favoreceu o acúmulo das variáveis de MSF, MSR, MSPA e MST.

Santos e cols. (2021) observaram comportamento semelhante. Os autores relataram que ao comparar a concentração de 3% de caulim com o controle, eles aumentaram 54,9% para MSF,

60,9% para MSPA e 57,7% para MSPR. Esse desempenho pode ser explicado por Otto et al. (2013), que observaram que a caulim ameniza os efeitos da alta intensidade luminosa sobre os estômatos, favorecendo a assimilação do gás carbônico, resultando em aumento das variáveis biométricas.

2.4 CONCLUSÃO

A dose de 40 g de caulim branco com adjuvante proporcionou maior acúmulo de matéria seca para o cafeeiro IPR 100 nas variáveis biométricas: matéria seca de folha, matéria seca de raiz, matéria seca da parte aérea e matéria seca total.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. À empresa Violani Mineração pela doação dos caulins utilizados neste experimento.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

BPC escreveu o manuscrito e realizou o experimento, CYT supervisionou o experimento, co-trabalhou o manuscrito e conduziu todas as análises estatísticas, CARMR auxiliou na condução do experimento e na elaboração do manuscrito e realizou o experimento.

2.5 REFERÊNCIAS

ABOU-KHALED, A.; HAGAN, R. M.; DAVENPORT, D. C. Effects of kaolinite as a reflective antitranspirant on leaf temperature, transpiration, photosynthesis, and water-use efficiency. **Water Resources Research**, 6(2):280-289, 1970.

AHMED, F. F. et al. Protecting red roomy grapevines growing under minia region conditions from sunburn damage. **Stem Cell**, 4 (2):15-20, 2013.

ALMEIDA, S. M. Z. et al. Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. **Ciência Rural**, 35(1):62-68, 2005.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6):711-728, 2014.

BADRAN, A. A.; DWAYKAT, B. F. Prediction of solar radiation for the major climates of Jordan: A regression model. **Journal of Ecological Engineering**, 19(2):24-38, 2018.

BALIZA, D. P. et al. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, 7(3):250-258, 2012.

BICHO, N. et al. **O café: Origens, produção, processamento e definição de qualidade**. Lisboa: Editora Escolar, 2011. 176p.

BOARI, F. et al. Particle film technology: A supplemental tool to save water. **Agricultural Water Management**, 147(1):154-162, 2015.

BRITO, C. et al. Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. **Scientia Horticulturae**, 250(5):310-316, 2019.

CAMARGO, A. P. Arborização de cafezais. **O Agrônomo**, 59(1):25-27, 2007.

CAMPOSTRINI, E.; REIS, F. O.; SOUZA, M. A. Processed-kaolin particle film on papaya leaves: A study related to gas exchange, leaf temperature and light distribution in canopy. **Acta Horticulturae**, 864(864):195-200, 2010.

CHARBONNIER, F. et al. Increased light-use efficiency sustains net primary productivity of shaded coffee plants in agroforestry system. **Plant Cell and Environment**, 40(8):1592-1608, 2017.

COBRA, M. M. et al. Photoprotector in arabica coffee seedlings. **Revista Ciência Agrícola**, 18(2):1-6, 2020.

COLODETTI, T. V. et al. Canopy architecture of arabica coffee conducted with different numbers of orthotropic branches. **Revista Ceres**, 65(5):415-423, 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**. Café, v. 8 – Safra 2021, n.1 - Terceiro Levantamento, Brasília, p. 1-59, 2021. Available in < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cafes/boletim-da-safra-de-caffe>.> Access in: Decembre 08, 2021.

CONDE, A. et al. Kaolin particle film application stimulates photoassimilate synthesis and modifies the primary metabolome of grape leaves. **Journal of Plant Physiology**, 223(4):47-56, 2018.

DIAS, M. C.; BRUGGEMANN, W. Limitations of photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* under drought stress: Gas exchange, chlorophyll fluorescence and Calvin cycle enzymes. **Photosynthetica**, 48(1):96-97, 2010.

DINIS, L. T. et al. Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. **Journal of Plant Physiology**, 191(2):45-53, 2016.

FAVARIN, J. L. et al. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 37(6):769-773, 2002.

FREITAS, Z. M. T. S. et al. Avaliação de caracteres quantitativos relacionados com o crescimento vegetativo entre cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, 66(2):267-275, 2007.

FURTADO, B. N. et al. A importância do ácido salicílico na mitigação do déficit hídrico em plantas de cafeeiro. **Revista Agri-Environmental Sciences**, 6(11):1-12, 2020.

GERLACH, G. A. et al. Análise econômica da produção de feijão em função de doses de nitrogênio e coberturas vegetais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 43(1):42-49, 2013.

GLENN, D. M. Particle film mechanisms of action that reduce the effect of environmental stress in 'empire' apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 134(3):314-321, 2009.

GLENN, D. M. et al. Impact of kaolin particle film and water deficit on wine grape water use efficiency and plant water relations. **Hortscience**, 45(8):1178-1187, 2010.

GLENN, D. M. The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. **HortScience**, 47(6):710-711, 2012.

GLENN, D. M.; PUTERKA, G. J. Particle films: A new technology for agriculture. **Horticultural Reviews**, 31(6):1-44, 2005.

LIANG, X. G. et al. Differential ear growth of two maize varieties to shading in the field environment: Effects on whole carbon allocation and sugar starvation response. **Journal of Plant Physiology**, 251(8):153-194, 2020.

LUCCHESI, A. A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. **Anais Da Escola Superior De Agricultura Luiz De Queiroz- (scientia agricola)**, 41(1):181-202, 1984.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações**. Varginha: Procafé, 2010. 387p.

NATEGHI, M.; PAKNEJAD, F.; MOAREFI, M. Effect of concentrations and time of kaolin spraying on wheat aphid. **Journal of Biological Environmental Science**, 7(21):163-168, 2013.

NITSCHKE, P. R., et al. **Atlas climático do estado do paraná. Londrina, PR: Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR. 2019. 210p.**

OTTO, M. S. G. et al. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de Eucalyptus sob diferentes condi es edafoclimáticas. **Revista  rvore**, 37(3):431-439, 2013.

RAMOS, L. Efeito da adi o do gesso agrícola em substrato no desenvolvimento de mudas de cafeeiro. **Revista Agrogeoambiental**, 2(3):97-103, 2010.

RIBEIRO, A. F. et al. Content of photosynthetic pigments and leaf gas exchanges of young coffee plants under light restriction and treated with paclobutrazol. **Journal of Experimental Agriculture International**, 32(6):1-13, 2019.

RICCI, M. D. S. F. et al. Vegetative and productive aspects of organically grown coffee cultivars undershaded and unshaded systems. **Scientia Agricola**, 68(4):424-430, 2011.

RICCI, M. D. S. F.; COCHETO JUNIOR, D. G.; ALMEIDA, F. F. D. Condi es microclimáticas, fenologia e morfologia externa de cafeeiros em sistemas arborizados e a pleno sol. **Coffee Science**, 8(3):379-388, 2013.

RODRIGUES, V. G. S. **Avaliação do desenvolvimento vegetativo de cafeeiros arborizados e a pleno sol.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2009. 4p. (Circular Técnica nº 112).

RODRÍGUEZ-LÓPEZ, N. F. et al. Morphological and physiological acclimations of coffee seedlings to growth over a range of fixed or changing light supplies. **Environmental and Experimental Botany**, 102(6):1-10, 2014.

RONCHI, C. P. et al. Root morphology of Arabica coffee cultivars subjected to different spatial arrangements. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50(3):187-195, 2015.

RONCHI, C. P.; DAMATTA, F. M. Aspectos fisiológicos do café conilon. *In*: FERRÃO, R. et al. (Eds). **Café conilon**. Vitória: Incaper, 2007, 205p.

ROSATI, A. et al. Physiological effects of kaolin applications in well-irrigated and water-stressed walnut and almond trees. **Annals of Botany**, 98(1):267-275, 2006.

SANTOS, D. P. et al. Effect of applying a calcined kaolin-based particle film on the photosynthetic capacity and growth of young eucalyptus plants. **Journal of Forestry Research**, 32(4):2473-2484, 2021.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

SAS INSTITUTE INC. **SAS university edition: Instalation guide**. Cary; SAS Institute, 2014. Available in: <https://www.sas.com/pt_br/home.html>. Access in: February 03, 2023.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - SBCS. **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482p.

SERA, T.; SERA, G. H. IPR 100 - Rustic dwarf Arabica coffee cultivar with resistance to nematodes *Meloidogyne paranaensis* and *M. incognita*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 17(2):75-179, 2017.

SILVA, A. L. A. L.; SILVA, C. A. D. Efficient and economical kaolin concentration for cotton protection against boll weevil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50(9):763-768, 2015.

SILVA, C. A. D. de; RAMALHO, F. de S. Pragas: Sempre via manejo integrado. **A Granja**, (770):50-53, 2013. Available in <<https://www.edcentaurus.com.br/agranja/edicao/770/materia/5029>> Access in: Decembre 08, 2021

SILVA, E. A. et al. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. **Field Crops Research**, 89(2):349-357, 2004.

STEIMAN, S. R.; BITTENBENDER, H. C. Kaolin particle film use and its application on coffee. **Hortscience**, 42(7):1605-1608, 2007.

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

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análises de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa; 2017. 574p.

WÜNSCHE, J. N. et al. Sunburn on apples-causes and control mechanisms. **Acta Horticulturae**, 636(4):631-636, 2004.

3. ARTIGO II- RESPOSTA DA ANATOMIA FOLIAR DO CAFEIEIRO ARABICA CULTIVAR IPR 100 COM APLICAÇÃO DO CAULIM E ADJUVANTE

Resumo: O cafeeiro com reconhecida plasticidade fenotípica apresenta limitações advindas de sua sensibilidade aos diversos estresses abióticos. Na tentativa de minimizar possíveis impactos pesquisadores têm desenvolvido estudos com produtos com características antitranspirantes a exemplo do caulim. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de doses de caulim em diferentes cores com e sem adição de adjuvante sobre a anatomia foliar do café arábica cultivar IPR 100 na fase inicial da cultura. O delineamento experimental foi blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial incompleto com tratamento adicional, totalizando 11 tratamentos e 33 parcelas. O primeiro fator foi constituído por três doses de caulim (20, 40 e 60 g), o segundo fator por duas cores de caulim (branco e creme), o terceiro fator pela ausência ou presença de adjuvante e o tratamento adicional. A parcela foi constituída por quatro mudas da cultivar IPR 100. Na análise de variância foi observado que a cutícula abaxial (CAB), epiderme adaxial (EAD) e abaxial (EAB), parênquima paliçádico (EPP), parênquima lacunoso (EPL), xilema (XI), floema (FLO), número de estômatos (NES), diâmetro polar ($\emptyset P$) e diâmetro equatorial ($\emptyset EQ$) apresentaram diferenças significativas entre os fatores de variação. Para CAB o caulim creme promoveu incremento de 1,00 μm . A EAD na dose 40g de caulim creme com adjuvante proporcionou aumento de 7,3 μm . A EAB na dose 20 g caulim branco sem adjuvante (67,73%), EPP caulim branco na dose 40g sem adjuvante (39,62%) foram superiores aos demais tratamentos. NES o caulim creme na dose 20 g com adjuvante proporcionou um aumento de 14,67 estômatos por mm^2 . $\emptyset P$ o caulim creme foi superior de 0,99% o equivalente a 0,268 micrometros. $\emptyset EQ$ o caulim creme 1,59% o equivalente a 0,275 micrometros. As variáveis anatomias foram afetadas pelos tratamentos a base de caulim.

Palavras-chaves: Antitranspirante; Cutícula; Epiderme; Estresse térmico; Estômatos.

3.1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro planta reconhecida pela sua plasticidade fenotípica sofre diversas influências ambientais que interferem em sua anatomia foliar (RICCI et al., 2011). Entre os principais

fatores abióticos que podem ser citados estão: radiação solar, temperatura, quantidade de água disponível no ambiente e os nutrientes do solo (QUEIROZ- VOLTAN et al., 2014).

A modificação desenvolvida pelas folhas é tida como uma resposta adaptativa apresentada pelo cafeeiro que possibilita a planta apresentar um desenvolvimento tido como satisfatório, pois as folhas podem variar em área, forma, capacidade de ajuste na troca gasosa e na concentração de nutrientes (QUEIROZ- VOLTAN et al., 2014).

De acordo com os autores supracitados as respostas adaptativas das folhas do cafeeiro resultam em maior concentração de nitrogênio por massa e da taxa de fotossíntese líquida máxima, acúmulo de massa seca foliar por área, possibilitando que as folhas apresentem alta condutância hidráulica, o somatório desses resultados aumentam a longevidade dessa estrutura na planta.

Mesmo se compreendendo a importância das condições ambientais sobre a estrutura foliar do cafeeiro, houve uma longa pausa de pesquisas relacionadas a essa temática em ambas as espécies de café de importância econômica, a saber: *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner. (DA GAMA et al., 2017).

Contudo em um cenário de aquecimento global, as modificações ambientais principalmente o aumento da temperatura tem afetado as áreas classificadas como aptas pelo zoneamento agrícola para o cultivo de café no Brasil (FELIX et al., 2020). Nesse cenário as novas condições ambientais podem impactar negativamente os processos-chave do metabolismo das plantas de café, a exemplo da abertura estomática, afetando diretamente a fotossíntese e o metabolismo dos carboidratos, bem como a expressão gênica da planta (PINHEIRO e CHAVES, 2011).

Nestas novas condições ambientais, com temperaturas superiores as requeridas pelo cafeeiro, exigissem o desenvolvimento de pesquisas e consequente adoção de técnicas de manejo que

auxiliem na mitigação dos efeitos da temperatura nos processos bioquímicos da cultura (FELIX et al., 2020; QUEIROZ- VOLTAN et al., 2014; RIBEIRO et al., 2019).

Entre as técnicas que vem se destacando no campo pode se citar: sombreamento (RIBEIRO et al., 2019), redução no espaçamento (RONCHI et al., 2015), seleção de cultivares mais tolerantes ao aumento de temperatura (BRITO et al., 2019), e mais recentemente está sendo utilizado a aplicação de produtos com ação antitranspirante a exemplo do caulim (SANTOS et al., 2021).

O caulim é uma argila modificada, multifuncional, de coloração branca, não poroso, não poluente e pouco abrasivo, que apresenta ação antitranspirante criando um filme de partículas sobre a superfície a qual é aplicado (GLENN e PUTERKA, 2005). Comercialmente o caulim é disponibilizado na forma de pó (GLENN et al., 2010), a sua aplicação é realizada com a adição de água criando uma suspensão que é aplicada na forma de spray, quando seca reveste a superfície que se depositou formando uma película branca que apresenta propriedades reflexivas (DINIS et al., 2016).

Como efeito dessa maior reflexividade das folhas tratadas com caulim, as pesquisas têm descrito efeitos secundários do uso do caulim como: regulação térmica foliar, aumento da eficiência do uso de água pela planta e na assimilação de carbono, proteção contra a escaldadura (BOARI et al., 2015), além da ação contra o ataque de insetos-pragas (NATEGHI et al., 2013; SILVA e Da SILVA, 2015).

A partir do exposto a hipótese deste trabalho é que a aplicação de diferentes cores e doses de caulim associados ou não a presença de adjuvante irá reduzir os estresses abióticos pela modificação na anatomia foliar como processo de adaptação do cafeeiro ao meio ambiente. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de doses de caulim em diferentes cores com e sem adição de adjuvante sobre a anatomia foliar do café arábica cultivar IPR 100 na fase inicial da cultura.

2.5 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Horticultura e Controle Biológico Professor Mário César Lopes (latitude 24° 46' S, longitude 54° 22' O e altitude em torno de 420 m), pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE, Campus Marechal Cândido Rondon - PR, exposto as condições de campo, durante o período de 02 de novembro de 2020 a 08 de maio de 2021. Os dados meteorológicos referentes ao período experimental foram obtidos na Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática de Marechal Cândido Rondon (Figura 1).

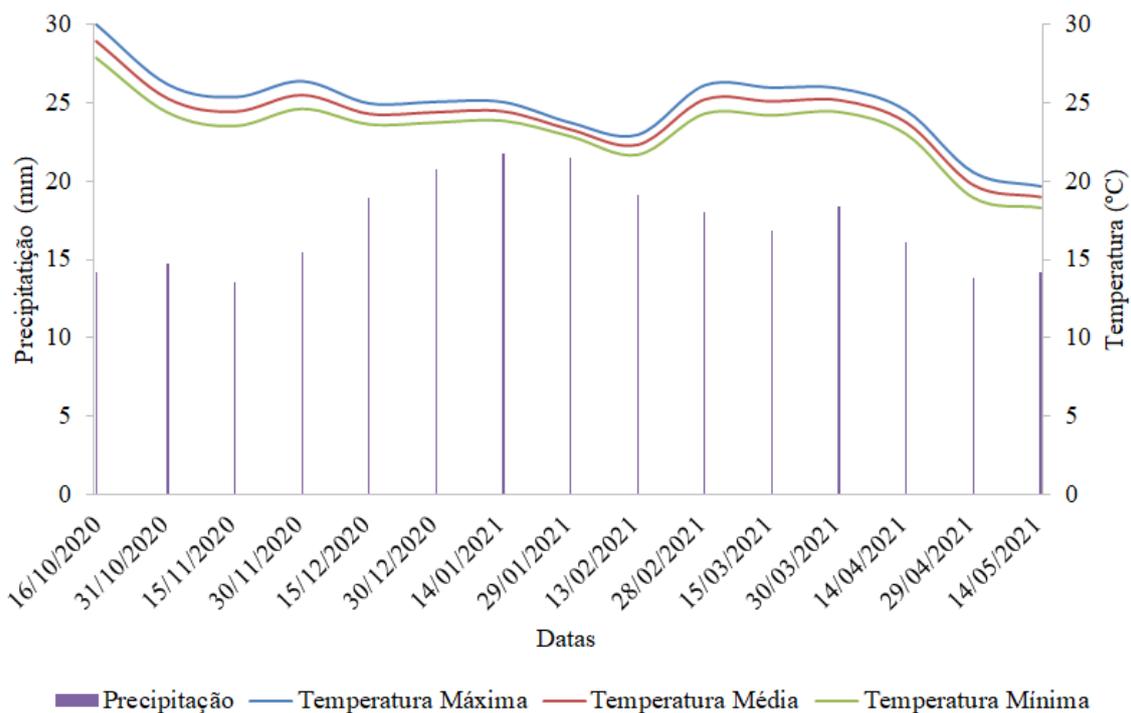


FIGURA 1. Precipitação, temperatura máxima e mínima entre 02 de novembro de 2020 a 08 de maio de 2021, Marechal Cândido Rondon- PR.

Conforme a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, mesotérmico, subtropical úmido (ALVARES et al., 2014). A média anual de temperatura do ar se encontra na faixa de 22 a 23 °C e da umidade relativa do ar entre 70 e 75%. Os totais anuais de

precipitação pluvial variam entre 1600 e 1800 mm e de evapotranspiração de referência na faixa de 1000 a 1100 mm anual (NITSCHKE et al., 2019).

O solo utilizado como substrato no experimento está classificado como um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico de textura muito argilosa (695 g kg⁻¹ de argila, 212 g kg⁻¹ de silte e 93 g kg⁻¹ de areia) (SANTOS et al., 2018). A porção de solo coletada para a instalação dos experimentos foi peneirada (malha 4 mm). Em seguida, foram coletadas amostras, de maneira aleatória, que foram encaminhadas para caracterização de atributos químicos do solo.

Os resultados da análise química do solo antes da instalação dos experimentos foram: pH em CaCl₂ = 5,55; matéria orgânica = 34,25g kg⁻¹; P (disponível) 21,58 mg dm⁻³; CA²⁺ 2,09 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ 1,57 cmol_c dm⁻³; K⁺ 1,31 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ 0,12 cmol_c dm⁻³; H+Al = 4,29 cmol_c dm⁻³; SB = 4,97 cmol_c dm⁻³; CTC = 9,26 cmol_c dm⁻³; V = 53,7%.

O delineamento experimental utilizado foi o em blocos casualizados, com três repetições e em esquema fatorial incompleto com tratamento adicional (3x2x2-1) +1, totalizando 11 tratamentos e 33 parcelas. O primeiro fator foi constituído por três doses de caulim (20 g, 40 g e 60 g); o segundo fator por duas cores de caulim (branco e creme); e o terceiro fator pela ausência ou presença de adjuvante (óleo mineral na proporção 0,05%) e o tratamento adicional (testemunha absoluta). O esquema fatorial foi incompleto pela ausência da dose 60 g (cor branca e creme) com adjuvante (oriundo da impossibilidade técnica de sua aplicação ocasionada pelo entupimento dos bicos de pulverização). A parcela foi constituída por quatro mudas, sendo uma muda por vaso de 12 dm³ de solo.

A cultivar utilizada foi a IPR 100. Esta é originária do cruzamento realizado entre cafeeiro do germoplasma Catuaí e cafeeiro (“Catuaí” x genótipo de café da série ‘BA-10’) portador de genes de *C. liberica*. IPR 100 é indicada preferencialmente para regiões de cultivo aptas quentes, com temperatura média anual acima de 21,5°C (SERA; SERA, 2017).

A adubação do substrato foi realizada com base no manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná (SBCS, 2017), com aplicação 155 kg ha^{-1} da formulação comercial 10-15-15 (N-P₂O₅-K₂O). As mudas de café foram obtidas de viveiro credenciado apresentando cinco pares de folhas permanentes e presença da folha “orelha de onça”. Estas permaneceram em área semi protegida por 15 dias para aclimação; foi aplicado, com sete dias de antecedência da implantação do experimento, o fungicida protetivo Oxicloreto de cobre na dosagem de 2 kg ha^{-1} com um volume de calda de 200 L.

Os diferentes caulins utilizados foram enviados para análise química no laboratório de análise de minerais e rochas- Instituto Lamir, pertencente à Universidade Federal do Paraná onde se determinou a granulométrica na malha 325 (0,044 mm), o pH de 5,4 e a partir da análise química semiquantitativa total por espectrometria de fluorescência de raios X foram encontrados os seguintes resultados para o caulim branco: SiO₂(49,0 %), Al₂O₃ (34,9 %), Fe₂O₃ (2,0%), K₂O (1,4%), TiO₂ (0,6%), MgO (0,3%), P₂O₅ (< 0,1%), Zr O₂ (< 0,1%), CaO (<0,1%), MnO (< 0,1%), SO₃ (<0,1%), ZnO (< 0,1%), SrO (< 0,1%), Rb₂O (<0,1%) e para o caulim creme: SiO₂ (58,1%), Al₂O₃ (25,4 %), Fe₂O₃ (3,0%), K₂O (4,0 %), TiO₂ (1,1 %), MgO (1,0 %), BaO (0,1%), (Na₂O 0,1%) P₂O₅ (0,1%), ZrO₂ (0,1%), CaO (<0,1%), MnO (< 0,1%), SrO (< 0,1%), Rb₂O (<0,1%).

A aplicação dos tratamentos iniciou-se no dia 03 de dezembro de 2020, 30 dias após o transplante das mudas sendo utilizado um pulverizador costal pressurizado a CO₂, operando à pressão constante de 43,5 Psi, barra com três bicos de pulverização cerâmicos Magnojet, tipo cone cheio 100, a uma altura de 50 cm das plantas, pulverizando-se o equivalente a 250 L ha^{-1} de calda. A temperatura e umidade relativa do ar, no momento da aplicação, estavam em 27°C e 54%, respectivamente, e velocidade do vento a $4,5 \text{ km h}^{-1}$. A aplicação dos tratamentos ocorreu no intervalo de 30 em 30 dias durante seis meses.

Em relação à umidade do substrato, esta foi medida com o determinador de umidade do solo (modelo Hidro Farm 1 + FM 2030) e mantida próxima dos $0,25 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ da capacidade de campo através de precipitações pluviométricas e sistema de irrigação com vazão volumétrica de 0,8 L/h divididos em dois turnos de rega com duração de 15 minutos no horário das 7 e das 17 horas, quando necessária.

As avaliações anatômicas realizadas foram: espessura das cutículas adaxial (ECAD) e abaxial (ECAB), espessura da epiderme adaxial (EPAD) e abaxial (EPAB), espessura do parênquima paliçádico (EPP) e lacunoso (EPL), espessura do vaso do xilema (XI) e do floema (FLO), e limbo foliar (LIFO) por μm , bem como a número de estômatos (NES) por mm^2 , diâmetro polar ($\emptyset\text{P}$) e equatorial ($\emptyset\text{EQ}$) dos estômatos.

Para análise das variáveis anatômicas, foram colhidas do terço médio superior de seis plantas por tratamento três folhas completamente expandidas, após a última aplicação do caulim. As folhas foram higienizadas com água corrente em seguida com água destilada para a retirada de pequenas partículas do produto ou de impurezas. As folhas foram armazenadas em tubos falcon (50 ml), fixadas em uma solução de F.A.A. (formaldeído, álcool e ácido acético glacial) 50%, por 28 horas, em seguida o F. A. A 50% foi substituído por álcool etílico a 70% e armazenados em geladeira (JOHANSEN 1940).

Os cortes transversais foram realizados para avaliação das variáveis ECAD, ECAB, EPAD, EPAB, EPP, EPL, XI e FLO na porção mediana basal das folhas. As folhas foram reidratadas com água destilada, seccionada a parte mediana utilizando um pedaço com dimensão de 1x1 cm. Os cortes anatômicos foram feitos à mão livre ao se fixar a porção foliar em um molde de isopor e seccionadas com auxílio de uma lâmina inox. Em seguida estas foram clarificadas por dez minutos em solução a 50% de hipoclorito de sódio, posteriormente foram lavados em água destilada. Os cortes foram submetidos ao processo de coloração com azul de astra por 15 minutos e safranina por cinco minutos. A cada mudança de corante os cortes eram lavados por

três vezes em água destilada para montar as lâminas histológicas os cortes foram cuidadosamente posicionados sobre uma lâmina contendo uma gota de glicerina (ROESER 1972). As lâminas foram observadas em microscópio trilocular serie Bioptika L20 LED e fotomicrografadas em câmera digital de alta resolução de 38 mp modelo biofocus, as imagens foram tratadas no programa Tcapture 4,3, acoplada ao microscópio. Para a avaliação do LIFO foram somadas as estruturas ECAD, ECAB, EPAD, EPAB, EPP, EPL, XI, FLO após a sua medição.

Para as avaliações referentes à caracterização dos estômatos (NES por mm^2 , ØP e ØEQ) foram feitos cortes paradérmicos manuais, utilizando uma lâmina inox. Os cortes foram realizados na região mediana das folhas na epiderme abaxial, em seguida foram corados com safranina 0,1% em água mais glicerina, posteriormente os cortes foram montados em lâminas contendo uma gota de glicerina. A contagem do número de estômatos e medições dos diâmetros polar e equatorial foi realizada com o auxílio de câmara clara em microscópio trilocular serie Bioptika L20 LED, segundo técnica de Kraus e Ardium (1997). Foram observados quatro campos da região mediana de cada folha, totalizando 48 campos por tratamento (12 folhas por tratamento).

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade (shapiro-wilk) e homogeneidade (Hartley) de variâncias, onde se verificou a falta de normalidade dos dados estes foram transformados através de $\sqrt{x+1}$, em seguida se realizou a análise de variância (ANAVA), as médias quando significativas pelo teste F ($p \leq 0,01$ e $\leq 0,05$) foram comparadas pelo teste de Tukey. As médias expostas nas tabelas são oriundas de dados retransformados, obtidos a partir da operação inversa a $\sqrt{x+1}$. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software computacional SAS (SAS Analysis System, 2014).

2.6 RESULTADO

Pela análise de variância foram observada diferença para: ECAB entre as interações: caulim x adjuvante e fatorial x adicional, para EAD entre as interações: dose x adjuvante e fatorial x adicional, para EAB entre as interações: dose x caulim e fatorial x adicional, para EPP, EPL, XI, FLO, NES entre as interações: dose x cores de caulim; dose x adjuvante; cores de caulim x adjuvante e fatorial x adicional, e para ØP e ØEQ entre as interações: fatorial x adicional (Tabela 1).

TABELA 1. Média das variáveis, espessura da cutícula adaxial (ECAD), espessura da cutícula abaxial (ECAB), espessura da epiderme adaxial (EPAD), espessura da epiderme abaxial (EPAB), espessura do parênquima paliçádico (EPP), espessura do parênquima lacunoso (EPL), xilema (XI), floema (FLO), medula (ME), limbo foliar (LIFO), μm , número de estômatos (NE), diâmetro polar do estômato ($\emptyset\text{P}$) e diâmetro equatorial do estômato ($\emptyset\text{EQ}$).

Continuação

FV	GL	ECAD	ECAB	EPAD	EPAB	EPP	EPL	XI	FLO	ME	LIM	NE	$\emptyset\text{P}$	$\emptyset\text{EQ}$
bloco	2	86,93	57,65	1086,75	9,58	85,71	2286,03	12887,8	4061,88	39625,6	971,85	13,64	0,04	0,04
dose	2	27,16	32,16	1689,68	285,8	140,23	793,01	1689,68	3020,22	814,5	1689,68	5,46	0	0
caulin	1	50	14,45	3640,88 *	14,45	89,4 *	1250	68696,9 *	647,81	6612,5	1786,02	2,55	0,2 *	0,2 *
adj	1	67,22	45,76	2254,27	539,67	28	3050,45	52122,1 *	25683,9 *	269120 *	1055,6	14,1	0,11 *	0,11 *
dose*caulin	2	22,93	3,01	73,39 *	14,24 *	67,14	8048,48	10625,4	1469,54	41510,9	9963,25	9,1	0	0
dose*adj	1	140,16	53,77	2501,04	2,44	209,56	228,16	26268,2	14,14	840,16	3304,1	8,08	0,02	0,02
caulin*adj	1	6	115,45 *	273,37	2,89	0,88	45414 *	17604,2	11315 *	140,16	34337,1	1,81	0,03	0,03
dose*caulin*adj	1	16,66	26,37	198,37	0,73	186,82 *	0,16	110433 *	34682,8 *	21720,2	369,73	15,2 *	0,01	0,01
adicional	1	93,38	185,95 *	9283,53 *	3027,09 *	69,75 *	25852,8	15661,9 *	51549,9 *	40724,4	23491	42,83 *	2,26 **	2,26 **
Erro	20	127,77	24,73	864,19	186,76	35,09	14874,8	5694,31	2215,52	23195,7	14316,6	3,17	0,01	0,01
Total	32													
Média		43,3	26	20,65	85,7	31,93	396,93	477,03	244,65	689,78	725,07	147,8	27,01	17,22
CV(%)		26,1	19,13	142,3	15,94	18,54	30,72	16,59	19,73	22,07	16,5	2,25	0,51	0,81

Nota. FV – Fonte de variação, GL – grau de liberdade, CV – Coeficiente de variação, Adj- Adjuvante, * significativo a 5% teste F, ** significativo a 1% pelo teste

Observou-se na variável ECAB (Tabela 2) houve diferença entre as médias para a interação fatorial versus adicional (testemunha) sendo observado que a dose de caulim 40g coloração branca sem adjuvante diferiu estatisticamente da testemunha, para esta variável a dose em questão provocou uma redução na espessura da cutícula em 60,31%.

TABELA 2. Média do espessamento da cutícula abaxial (μm) de plantas de café arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha 3,15A						
Cores/Doses	Sem adj			Com adj				
	20	40	60	20	40			
Branco	2,36A	1,25B	2,20A	2,63A	2,76A			
Creme	3,06A	2,56A	2,76A	2,83A	2,60A			
	Sem adj	branco	1,80	bB	Com adj	branco	2,70	aA
	Sem adj	creme	2,81	aA	Com adj	creme	2,71	aA

Nota: Adj- adjuvante. Letra maiúscula em *itálico* comparação dos tratamentos x adicional pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra minúscula comparação na coluna no fator cores de caulim pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúscula comparação na linha entre os fatores cores de caulim e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Já quando se compara a interação entre as cores de caulim na presença e ausência de adjuvante se observa que na ausência de adjuvante houve diferença entre as médias dos tratamentos sendo que os tratamentos a base de caulim na coloração creme foram superiores a coloração branca na ordem de 55,75%, nesta variável. A escolha do caulim de coloração

creme proporcionou um incremento de 1,01 μm em relação ao caulim branco. Já com a adição de adjuvante não houve diferença entre as médias dos tratamentos.

Quando se comparam os tratamentos dentro do fator cores, na presença e ausência de adjuvante, se observou que os tratamentos a base de caulim branco diferiram, em que a presença de adjuvante proporcionou um incremento de 49,33% na variável ECAB. Não houve diferença entre os tratamentos na coloração creme com e sem adjuvante.

Na variável EPAD houve diferença na interação fatorial x adicional observou-se que o tratamento à base de caulim creme na dose 40g com adjuvante, diferiu da testemunha (Tabela 3). O tratamento à base de caulim creme na dose 40g com adjuvante apresentou um incremento de 73,29%, representando um aumento na espessura da epiderme em 7,3 μm em relação à testemunha.

TABELA 3. Média do espessamento da epiderme adaxial (μm) de plantas de café arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha		9,96A				
Cores/Doses	Sem adj			Com adj				
	20	40	60	20	40			
Branco	15,23A	13,96A	14,26A	9,36A	14,60A			
Creme	15,80A	16,83A	16,86A	12,43A	17,26B			
	Sem adj	20	15,51	aA	Com adj	20	10,90	bA
	Sem adj	40	15,40	aA	Com adj	40	15,93	aA

Nota: Adj- adjuvante. Letra maiúscula em itálico comparação dos tratamentos x adicional pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra minúscula comparação na coluna no fator doses pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúscula

comparação na linha entre os fatores doses e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Para a interação dose de caulim x adjuvante, não houve diferença entre as doses na ausência de adjuvante, já na presença de adjuvante a dose 40 g de caulim foi superior à dose 20g de caulim na ordem de 46,17%, o que representa um incremento de 5,03 μm na EPAD. Quando se relacionou as doses dentro do fator ausência ou presença de adjuvante as médias não diferiram entre si.

Na variável EPAB na interação dose x adjuvante as médias não diferiram já o fatorial x adicional (testemunha) os tratamentos a base de caulim branco na dose 20g com e sem adjuvante e o caulim creme na dose 40g com adjuvante diferiram da testemunha (Tabela 4). Sendo que o caulim branco na dose 20 g sem adjuvante foi 67,73% superior à testemunha representando um incremento de 4,24 μm , seguido dos tratamentos caulim branco na dose 20g com adjuvante e caulim creme na dose 40g com adjuvante, representando respectivamente um incremento de 62,14 (3,89 μm) e 55,91% (3,50 μm), respectivamente, em relação à testemunha.

TABELA 4. Média do espessamento da epiderme abaxial (μm) de plantas de café arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha		6,26A		
Cores/Doses	Sem adj			Com adj		
	20	40	60	20	40	60
Branco	10,50 <i>B</i>	8,20A	7,13A	10,15 <i>B</i>	8,53A	7,13A
Creme	8,70A	8,13A	8,80A	9,26A	9,76 <i>B</i>	8,80A
	Branco	20	10,32 aA	Branco	40	8,36 aA
	Creme	20	8,98 aA	Creme	40	8,95 aA

Nota: Adj- adjuvante. Letra maiúscula em itálico comparação na coluna no fator cores de caulim pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra minúscula comparação na coluna no fator cores de caulim pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúscula comparação na linha entre os fatores cores de caulim e doses pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Para a variável EPP foi observado que houve interação entre dose x caulim, dose x adjuvante e caulim x adjuvante, contudo não houve diferença entre as médias dos tratamentos (Tabela 5). Já na interação fatorial x adicional (testemunha) se observou que o tratamento à base de caulim branco na dose 40g sem adjuvante foi 39,62% inferior em relação à testemunha, apresentando o mesmo comportamento observado na variável ECAB.

TABELA 5. Média do espessamento do parênquima paliçádico (μm) em folhas de café arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha		37,93		A				
Cores/Doses	Sem adj			Com adj						
	20	40	60	20	40					
Branco	42,61	<i>aAαA</i>	22,90	<i>aAαB</i>	44,30	<i>aAA</i>	28,63	<i>aAαA</i>	33,43	<i>aAαA</i>
Creme	31,23	<i>aAαA</i>	27,63	<i>aAαA</i>	31,36	<i>aAA</i>	30,33	<i>aAαA</i>	28,16	<i>aAαA</i>

Nota: Adj- adjuvante. Letra minúscula comparação na coluna entre as cores dentro dos fatores doses e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúsculas comparação na linha entre as doses dentro dos fatores cores e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra grega comparação na linha entre as doses na presença ou ausência de adjuvantes dentro da mesma cor pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúsculas em itálico comparação dos tratamentos x adicional pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade

Na variável EPL se observou que houve interação entre os fatores caulim x adjuvante, os tratamentos com caulim branco sem adjuvante diferiram da colação creme sem adjuvante, com incremento de 26,89 μm , representando um aumento na ordem de 22,64% para os tratamentos a base de caulim branco (Tabela 6). Já para os tratamentos com adição de adjuvante apresentaram um comportamento inverso em relação às cores em que os tratamentos a base de caulim creme se destacaram em relação aos tratamentos a base de caulim branco apresentando um incremento de 30,16 μm , representando um aumento na ordem de 28,35%.

TABELA 6. Média do espessamento do parênquima lacunoso (μm) em folhas de cafeeiro arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha		159,55				
Cores/Doses	Sem adj			Com adj				
	20	40	60	20	40			
Branco	150,55	140,33	114,00	116,77	103,00			
Creme	116,22	121,33	151,00	149,55	141,55			
	Sem adj	branco	145,66	aA	Com adj	branco	109,89	bA
	Sem adj	creme	118,77	bA	Com adj	creme	141,05	aB

Nota: Adj- adjuvante. Letra minúscula comparação na coluna no fator cores de caulim pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúscula comparação na linha entre os fatores cores de caulim e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Já quando se relaciona as cores na presença ou ausência de adjuvante, se observa que não houve diferença entre as médias dos tratamentos a base de caulim branco, contudo nos tratamentos a base de caulim creme houve diferença entre as médias em que a presença de adjuvante proporcionou um incremento de 18,75% no EPL.

Na variável XI foi observado que para a interação dose x caulim houve diferença apenas entre os tratamentos caulim branco e creme na dose 20g sem adjuvante, em que o caulim de coloração creme foi estatisticamente superior ao caulim branco na ordem de 163,67% o que representa um aumento de 82,92 μm (Tabela 7).

TABELA 7. Média do diâmetro do vaso do xilema (μm) de folhas de cafeeiro arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha		105,58		A				
Cores/Doses	Sem adj			Com adj						
	20	40	60	20	40					
Branco	50,66	<i>aAβB</i>	128,16	<i>aBαA</i>	107,08	<i>aβA</i>	140,15	<i>aAαA</i>	116,75	<i>aAαA</i>
Creme	133,58	<i>bAαA</i>	113,66	<i>aAαA</i>	131,30	<i>ααA</i>	128,15	<i>aAαA</i>	143,00	<i>aAαA</i>

Nota: Adj- adjuvante. Letra minúscula comparação na coluna entre as cores dentro dos fatores doses e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúsculas comparação na linha entre as doses dentro dos fatores cores e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra grega comparação na linha entre as doses na presença ou ausência de adjuvantes dentro da mesma cor pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúsculas em itálico comparação dos tratamentos x adicional pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade

Na interação dose x adjuvante houve diferença entre as médias nos tratamentos a base de caulim branco entre as doses 20g na ausência e presença de adjuvante em que o tratamento com adjuvante proporcionou um aumento no XI de 89,49 μm representando um incremento de 176,65% entre os tratamentos.

Já para a interação entre caulim x adjuvante se observou que os tratamentos a base do caulim branco na ausência de adjuvante diferiram entre as doses 20 e 40, em que a dose 40 g proporcionou um crescimento na ordem de 152,98%, com incremento na variável de 77,5 μm em relação à dose 20 g e entre as doses 40 x 60, em que a dose 40 g proporcionou um crescimento na ordem de 19,68%, com incremento no XI de 21,08 μm .

Na interação entre o fatorial x adicional (testemunha) o tratamento de caulim branco na dose 20g sem adjuvante foi 108,40% menor em relação à testemunha representando uma redução de 54,92 μm no XI, os demais tratamentos não diferiram da testemunha.

Na variável FLO a interação dose x caulim não houve diferença estatística, mesmo comportamento observado para a interação caulim x adjuvante (Tabela 8). Já para a interação dose x adjuvante se observou diferença para as doses 20g de caulim branco na ausência e presença de adjuvante em que a presença de adjuvante proporcionou um incremento de 61 μm representando um aumento na ordem de 119,61%.

TABELA 8. Média do diâmetro do vaso do floema (μm) em folhas de cafeeiro arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha		39,00		A				
Cores/Doses	Sem adj			Com adj						
	20	40	60	20	40					
Branco	51,00	<i>aAβA</i>	92,88	<i>aAαB</i>	79,44	<i>aAB</i>	122,00	<i>aAαB</i>	102,00	<i>aAαB</i>
Creme	93,55	<i>aAαB</i>	70,44	<i>aAαA</i>	82,00	<i>aAB</i>	75,66	<i>aAαA</i>	105,50	<i>aAβB</i>

Nota: Adj- adjuvante. Letra minúscula comparação na coluna entre as cores dentro dos fatores doses e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúsculas comparação na linha entre as doses dentro dos fatores cores e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra grega comparação na linha entre as doses na presença ou ausência de adjuvantes dentro da mesma cor pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúsculas em *italico* comparação dos tratamentos x adicional pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade

Na comparação tratamentos x adicional (testemunha) se observou para o FLO que sete tratamentos diferiram da testemunha sendo eles: dose 20g de caulim creme sem adjuvante (139,87%), dose 40g de caulim branco sem adjuvante (138,15%), dose 60g caulim branco sem adjuvante (103,69%), dose 60g caulim creme sem adjuvante (110,25%), dose 20g de caulim branco com adjuvante (187,17%), dose 40g de caulim branco com adjuvante (161,53%), dose 40g de caulim creme com adjuvante (170,51%).

Para a variável LIFO foi observado na interação entre os fatores caulim x adjuvante diferença estatística, que na ausência do adjuvante o caulim branco foi superior ao caulim de coloração creme na ordem de 5,44%, representando um aumento de 10,05 μm entre os tratamentos (Tabela 9). Para os tratamentos a base de caulim branco e creme com adição de adjuvante o comportamento foi oposto uma vez que o tratamento que proporcionou maior incremento foi o de caulim creme em 36,87 μm representando um aumento na ordem de 22,73%.

TABELA 9. Média do limbo foliar (μm) de folhas de cafeeiro arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha		226,00				
Cores/Doses	Sem adj			Com adj				
	20	40	60	20	40			
Branco	223,61	189,27	183,97	170,08	163,57			
Creme	178,07	184,98	213,54	207,13	201,93			
	Sem adj	Branco	194,65	aA	Com adj	branco	162,23	bA
	Sem adj	Creme	184,60	bA	Com adj	creme	199,10	aB

Nota: Adj- adjuvante. Letra minúscula comparação na coluna no fator cores de caulim pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúscula comparação na linha entre os fatores cores de caulim x adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

A relação dentro dos caulins na presença e ausência de adjuvante foi observada diferenças apenas para a relação ao caulim creme onde a presença do adjuvante proporcionou um aumento de 14,50 μm para LIFO o que equivale a um aumento na ordem 7,85% entre os tratamentos.

Observou-se no NES a interação dose x caulim, que a dose 40 g de caulim creme sem adjuvante diferiu da dose 40 g de caulim branco sem adjuvante na ordem de 9% entre os tratamentos representando um aumento no NES de 12 estômatos por mm^2 (Tabela 10). Comportamento similar foi observado na dose 20 g de caulim creme com adjuvante e 20g de caulim branco com adjuvante em que a diferença imposta pelo tratamento a base de caulim creme foi de 10,1%, representando um aumento no NES de 14,7 estômatos por mm^2 .

TABELA 10. Média do número de estômatos (mm^2) em folhas de cafeeiro arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha		179,66		A				
		Sem adj			Com adj					
Cores/Doses	20		40		60		20		40	
	Branco	159,00	<i>aAαB</i>	133,33	<i>bBαB</i>	131,66	<i>aβB</i>	145,3	<i>bAβA</i>	131,3
Creme	166,00	<i>aAαB</i>	145,33	<i>aBαB</i>	138,33	<i>aβB</i>	160,0	<i>aAαA</i>	135,6	<i>aBβB</i>

Nota: Adj- adjuvante. Letra minúscula comparação na coluna entre as cores dentro dos fatores doses e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúsculas comparação na linha entre as doses dentro dos fatores cores e adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra grega comparação na linha entre as doses na presença ou ausência de adjuvantes dentro da mesma cor pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra maiúsculas em itálico comparação dos tratamentos x adicional pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade

Para interação caulim x adjuvante houve diferença no caulim branco entre as doses 20 g e 40 g sem adjuvante, com destaque para a dose 20g, diferindo em 19,25% o que representou um aumento de 25,67 no NES por mm^2 . Mesmo comportamento foi observado para o caulim creme entre as doses 20 e 40 g sem adjuvante (com destaque para a dose 20g) que diferiram em 14,22% o que representou um aumento no NES de 20,67 mm^2 . Já para a dose 40 x 60 independentemente da cor utilizada às médias não diferiram.

Ainda sobre a interação caulim x adjuvante para os tratamentos com adição de adjuvante houve diferença entre o caulim branco nas doses 20 g e 40 g, com diferença de 10,66% representando um aumento no NES de 14 mm^2 na dose de 20g. Já para o caulim creme entre as doses 20g e 40g a dose 20g diferiu em 17,99%, o que representa um aumento no NES de 24,4 por mm^2 .

Na interação entre dose x caulim não houve diferença entre as médias. Para a relação fatorial x adicional, todos os tratamentos diferiram da testemunha, sendo que a presença de caulim e suas combinações influenciaram na redução no número de estômatos. Comportamento observado na interação do caulim x adjuvante em que com o aumento das doses houve uma redução significativa na variável NES.

Para a variável ØP houve interação entre fatorial x adicional (testemunha) em que todos os tratamentos foram estatisticamente superiores à testemunha, mas as médias entre os tratamentos não diferiram entre si (Tabela 11).

TABELA 11. Média do diâmetro polar dos estômatos (mm^2) de folhas de cafeeiro arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha 24,77B								
Cores/Do ses	Sem adj						Com adj			
	20	40	60	20	40					
Branco	26,94	A	26,88	A	26,75	A	26,70	A	26,67	A
Creme	27,14	A	27,08	A	27,05	A	26,96	A	27,11	A
Caulim		Branco	26,80	b	Caulim	Creme	27,068	a		
Adjuvante		Sem	26,86	β	Adjuvante	Com	27,86	α		

Nota: Adj- adjuvante. Letra maiúsculas em itálico comparação dos tratamentos x adicional pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra minúscula comparação na linha entre as cores pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra grega comparação na linha na presença ou ausência de adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Para o fator caulim os tratamentos constituídos pela coloração creme foram estatisticamente superiores aos constituídos pelo caulim branco na ordem de 0,99% o equivalente a 0,268 μm de ØP . Já para o fator adjuvante a presença do óleo mineral proporcionou um aumento de 0,55% em relação aos tratamentos sem o produto com um incremento de 0,15 μm .

Na variável ØEQ houve interação entre fatorial x adicional (testemunha) em que a testemunha foi estatisticamente superior a todos os tratamentos (Tabela 12).

TABELA 12. Média do diâmetro equatorial dos estômatos (mm^2) de folhas de cafeeiro arábica cultivar IPR 100, submetidas a diferentes doses, cores de caulim na ausência e presença de adjuvante

		Testemunha			17,98A				
Cores/Doses	Sem adj			Com adj					
	20	40	60	20	40				
Branco	17,15 <i>B</i>	17,09 <i>B</i>	16,96 <i>B</i>	16,91 <i>B</i>	16,88 <i>B</i>				
Creme	17,35 <i>B</i>	17,29 <i>B</i>	17,26 <i>B</i>	17,17 <i>B</i>	17,32 <i>B</i>				
	Caulim	Branco	17,00	<i>b</i>	Caulim	Creme	17,28	<i>a</i>	
	Adjuvante	Sem	17,04	β	Adjuvante	Com	17,22	α	

Nota: Adj- adjuvante. Letra maiúsculas em itálico comparação dos tratamentos x adicional pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra minúscula comparação na linha entre as cores pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. Letra grega comparação na linha na presença ou ausência de adjuvantes pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Para o fator caulim os tratamentos constituídos pela coloração creme foram estatisticamente superiores aos constituídos pelo caulim branco na ordem de 1,64% o equivalente a 0,28 μm . Já para o fator adjuvante a presença do óleo mineral proporcionou um aumento de 1,06% em relação aos tratamentos sem o produto com um incremento de 0,18 μm .

2.7 DISCUSSÃO

A cutícula possui uma natureza lipídica que tem a finalidade de evitar a perda de água de forma excessiva pela transpiração, sendo um importante mecanismo de tolerância ao déficit hídrico (CASTRO et al., 2009). Além disso, as plantas cultivadas a pleno Sol apresentam um

maior espessamento da cutícula a exemplo do que foi observado na testemunha que apresentou uma espessura de 3,15 μm sendo uma estratégia na redução da perda de água e proteção da incidência de luz excessiva (COSTA et al., 2021), por meio da refletância, evitando o superaquecimento do mesofilo (LEE et al., 1990).

Contudo na variável cutícula adaxial não houve diferença estatística entre as médias, resultado similar encontrado por Baliza et al. (2012), avaliando as trocas gasosas e as características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação no período chuvoso.

Já na ECAB foi observada uma redução na espessura da cutícula, no tratamento a base de caulim branco na dose 40g sem adjuvante possivelmente o caulim proporcionou uma proteção física, simulado as condições de luminosidade de um ambiente sombreado em que a planta não necessitaria alocar recursos para o aumento na espessura da cutícula. Esse comportamento de acordo com Batista et al. (2010) é atípico uma vez que a incidência da radiação solar é maior na face adaxial das folhas, por esse motivo a resposta da face abaxial podem não ser tão facilmente observadas.

No que se refere às variáveis EPAD e EPAB, o comportamento destas variáveis pode ser considerado atípico uma vez que a EPAD é a face exposta a radiação solar incidente, contudo foi observado neste experimento que a EPAB foi mais responsiva a presença do caulim e seus efeitos reflexivos. Batista et al. (2010) analisando a anatomia foliar e o potencial hídrico na tolerância de cultivares de café observaram que mesmo a cutícula aparentemente sendo mais importante na proteção da planta no processo de perda de água para o ambiente a epiderme demonstra modificações apresentando um espessamento nessa estrutura associada a mecanismos de proteção quanto a perda excessiva de água, assim um maior potencial hídrico. Ainda de acordo com estes autores como a incidência da radiação solar incide diretamente na face adaxial a resposta desta face é mais fácil de ser observada, contudo neste experimento a

maior diversidade de respostar ocorreu na face abaxial principalmente na dose 20g de caulim branco na ausência ou presença de adjuvante.

Em relação à EPP, Oliveira et al. (2014) afirma que o aumento na espessura do parênquima paliçádico, principal tecido relacionado à fotossíntese por ser rico em cloroplastos, pode favorecer o crescimento e desenvolvimento das plantas. Para Castro et al. (2009) tal fato é ocorre pelo desenvolvimento desse tecido o que permite maior fixação de CO_2 com uma abertura dos estômatos em um menor intervalo de tempo, além disso Batista et al. (2010) relaciona que o aumento na espessura do parênquima paliçádico está associado com o maior potencial hídrico.

De acordo com Queiros-Voltan et al. (2014), em experimento de caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais observaram que o aumento na espessura do parênquima paliçádico é uma resposta adaptativa favorável a planta pois é nesse tecido que ocorre a maior taxa fotossintética. Contudo destaca-se neste experimento o comportamento atípico no tratamento com caulim branco na dose 40 g sem adjuvante em que apresentou média inferior aos demais tratamentos, sendo necessários mais estudos para compreensão deste resultado.

O EPL, tecido relacionado ao acúmulo de CO_2 nas trocas gasosas pode favorecer a partir do seu espessamento o acúmulo desse gás e sua posterior fixação no parênquima paliçádico (CASTRO et al., 2009). Associado a isso ao se considera o aumento do EPL podem conferir a planta um aumento em sua capacidade fotossintética, sendo um fator favorável especialmente em condições ambientais de alta radiação solar (RIBEIRO et al., 2012).

Sobre as condições ambientais em que foi conduzido este experimento o parênquima paliçádico apresentou um incremento de 80,76 μm nas plantas que foram tratadas com caulim branco sem adjuvante em detrimento das que foram tratadas com caulim creme sem adjuvante. A cor branca possuía maior capacidade de refletir os diferentes comprimentos de

ondas, o que poderia ter reduzido a temperatura foliar e conseqüentemente a transpiração das folhas, acarretando neste caso no EPL. No mais ao analisar o comportamento das variáveis ECAB, EPP e EPL, se pode conjecturar que a redução em ECAB e EPP foram compensadas com o espessamento do parênquima lacunoso, um importante tecido especializado no acúmulo de CO², o que favorece o processo de fotossíntese.

Na variável diâmetro dos vasos do XI, Castro et al. (2009) afirma que as modificações anatômicas ocasionadas nessa estrutura podem influenciar significativamente a fotossíntese uma vez que este é responsável por transportar água e nutrientes da solução do solo de forma eficiente para as folhas. Logo o aumento no XI poderia favorecer o crescimento e desenvolvimento da planta (PIEVE et al., 2013), como foi observado no tratamento caulim creme na dose 20 g sem adjuvante ou caulim branco na dose 20g com adjuvante.

Neste experimento os tratamentos a base de caulim na coloração branca sem adjuvante apresentaram um menor XI, fator de acordo com Castro et al. (2009), tido como positivo uma vez que quanto menor XI melhor é a proteção a planta contra a formação de embolias que são prejudiciais à condução hidráulica. Logo alterações sobre a XI são estratégias adaptativas da planta.

No que se refere às modificações que podem ocorrer no FLO, quanto ao diâmetro e quantidade, entre outros possíveis fatores, pode influenciar significativamente na fotossíntese e na translocação dos carboidratos (OLIVEIRA et al., 2014). Neste experimento foi observado que os tratamentos a base de caulim branco proporcionaram em relação à testemunha um aumento significativo na variável FLO. Esse maior diâmetro da FLO permite uma maior translocação dos produtos da fotossíntese, sendo importantes para a manutenção do crescimento da planta principalmente na fase inicial da cultura a exemplo deste experimento (CASTRO et al., 2009).

Para o LIM os tratamentos a base de caulim branco sem adjuvante e caulim creme com adjuvante proporcionaram maior espessura em relação aos demais tratamentos, esse aumento visa minimizar o aquecimento através da maior absorção, canalização e dispersão da luz protegendo o aparato foliar.

De acordo com Nascimento et al. (2006), plantas de café cultivada a pleno sol, sob alta radiação solar, apresentam maiores médias da espessura do limbo foliar, associadas a uma limitação hídrica e a excesso de temperatura, expressando características típicas de folhas de sol. Neste experimento as variáveis que influenciaram o aumento do LIM foram epiderme e parênquima lacunoso.

De acordo com Craparo et al. (2017) os estômatos são estruturas que permitem as plantas após a percepção dos diferentes estímulos ambientais se adaptarem rapidamente a estes, através da regulação do fluxo de trocas gasosas. Ademais os estômatos são estruturas sensíveis à luz, sendo responsiva a esta desde o processo de desenvolvimento foliar, em que a quantidade final de estômatos é influenciada pela luminosidade em que a planta está inserida (GAY e HURD, 1975), em que uma maior quantidade de luz maior é a quantidade de estômatos.

Neste experimento a presença do caulim influenciou na redução do NES essa redução já era esperada uma vez que os estômatos são sensíveis à radiação solar, sendo que a quantidade final destes é influenciada pela quantidade de luz incidente sobre as folhas e que os diferentes níveis de reflexão proporcionados pelo caulim afetariam na percepção de luz nas plantas de café, afetando o NES. Tal comportamento também foi observado na testemunha em que esta apresentou um maior NES.

Uma vez que os estômatos são sensíveis à radiação solar é possível afirmar que o seu diâmetro (polar e equatorial) são influenciados pela radiação, sobre essa afirmativa se observou neste experimento que na medida em que as plantas são expostas a menores níveis

de radiação o ØP aumenta e o ØEQ diminui. Além disso, foi observado variações entre as plantas tratadas com os caulins e a testemunha, sendo que no ØP todos os tratamentos apresentaram médias superiores a testemunha, já no ØEQ o comportamento foi o inverso.

Em estudos desenvolvidos por Baliza et al. (2012) com diferentes cultivares de café e níveis de radiação solar, os autores relacionam a condição ambiental com a morfologia da cultura destacando que a frequência e as dimensões estomáticas são variáveis. Esses autores observaram que o diâmetro polar dos estômatos responde aos diferentes níveis de radiação sendo que as menores médias ocorrem sob maiores níveis de radiação (a pleno sol e a 35% de sombreamento), o que corrobora com os resultados observados neste experimento em que a testemunha apresentou a menor média entre os tratamentos, logo é possível afirmar que a presença do caulim e suas variações afetam o nível de reflexão da luz sobre a superfície foliar, proporcionando uma modificação nessa variável.

Em relação ao ØEQ dos estômatos, Ribeiro et al. (2012) em experimento com a cultura da mandioca em diferentes condições ambientais observaram que a presença de estômatos com maiores dimensões no diâmetro equatorial pode conferir às plantas uma maior capacidade adaptativa a ambientes com diferentes graus de déficit hídricos. Logo a testemunha apresentaria uma melhor adaptação a esse estresse ambiental em detrimento das plantas submetidas aos demais tratamentos.

2.8 CONCLUSÃO

A dose 20 g de caulim creme com adjuvante influenciou no aumento da produção da camada cuticular no cafeeiro.

As doses 20 g de caulim branco na ausência ou presença de adjuvante promoveram um aumento na espessura da epiderme abaxial e no xilema.

A espessura da cutícula e do parênquima paliçádico foi reduzida quando aplicado 40 g de caulim branco sem adjuvante, contudo essa mesma dose favoreceu o aumento no diâmetro do vaso do xilema.

As menores doses de caulim (branco e creme) sem adjuvante promoveram o aumento no número de estômatos, contudo à medida que as doses aumentam reduz a quantidade dessa estrutura.

A espessura do parênquima lacunoso foi maior nos tratamentos a base de caulim branco em detrimento do caulim creme.

O floema foi responsivo as diferentes colorações de caulim sendo que na ausência de adjuvante esse efeito é visualizado nas maiores doses e na presença de adjuvante esse aumento é observado na menor dose.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. À empresa Violani Mineração pela doação dos caulins utilizados neste experimento.

3.6 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22 (6): 711-728, 2014.

BALIZA, D. P. et al. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, 7 (3):250-258, 2012.

BATISTA, L. A. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Ciência Agrônômica**, 41(3): 475-481, 2010.

BOARI, F. et al. Particle film technology: a supplemental tool to save water. **Agricultural Water Management**, 147 (1): 154-162, 2015.

- BRITO, C. et al. Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. **Scientia Horticulturae**, 250 (5): 310–316, 2019.
- CRAPARO, A. C. W. et al. Application of thermography for monitoring stomatal conductance of *Coffea arabica* under different shading systems. **Science of The Total Environment**, 609(1):755-763, 2017.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.
- COSTA, K. P.A. et al. Crescimento e anatomia foliar de *cymbidium* sp. Cultivadas em diferentes condições de luz. **Brazilian Journal of Development**, 7(11): 108690-108703. 2021.
- DA GAMA, T. C. et al. Anatomia foliar, fisiologia e produtividade de café em diferentes níveis de adubação. **Coffee Science**, 12 (1): 42 - 48, 2017
- DINIS, L. T. et al. Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. **Journal of Plant Physiology**, 191 (2): 45-53, 2016.
- FÉLIX, A. D. S. et al. Análise exploratória dos impactos das mudanças climáticas na produção vegetal no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, 13 (1): 397-40, 2020.
- GAY, A.P.; HURD, R.G. The influence of light on stomatal density in the tomato. **New Phytologist**, 75(1): 37- 46, 1975.
- GLENN, D.M et al. Impact of kaolin particle film and water deficit on wine grape water use efficiency and plant water relations. **Hortscience**, 45 (8): 1178–1187, 2010.
- GLENN, D. M.; PUTERKA, G. J. Particle Films: A New Technology for Agriculture. **Horticultural Reviews**, 31(6):1-44, 2005.
- JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw Hill, 1940. 523 p.
- KRAUS, J. E.; ARDUIM, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: Seropédica, 1997. 198 p
- LEE, D.W. et al. Correlates of Leaf Optical Properties in Tropical Forest Sun and Extreme-Shade Plants. **American Journal of Botany**, 77 (3): 370-380, 1990.
- NASCIMENTO, E. A. do et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, 36 (3): 852-857, 2006.
- NATEGHI, M.; PAKNEJAD, F.; MOAREFI, M. Effect of concentrations and time of kaolin spraying on wheat aphid. **Journal of Biological Environmental Science**, 7 (21): 163-168, 2013.

NITSCHKE, P. R., et al. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR. 2019. Disponível em: <<https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>> Acesso em: 12 de outubro de 2022.

OLIVEIRA, N. K. et al. Anatomia foliar de cafeeiros implantados com o uso de polímero hidrorretentor. **Coffee Science**, 9 (2): 258-265, 2014.

PIEVE, L. M. et al. Uso de polímeros hidrorretentor na implantação de lavouras cafeeiras. **Coffee Science**, 8 (3): 314-323, 2013.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, 62(3): 869-882, 2011.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B. et al. Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Revista Biotemas**, 27 (4):1-10, 2014.

RIBEIRO, A. F et al. Content of Photosynthetic Pigments and Leaf Gas Exchanges of Young Coffee Plants under Light Restriction and Treated with Paclobutrazol. **Journal of Experimental Agriculture International**, 32 (6): 1-13, 2019.

RIBEIRO, M. N. O. et al. Anatomia foliar de mandioca em função do potencial para tolerância à diferentes condições ambientais. **Revista Ciência Agronômica**, 43 (2): 354-361, 2012.

RICCI, M. D. S. F. et al. Vegetative and productive aspects of organically grown coffee cultivars under shaded and unshaded systems. **Scientia Agricola**, 68 (4): 424-430, 2011.

RONCHI, C. P. et al. Root morphology of Arabica coffee cultivars subjected to different spatial arrangements. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50 (3): 187-195, 2015.

ROESER, K.R. Die Nadel der Schwarzkiefer - Massenprodukt und Kunstwerk der Natur. **Mikrokosmos**, 61 (2): 33-36, 1972.

SANTOS, D. P. et al. Effect of applying a calcined kaolin-based particle film on the photosynthetic capacity and growth of young eucalyptus plants. **Journal of Forestry Research**, 32 (4): 2473-2484, 2021.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos** 5. ed., Revista. e ampliada. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 355p.

SAS INSTITUTE INC. **SAS University Edition: installation guide**. Cary; SAS Institute, 2014. Available in: <https://www.sas.com/pt_br/home.html>. Accessed in: 20 of set. 2021.

SERA, T., SERA, G. H. IPR 100 – Rustic dwarf Arabica coffee cultivar with resistance to nematodes *Meloidogyne paranaensis* and *M. incognita*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 17 (2): 75-179, 2017.

SILVA, A. L. A. L.; DA SILVA, C. A. D. Efficient and economical kaolin concentration for cotton protection against boll weevil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50 (9): 763-768, 2015.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482 p.

4. ARTIGO III - EFEITOS FISIOLÓGICOS NAS TROCAS GASOSAS EM PLANTAS DE CAFÉ ARABICA IPR 100 COM APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES E CORES DE CAULIM

Resumo: A cultura do café é uma das principais commodities produzidas pelo Brasil e sofre periodicamente com condições climáticas adversas como: restrições hídricas severas e temperaturas elevadas. Para minimizar essas condições nas áreas produtora há potenciais adaptações, a exemplo da adição do caulim, argila modificada com propriedades antitranspirantes, que protege o aparato foliar dos excessos das temperaturas elevadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de doses de caulim em diferentes cores com e sem adição de adjuvante sobre as trocas gasosas (assimilação líquida - A e concentração interna - C_i de CO_2 , taxa transpiratória - E , condutância estomática - g_s e eficiência no uso de água - EUA) nas plantas de café cultivar IPR 100. O delineamento experimental foi blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial incompleto com tratamento adicional, totalizando 11 tratamentos e 33 parcelas. O primeiro fator foi constituído por três doses de caulim (20, 40 e 60g); o segundo fator por duas cores de caulim (branco e creme); e o terceiro fator pela ausência ou presença de adjuvante, mais um tratamento adicional (testemunha). A parcela foi constituída por quatro mudas da cultivar IPR 100. Para A aos 90 DAAT, todos os tratamentos compostos por adjuvante diferiram da testemunha. Para g_s diferiu da testemunha aos 41DAAT. Para E não houve diferença entre os tratamentos e à testemunha. Na avaliação EUA ao 1 DAAT, os tratamentos 20 e 40 g caulim branco com adjuvante, 20 e 40 g caulim creme de adjuvante, 40 e 60 g de caulim creme sem adjuvante, foram superiores a testemunha. Já 41 DAT apresentou maior C_i entre os tratamentos. Conclui-se que assimilação líquida foi positivamente influenciada pela aplicação de caulim e que a taxa transpiratória não foi responsiva aos diferentes tratamentos a base de caulim.

Palavras-chaves: Adaptação; Cores de caulim; Filme de partícula; Fotossíntese; Temperatura.

4.1 INTRODUÇÃO

A cultura do café é uma das principais commodities produzidas pelo Brasil e sofreu com condições climáticas adversas em áreas produtoras com: restrições hídricas severas e geadas pontuais entre os meses de junho e setembro de 2021. Essas condições afetaram o planejamento dos produtores, provocando a antecipação das tomadas de decisões sobre o manejo das áreas em produção, bem como a decisão de manter ou ainda reformar as áreas de acordo com as condições ambientais adversas ou não a cultura (CONAB, 2022).

A radiação solar é um dos fatores ambientais de maior importância para a planta, por ser a energia necessária para a realização da fotossíntese. Contudo, em excesso pode levar a uma saturação luminosa, culminando na diminuição da eficiência do uso da radiação e a falta da mesma pode limitar os processos fotossintéticos (TAIZ et al., 2017).

O café por ser uma planta de metabolismo C3 (MASCUSO et al., 2013), satura-se quando exposto a irradiância em torno de 300 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (DAMATTA et al., 2007). Outro importante fator climático é a temperatura do ar, que em elevadas temperaturas aumentam a fotorrespiração, podendo chegar a mais de 40% de perdas na fotossíntese líquida (GERLACH et al., 2013).

O cafeeiro é sensível às condições de excesso de temperatura sendo que a temperatura ótima para a cultura estar entre 19 a 22°C (LORENCE et al., 2021). Quando este é exposto a altas temperaturas pode desencadear alterações fisiológicas, bioquímicas e distúrbios moleculares, afetando os principais processos para a sobrevivência e reprodução da espécie (LONG et al., 2006).

Quando se associa altas temperaturas com a alta intensidade luminosa e ao estresse hídrico, estes podem levar ao desenvolvimento da fotoinibição crônica e à fotooxidação pela maior geração de espécies reativas de oxigênio (EROS), que danificam o aparelho fotossintético e degradam a membrana celular (COBRA et al., 2020).

No cenário de mudanças climáticas com eventos extremos a exemplo de ondas de calor, secas e inundações, mostraram que os sistemas de produção agrícolas (independente dos seus arranjos se é monocultivo ou agroflorestais) são vulneráveis em diferentes graus aos fenômenos climáticos que já estão ocorrendo em maior frequência nesta década (IPCC, 2013).

Para minimizar os impactos na agricultura e em especial na cafeicultura há um grande número de potenciais adaptações para sistemas de cultivo que poderiam ser implementados para lidar com as condições adversas, como o uso de porta-enxertos, cultivares mais tolerantes, cultivares melhoradas geneticamente, mudança nos espaçamentos, manejo da copa, estratégias para tornar a irrigação mais eficiente, bem como o manejo do solo e aplicação de compostos protetores especiais, com atividade antitranspirante (BRITO et al., 2019). Os produtos com ação antitranspirante podem ser classificados como formadores de filmes, metabólicos e refletores (GLENN e PUTERKA, 2005).

Entre os antitranspirantes Brilhante et al. (2016) ressalta os refletores por possuírem a capacidade de refletirem as radiações fotossinteticamente ativas, ultravioleta e infravermelho o que auxilia na redução da temperatura das folhas ou outra estrutura vegetal que tenha sido pulverizada com o produto. Entre os antitranspirantes do tipo refletores que veem se destacando, se encontra o caulim.

O caulim, uma argila modificada, geralmente de coloração branca, aumenta o albedo nas superfícies das folhas e dos frutos (SHELLIE e KING, 2013). Aplicada na forma de spray, forma um filme de partículas na superfície da folha, aumenta a reflexão do excesso de radiação, o que reduz o risco de danos nas folhas, nos frutos, além das injúrias solares

(GLENN, 2012) sem impedir o processo de fotossíntese e as trocas gasosas dos órgãos da planta (GLENN e PUTERKA, 2005). Além disso, a diminuição da temperatura do dossel pode reduzir a transpiração o que pode melhorar a eficiência do uso da água (GLENN, 2016). A literatura cita relatos sobre os benefícios da aplicação do caulim em diferentes culturas de interesse comercial: algodoeiro (SILVA e DA SILVA, 2015), eucalipto (SANTOS, 2021), macieira (GLENN, 2009), mamoeiro (CAMPOSTRINI et al., 2010), nozes (LUCIANI et al., 2019), parreira (CONDE et al., 2018; DINIS et al., 2016; GLENN et al., 2010), e cafeeiro (COBRA et al., 2020; Da SILVA et al.2019; STEIMAN et al., 2007).

Sendo que os principais efeitos descritos como resultados das supracitadas literaturas: proteção do aparato fotossintético (Da SILVA et al., 2019) através da regulação térmica foliar que reduziu os efeitos do excesso térmico, eficiência do uso de água pela planta, aumento na assimilação de carbono uma vez que os estômatos permanecem abertos por um maior tempo, proteção efetiva contra a escaldadura (BOARI et al., 2015) e contra o ataque de insetos-pragas (NATEGHI et al., 2013; SILVA e Da SILVA, 2015).

A partir do exposto a hipótese deste trabalho é que a aplicação de diferentes cores e doses de caulim associados ou não a presença de adjuvante irá reduzir os estresses abióticos favorecendo a fotossíntese, promovendo o equilíbrio das trocas gasosas bem como o uso eficiente da água pelas plantas de café. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de doses de caulim em diferentes cores com e sem adição de adjuvante sobre as trocas gasosas (assimilação líquida de CO₂, taxa transpiratória, condutância estomática e eficiência no uso de água) nas plantas de café cultivar IPR 100.

2.9 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Horticultura e Controle Biológico Professor Mário César Lopes (latitude 24° 46' S, longitude 54° 22' O e altitude em torno de

420 m), pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE, Campus Marechal Cândido Rondon - PR, exposto as condições de campo, durante o período de 02 de novembro de 2020 a 08 de maio de 2021. Os dados meteorológicos referentes ao período experimental foram obtidos na Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática de Marechal Cândido Rondon (Figura 1).

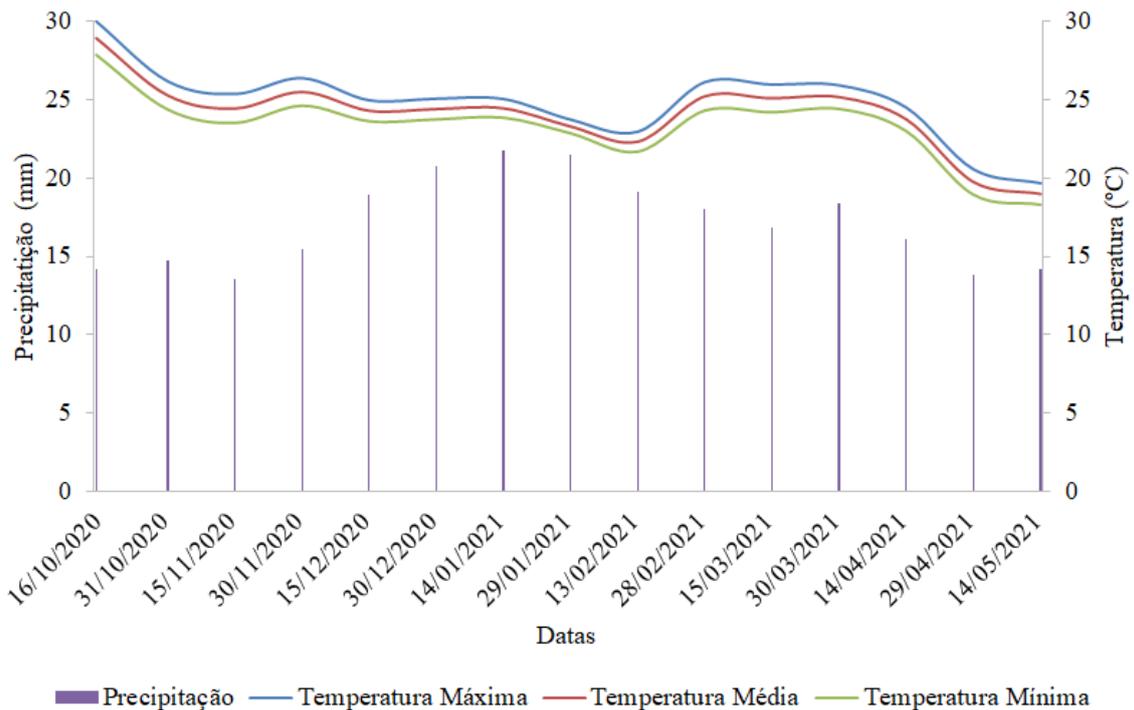


FIGURA 1. Precipitação, temperatura máxima e mínima entre 02 de novembro de 2020 a 08 de maio de 2021, Marechal Cândido Rondon- PR

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, mesotérmico, subtropical úmido (ALVARES et al., 2014). A média anual de temperatura do ar se encontra na faixa de 22 a 23 °C e da umidade relativa do ar entre 70 e 75%. Os totais anuais de precipitação pluvial variam entre 1600 e 1800 mm e de evapotranspiração de referência na faixa de 1000 a 1100 mm anual (NITSCHKE et al., 2019).

O solo utilizado como substrato no experimento está classificado como um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico de textura muito argilosa (695 g kg⁻¹ de argila, 212 g kg⁻¹ de silte

e 93 g kg⁻¹ de areia) (SANTOS et al., 2018). A porção de solo coletada para a instalação dos experimentos foi peneirada (malha 4 mm). Em seguida, foram coletadas amostras, de maneira aleatória, que foram encaminhadas para caracterização de atributos químicos do solo.

Os resultados da análise química do solo antes da instalação dos experimentos foram: pH em CaCl₂ = 5,55; matéria orgânica = 34,25g kg⁻¹; P (disponível) 21,58 mg dm⁻³; CA²⁺ 2,09 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ 1,57 cmol_c dm⁻³; K⁺ 1,31 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ 0,12 cmol_c dm⁻³; H+Al = 4,29 cmol_c dm⁻³, SB = 4,97 cmol_c dm⁻³; CTC = 9,26 cmol_c dm⁻³; V = 53,7%.

O delineamento experimental utilizado foi o em blocos casualizados, com três repetições e em esquema fatorial incompleto com tratamento adicional (3x2x2-1) +1, totalizando 11 tratamentos e 33 parcelas. O primeiro fator foi constituído por três doses de caulim (20 g, 40 g e 60 g); o segundo fator por duas cores de caulim (branco e creme); e o terceiro fator pela ausência ou presença de adjuvante (óleo mineral na proporção 0,05%) e o tratamento adicional (testemunha absoluta). O esquema fatorial foi incompleto pela ausência da dose 60 g (cor branca e creme) com adjuvante (oriundo da impossibilidade técnica de sua aplicação ocasionada pelo entupimento dos bicos de pulverização). A parcela foi constituída por quatro mudas, sendo uma muda por vaso de 12 dm³ de solo.

A cultivar utilizada foi a IPR 100. Esta é originária do cruzamento realizado entre cafeeiro do germoplasma Catuaí e cafeeiro (“Catuaí” x genótipo de café da série ‘BA-10’) portador de genes de *C. liberica*. IPR 100 é indicada preferencialmente para regiões de cultivo aptas quentes, com temperatura média anual acima de 21,5°C (SERA; SERA, 2017).

A adubação do substrato foi realizada com base no manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná (SBCS, 2017), com aplicação 155 kg ha⁻¹ da formulação comercial 10-15-15 (N-P₂O₅-K₂O). As mudas de café foram obtidas de viveiro credenciado apresentando cinco pares de folhas permanentes e presença da folha “orelha de onça”. Estas permaneceram em área semi protegida por 15 dias para aclimatação; foi aplicado, com sete dias de antecedência

da implantação do experimento, o fungicida protetivo Oxicloreto de cobre na dosagem de 2 kg ha⁻¹ com um volume de calda de 200 L.

Os diferentes caulins utilizados foram enviados para análise química no laboratório de análise de minerais e rochas- Instituto Lamir, pertencente à Universidade Federal do Paraná onde se determinou a granulométrica na malha 325 (0,044mm), o pH de 5,4 e a partir da análise química semiquantitativa total por espectrometria de fluorescência de raios X foram encontrados os seguintes resultados para o caulim branco: SiO₂(49,0 %), Al₂O₃ (34,9 %), Fe₂O₃ (2,0%), K₂O (1,4%), TiO₂ (0,6%), MgO (0,3%), P₂O₅ (< 0,1%), Zr O₂ (< 0,1%), CaO (<0,1%), MnO (< 0,1%), SO₃ (<0,1%), ZnO (< 0,1%), SrO (< 0,1%), Rb₂O (<0,1%) e para o caulim creme: SiO₂ (58,1%), Al₂O₃ (25,4 %), Fe₂O₃ (3,0%), K₂O (4,0 %), TiO₂ (1,1 %), MgO (1,0 %), BaO (0,1%), (Na₂O 0,1%) P₂O₅ (0,1%), ZrO₂ (0,1%), CaO (<0,1%), MnO (< 0,1%), SrO (< 0,1%), Rb₂O (<0,1%).

A aplicação dos tratamentos iniciou-se no dia 03 de dezembro de 2020, sendo 30 dias após o transplante das mudas, utilizado um pulverizador costal pressurizado a CO₂, operando à pressão constante de 43,5 Psi, barra com três bicos de pulverização cerâmicos Magnojet, tipo cone cheio 100, a uma altura de 50 cm das plantas, pulverizando-se o equivalente a 250 L ha⁻¹ de calda. A temperatura e umidade relativa do ar, no momento da aplicação, estavam em 27°C e 54%, respectivamente, e velocidade do vento a 4,5 km h⁻¹. A aplicação dos tratamentos ocorreu no intervalo de 30 em 30 dias durante seis meses.

Em relação à umidade do substrato, esta foi medida com o determinador de umidade do solo (modelo Hidro Farm 1 + FM 2030) e mantida próxima dos 0,25 m³m⁻³ da capacidade de campo através de precipitações pluviométricas e sistema de irrigação com vazão volumétrica de 0,8 L/h divididos em dois turnos de rega com duração de 15 minutos no horário das 7 e das 17 horas, quando necessária.

As avaliações de trocas gasosas em plantas de café cultivar IPR 100 foram realizadas com registro de assimilação líquida de CO₂ (A, $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs, $\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ na câmara subestomática (Ci, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa transpiratória (E, $\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), e o uso eficiente de água WUE que é a relação entre (A/E).

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas utilizando-se equipamento de sistema aberto portátil de fotossíntese, Infra-Red Gas Analyzer (IRGA), modelo LI-6400, da Li-Cor, Lincoln, NE, USA, sempre na região mediana do segundo par de folhas novas, completamente expandidas e totalmente expostas à radiação solar. A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foi fixada em $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

As avaliações ocorreram aos 1, 41, 90 e 120 dias após a aplicação dos tratamentos (DAAT) entre os horários das 8 às 11 horas com céu sem nuvens temperaturas descritas na tabela 1. Cada folha foi acondicionada dentro da câmara foliar do IRGA com a superfície superior da folha dentro da câmara totalmente exposta ao PPF natural. A taxa de fluxo da concentração de CO₂ foi controlada em $400 \mu\text{mol. mol}^{-1}$.

TABELA1. Temperatura média do ar no horário de avaliação das trocas gasosas. Marechal Cândido Rondon

Data de avaliação	09/12/2020	18/02/2021	08/04/2021	09/05/2021
Dias após aplicação do caulim	1	41	90	120
Temperatura do ar °C	36,5	27,7	27,9	31,3

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade (shapiro-wilk) e homogeneidade (Hartley) de variâncias. Em seguida se realizou a análise de variância (ANAVA) para as variáveis A, gs, E e WUE, as médias quando significativas pelo teste F ($p \leq 0,01$) foram comparadas pelo teste de Dunnett. Para a variável Ci foi realizado regressão.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software computacional SAS (SAS Analysis System, 2014).

4.3 RESULTADOS

Pela análise de variância foram observada diferença para: A aos 1 e 90 DAAT, gs no dia 90 DAAT, WUE nos dias 1 e 90 DAAT (Tabelas 2, 3 e 5). Para E não foram encontradas diferenças estatísticas em relação à testemunha (Tabela 4).

A fotossíntese líquida ao 1 DAAT apresentou nos tratamentos 20 e 40 g de caulim branco sem adjuvante média inferior a testemunha com diferença de 1,56 e 1,2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, os demais tratamentos não diferiram da testemunha (Tabela 2).

TABELA 2. Média da fotossíntese líquida (A, $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) do cafeeiro arábica - cultivar IPR 100 após aplicação dos tratamentos no intervalo de 1, 41, 90 e 120 dias após aplicação dos tratamentos.

Tratamentos			Dias de avaliação após aplicação do Caulim							
Doses	Cor	Adjuvante	1	41	90	120				
Test	Sem	Sem	3,82	b	8,58	a	3,33	a	4,69	a
20	Branco	Sem	2,26	a	6,65	a	3,74	a	4,27	a
20	Branco	Com	12,07	b	5,94	a	6,46	b	6,05	a
20	Creme	Sem	8,84	b	7,66	a	3,16	a	4,45	a
20	Creme	Com	13,27	b	4,88	a	6,51	b	5,21	a
40	Branco	Sem	2,62	a	9,08	a	1,98	a	4,02	a
40	Branco	Com	12,91	b	7,45	a	6,40	b	4,33	a
40	Creme	Sem	8,61	b	6,01	a	3,70	a	5,28	a
40	Creme	Com	13,96	b	4,97	a	6,65	b	4,94	a
60	Branco	Sem	8,32	b	8,34	a	2,72	a	5,04	a
60	Creme	Sem	10,97	b	5,66	a	5,15	a	5,45	a

Nota: Letras diferentes na coluna representam diferença estatística pelo teste de Dunnett em nível de 1% de probabilidade.

Nas avaliações realizadas aos 41 e 120 DAAT os tratamentos não diferiram da testemunha. Já, na avaliação ocorrida aos 90 DAAT, todos os tratamentos compostos por adjuvante (independentemente da cor e da quantidade) foram diferentes da testemunha. Sendo a diferença entre as médias dos tratamentos e da testemunha foram: 20 e 40 g de caulim branco com adjuvante (3,13 e 3,07) e 20 e 40 g de caulim creme com adjuvante (3,18 e 3,32) $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente.

Para a condutância estomática as avaliações ocorridas aos 1, 90 e 120 DAAT não apresentaram diferença entre os tratamentos e a testemunha. Destacasse que mesmo não sendo observados valores significativos às avaliações ocorridas aos 1 e 120 DAAT apresentaram as maiores temperaturas do ar (Tabela 1) e os menores gs (Tabela 3).

TABELA 3. Média da condutância estomática (gs, mol (H₂O) m⁻² s⁻¹) do cafeeiro arábica - cultivar IPR 100 após aplicação dos tratamentos no intervalo de 1, 41, 90 e 120 dias após aplicação dos tratamentos.

Tratamentos			Dias de avaliação após aplicação do Caulim			
Doses	Cor	Adjuvante	1	41	90	120
Test			0,0310 a	0,1460 a	0,1034 a	0,0433 a
20	Branco	Sem	0,0174 a	0,1998 a	0,1353 a	0,0375 a
20	Branco	Com	0,0154 a	0,0583 b	0,1353 a	0,0593 a
20	Creme	Sem	0,0140 a	0,1328 a	0,1002 a	0,0433 a
20	Creme	Com	0,0060 a	0,0413 b	0,1247 a	0,0418 a
40	Branco	Sem	0,0168 a	0,1733 a	0,0707 a	0,0304 a
40	Branco	Com	0,0097 a	0,0732 a	0,1312 a	0,0354 a
40	Creme	Sem	0,0154 a	0,0633 a	0,0932 a	0,0509 a
40	Creme	Com	0,0064 a	0,0426 b	0,1305 a	0,0458 a
60	Branco	Sem	0,0170 a	0,1641 a	0,0967 a	0,0412 a
60	Creme	Sem	0,0181 a	0,0582 b	0,1028 a	0,0566 a

Nota: Letras diferentes na coluna representam diferença estatística pelo teste de Dunnett em nível de 1% de probabilidade.

Após 41 DAAT a testemunha apresentou valores superiores aos tratamentos de 20 g de caulim branco com adjuvante, 20 e 40 g de caulim creme com adjuvante e 60 g de caulim creme na ordem de 0,0877, 0,1047, 0,1034 e 0,0878 mol (H₂O) m⁻² s⁻¹, respectivamente (Tabela 3). Sendo que o gs na testemunha foi 0,1460 mol (H₂O) m⁻² s⁻¹ e o menor valor de 0,0413 mol (H₂O) m⁻² s⁻¹ observado no tratamento 20 g de caulim creme com adjuvante com uma diferença de 0,1047 (H₂O) m⁻² s⁻¹.

Para avaliação taxa de transpiração (E) ao longo dos dias de avaliação: 1, 41, 90 e 120 não houve diferença entre os diferentes tratamentos em relação à testemunha (Tabela 4).

TABELA 4. Média Transpiração foliar (E , $\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), do cafeeiro arábica - cultivar IPR 100 após aplicação dos tratamentos no intervalo de 1, 41, 90 e 120 dias após aplicação dos tratamentos

Tratamentos		Dias de avaliação após aplicação do Caulim								
Doses	Cor	Adjuvante	1		41		90		120	
			Test	Sem	Sem	1,088	a	2,308	a	1,422
20	Branco	Sem	0,765	a	2,933	a	1,906	a	1,374	a
20	Branco	Com	0,763	a	1,411	a	2,000	a	2,295	a
20	Creme	Sem	0,653	a	2,576	a	1,457	a	1,621	a
20	Creme	Com	0,773	a	1,119	a	1,903	a	1,642	a
40	Branco	Sem	0,829	a	2,873	a	1,068	a	1,183	a
40	Branco	Com	0,495	a	1,820	a	1,888	a	1,422	a
40	Creme	Sem	0,691	a	1,482	a	1,438	a	1,996	a
40	Creme	Com	0,330	a	1,137	a	2,011	a	1,819	a
60	Branco	Sem	0,838	a	2,864	a	1,445	a	1,615	a
60	Creme	Sem	0,861	a	1,419	a	1,536	a	2,206	a

Nota: Letras diferentes na coluna representam diferença estatística pelo teste de Dunnett em nível de 1% de probabilidade.

Na avaliação do uso eficiente de água (WUE) foi observado ao 1 DAAT, que os tratamentos 20 e 40 g de caulim branco com adjuvante, 20 e 40 g de caulim creme com adjuvante, 40 e 60 g de caulim creme sem adjuvante, foram diferentes da testemunha, apresentando médias superiores a esta na ordem de: 12,67, 14,79, 15,08, 12,15, 10,11, e 10,89 ($\text{mmol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) respectivamente (Tabela 5).

TABELA 5. Média do uso eficiente da água (WUE) ($\text{mmol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) do cafeeiro arábica - cultivar IPR 100 após aplicação dos tratamentos no intervalo de 1, 41, 90 e 120 dias após aplicação dos tratamentos.

Tratamentos		Dias de avaliação após aplicação do Caulim								
Doses	Cor	Adjuvan te	1		41		90		120	
			Test	Sem	Sem	3,30	a	3,76	a	2,41
20	Branco	Sem	3,14	a	3,42	a	1,97	a	3,14	a
20	Branco	Com	15,97	b	4,23	a	3,23	a	2,64	a
20	Creme	Sem	11,76	a	2,96	a	2,17	a	3,27	a
20	Creme	Com	18,38	b	4,53	a	3,42	b	3,35	a
40	Branco	Sem	3,36	a	3,19	a	1,82	a	3,60	a
40	Branco	Com	18,09	b	4,12	a	3,42	b	3,13	a
40	Creme	Sem	13,41	b	4,13	a	2,58	a	2,70	a
40	Creme	Com	15,45	b	4,38	a	3,42	b	2,76	a
60	Branco	Sem	7,80	a	2,98	a	1,90	a	3,17	a
60	Creme	Sem	14,19	b	3,94	a	3,46	b	2,48	a

Nota: Letras diferentes na coluna representam diferença estatística pelo teste de Dunnett em nível de 1% de probabilidade.

Aos 41 e 120 DAAT, não houve diferença entre os tratamentos e a testemunha. Aos 90 DAAT, após aplicação do caulim, os tratamentos: 20 e 40 g de caulim creme com adjuvante, 40 g de caulim branco com adjuvante, 60 g de caulim creme sem adjuvante apresentaram médias superiores à testemunha. Com exceção do tratamento 60g de caulim creme sem adjuvante (1,05) os demais tratamentos apresentaram média de 1, 01 ($\text{mmol CO}_2 \text{ mmol}^{-1}$

H₂O) superior a testemunha. Vale ressaltar que excluindo o tratamento 20g de caulim branco com adjuvante, os demais tratamentos que se destacaram no 1 DAAT, foram os mesmos ao 90 DAAT.

Pela análise de regressão o valor de R^2 , determinado pela equação de regressão polinomial de 2º grau, explica 82% do comportamento observado da C_i . Sobre as condições ambientais associadas aos diferentes tratamentos o ponto de mínima da variável foi observado 1DAAT, apresentando valor negativo de $-509,57$ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e ponto de máxima no dia 80, com $291,74$ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

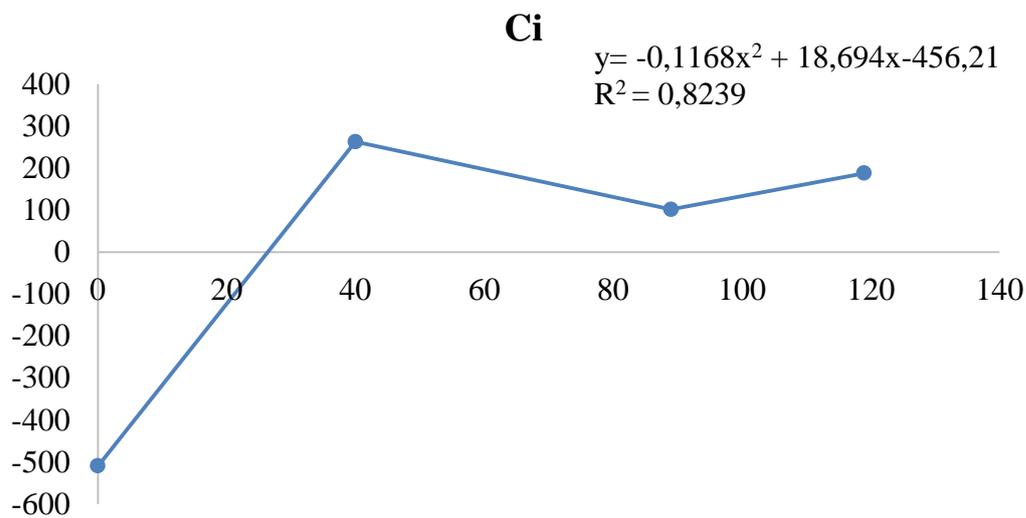


FIGURA 2. Quadrado médio C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) do cafeeiro arábica - cultivar IPR 100 após aplicação dos tratamentos no intervalo de 1, 41, 90 e 120 dias após aplicação dos tratamentos.

4.4 DISCUSSÃO

Chamchaiyaporn et al. (2013) avaliaram os efeitos do revestimento de argila de caulim na troca gasosa da folha de manga (*Mangifera indica* L. cv. Mahajanaka), utilizando a quantidade de 60 g L^{-1} observaram que a fotossíntese líquida foi maior em folhas tratadas com caulim em

relação a testemunha, fato observado neste experimento aos 1 e 90 DAAT para alguns tratamentos (Tabela 3). Contudo vale salientar que nas condições ambientais em que este experimento foi conduzido, as doses 20 e 40 g de caulim foram suficientes para que as folhas tratadas realizassem a fotossíntese em quantidade superior a testemunha.

De acordo com Luciani et al. (2019) o caulim não interfere negativamente na fotossíntese pois este cobre aproximadamente 53% da superfície foliar, o que permite a passagem da luz, em quantidade suficiente para a realização da fotossíntese. Esta afirmação corrobora com os resultados observados neste experimento em que as médias de A, com exceção dos tratamentos 20 e 40 gramas de caulim branco no 1 DAAT, não foram inferiores a testemunha. No geral, Brito et al. (2019) relaciona os benefícios da aplicação do caulim sobre a capacidade fotossintética das folhas quando estas estão expostas a condições ambientais estressantes, como elevadas temperatura do ar e da folha e/ ou excesso de luminosidade em que a planta não pode utilizar toda a radiação que atinge os cloroplastos.

Em relação à condutância estomática Luciani et al. (2019), avaliando o efeito do caulim no controle de danos por estresse térmico em avelã, os autores observaram que em períodos com alguma restrição, estresse térmico ou hídrico, as plantas cobertas com caulim apresentaram maior gs nos meses mais quentes do ano.

Neste experimento nos dias que apresentaram as maiores temperaturas do ar (Tabela 1), os tratamentos não diferiram da testemunha (Tabela 4), possivelmente as condições ambientais em que as plantas estavam sendo cultivadas não representaram estresse para estas, uma vez que o material genético escolhido é indicado para regiões de cultivo aptas quente. Vale salientar que na primeira avaliação a temperatura média do ar foi superior à da segunda avaliação em 8,8°C, podendo ser essa uma das causas da diferença observada em alguns tratamentos em 41 DAAT em que a temperatura do ambiente tenha influenciado na menor

abertura dos poros estomáticos ou na duração de sua abertura (Tabela 1), contudo não foi observado tal comportamento aos 90 DAAT.

Para Brito et al. (2018) a baixa intensidade luminosa proporcionada pelo caulim pode causar uma redução na g_s e A , afirmação que poderia responder em parte os comportamentos dos tratamentos anteriormente citados. Além disso, Denaxa et al. (2012) avaliando os efeitos comparativos do caulim com glicina betaína exógena e ambiol em trocas gasosas de oliveiras, os autores observaram que oliveiras irrigadas, tratadas com 5g de caulim L^{-1} apresentaram os menores g_s ao longo do dia em detrimento aos demais tratamentos.

Em relação à transpiração (E), Chamchaiyaporn et al. (2013) observaram em mangueiras tratadas com caulim que a g_s , a concentração interna de carbono e a transpiração foram maiores em folhas tratadas em relação a testemunha, os autores pressupõem que o caulim poderia auxiliar na reflexão da radiação e seu possível excesso, evitando assim o acúmulo de calor no interior das folhas, como resultado os estômatos não seriam induzidos ao fechamento e conseqüentemente a C_i e E aumentariam.

Ao se observar os resultados de g_s e E pode-se verificar na avaliação 41DAAT para g_s em que houve diferença entre alguns tratamentos e a testemunha esse comportamento não foi suficiente para influenciar a variável E podendo-se atribuir essa não diferença em relação à testemunha com o material genético escolhido (IPR 100).

De Abreu et al. (2022) observando as trocas gasosas do café arábica durante a transferência do berçário para o campo, tratadas com caulim nas estações de verão e outono, observaram que essas plantas no verão apresentaram maior E , e que esta foi positivamente influenciada pelo aumento do A . Neste experimento tais colocações não foram observadas, pois independente dos tratamentos empregados estes não influenciaram a variável E , além disso, as variações observadas na A em especial 90 DAAT em que houve diferença positiva para os tratamentos frente à testemunha, não foi capaz de influenciar a variável E neste dia.

No que se refere ao uso eficiente da água (WUE) neste experimento o componente que apresentou maior impacto no WUE foi a A uma vez que gs e E não apresentaram diferença nos dias em que WUE fora diferente da testemunha.

Para Brilhante et al (2016), o uso do filme de partículas de caulim pode ser investigado e desenvolvido para reduzir a gs sem reduzir de modo negativo a A, melhorando a WUE, fato que não comprometeria a pós-colheita do produto. Esse aumento de A pode ser explicado por Rosati et al. (2007), avaliando os efeitos da aplicação de caulim na absorção e distribuição da luz, eficiência do uso da radiação e fotossíntese de copas de amêndoas e noqueiras, observaram um aumento na eficiência do uso da radiação fotossintética pelas plantas, sobre tais circunstância a redução na assimilação de carbono esperada pelos autores associado a aplicação do caulim poderia ser neutralizada ou até mesmo resultando em incremento em A.

De Abreu et al. (2022) avaliando o uso de caulim no aumento das trocas gasosas em mudas de café durante a transferência do viveiro para o campo os autores observaram que no verão, as plantas de *Coffea arabica* tratadas com caulim apresentaram incrementos na E e gs superiores a A, resultando em um WUE menor, já na espécie de *Coffea canephora* o comportamento foi inverso sendo que A foi superior em relação a E, o que resultou em WUE maior.

Neste experimento a cultivar IPR 100 apresentou comportamento similar a *Coffea canephora* em que nos dias 1 e 90 DAAT, A se distinguiu de gs e E, influenciando na WUE maior que nos demais dias avaliados.

Para Jacinto Júnior et al. (2019) avaliando as respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará observaram que a variável WUE foi afetada de forma mais rápida e intensa que a A e que mesmo havendo aumentos da E, a planta consegue fixar CO₂ para a produção e distribuição de fotoassimilados.

Para a taxa de assimilação de CO₂, Paiva et al (2005) avaliando a condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação observaram que estas são afetadas de modo negativo quando expostas a condições de escassez hídrica, ocasionadas pelo fechamento estomático. Esse mesmo comportamento foi observado por Jacinto Junior et al. (2019), avaliando as respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) com redução na Ci, estes pontuam que tal comportamento está relacionado a dinâmica de abertura e fechamento dos estômatos.

Observando o comportamento apresentado neste experimento pela Ci (Figura 2), é possível inferir que as plantas no dia 1 DAAT sofreram em algum nível com o estresse hídrico potencializado pela temperatura elevada sem, contudo, interferir no gs e E.

Tal fato pode ter corrido, pois os vasos com as plantas de café eram retirados para um espaço mais amplo em que facilitaria o deslocamento do equipamento (IRGA) e do operador. Essa ação era realizada após a irrigação, contudo nesse dia a temperatura foi a maior entre os dias avaliados (Tabela 1) podendo explicar tal comportamento (Figura 2).

Já em 80 DAAT, apresentou maior Ci, com 291,74 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) aos 90 DAAT houve uma redução do Ci, possivelmente ocasionado pelo aumento gradativo da temperatura associado a um possível estresse hídrico, pois nesse dia houve a presença de nuvens, fato que prolongou o período de leitura do equipamento que deve ser realizado a pleno sol. Em 120 DAAT apresentou o segundo maior Ci, mesmo com aumento da temperatura (Tabela 1), essa tolerância em relação à temperatura pode estar relacionada com o material genético utilizado no experimento.

Chamchaiyaporn et al. (2013) avaliando os efeitos do revestimento de argila de caulim na troca gasosa da folha de manga (*Mangifera indica* L. cv. Mahajanaka), encontraram nos tratamentos com caulim os maiores valores de Ci, de acordo com os autores o revestimento de caulim não limita a fotossíntese pois os estômatos permanecem por mais tempo abertos isso

favoreceria o fornecimento de CO₂. Este comportamento foi observado parcialmente neste experimento para A aos 41 e 120 DAAT, para gs nos 90 e 120 DAAT e para E para os 41, 90 e 120 DAAT em que o Ci foi positivo.

Vale salientar que o material genético pode ter sido favorecido pelo caulim assim tanto a gs como E não foram influenciados negativamente pelas condições ambientais fato que pode ter possibilitado a abertura dos estômatos por tempo maior favorecendo a Ci nesses dias.

4.5 CONCLUSÃO

A fotossíntese foi positivamente influenciada pela aplicação de caulim com destaque para os tratamentos 20 e 40 g caulim branco com adjuvante e 20 e 40 g caulim creme com adjuvante.

A transpiração não foi influenciada pelos diferentes tratamentos a base de caulim indicando possivelmente uma característica genética, pois a variável escolhida é adaptada a regiões com temperaturas mais elevadas para a cultura.

O WUE pela cultivar IPR 100 no dia de maior temperatura do ar foi favorecido pelos tratamentos a base de caulim com adição de adjuvante, independentemente da cor e pelo tratamento 60 g de caulim creme sem adjuvante.

O Ci foi favorecido pela temperatura mais amena, nessa condição ambiental o gs apresentou valores inferiores à testemunha em relação aos tratamentos 20 g de caulim branco sem adjuvante, 20 e 40 g de caulim creme com adjuvante e 60 g de caulim creme sem adjuvante.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. À empresa Violani Mineração pela doação dos caulins utilizados neste experimento.

4.6 REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6): 711-728, 2014.
- BOARI, F. et al. Particle film technology: A supplemental tool to save water. **Agricultural Water Management**, 147(1):154–162, 2015.
- BRITO, C. et al. Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. **Scientia Horticulturae**. 250(5):310–316, 2019.
- BRITO, C. et al. Kaolin particle film modulates morphological, physiological and biochemical olive tree responses to cyclic water deficit. **Plant Physiology Biochemistry**. 133(12):29–39, 2018.
- BRILLANTE, L. et al. Comparing Kaolin and Pinolene to Improve Sustainable Grapevine Production during Drought. **Plos one**, 11(6): e0156631, 2016.
- CAMPOSTRINI, E.; REIS, F. O.; SOUZA, M. A. Processed-Kaolin Particle Film on Papaya Leaves: a Study Related to Gas Exchange, Leaf Temperature and Light Distribution in Canopy. **Acta Horticulturae**, 864(25): 195-200, 2010.
- COBRA, M.M. et al. Fotoprotetor em mudas de café arábica. **Ciência Agrícola**, 18 (2):1-6, 2020.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**. Café, v. 9 – Safra 2022, n.4 - Quarto Levantamento, Brasília, p. 1-53, 2022.
- CONDE, A. et al. Kaolin particle film application stimulates photoassimilate synthesis and modifies the primary metabolome of grape leaves. **Journal of Plant Physiology**, 223(4):47–56, 2018
- CHAMCHAIYAPORN, T. et al. Effects of Kaolin Clay Coating on Mango Leaf Gas Exchange, Fruit Yield and Quality. **Natural sciences**, 47(4): 479 – 491, 2013.
- DA MATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 19 (4): 485– 510, 2007.
- DA SILVA, P. S. O. et al. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. **Scientia Horticulturae**, 245(9):171-177, 2019.
- De ABREU, D. P. et al. Kaolin film increases gas exchange parameters of coffee seedlings during transference nursery to full sunlight. **Frontiers in Plant Science**. 7(12):784482, 2022.
- DENAXA, N. K. et al. Comparative effects of exogenous glycine betaine, kaolin clay particles and Ambiol on photosynthesis, leaf sclerophylly indexes and heat load of olive cv. Chondrolia Chalkidikis under drought. **Scientia Horticulturae**. 137(4): 87–94, 2012.

- DINIS, L. T. et al. Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. **Journal of Plant Physiology**, 191 (2): 45-53, 2016.
- GERLACH, G. A. et al. Análise econômica da produção de feijão em função de doses de nitrogênio e coberturas vegetais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 43 (1): 42-49, 2013.
- GLENN, D. M. Effect of highly processed calcined kaolin residues on apple water use efficiency. **Scientia Horticulturae**. 205(6):127–132, 2016.
- GLENN, D. M. Particle Film Mechanisms of Action That Reduce the Effect of Environmental Stress in ‘Empire’ Apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 134 (3): 314–321, 2009.
- GLENN, D. M. The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. **HortScience**, 47 (6): 710-711, 2012.
- GLENN, D. M. et al. Impact of kaolin particle film and water deficit on wine grape water use efficiency and plant water relations. **Hortscience**, 45 (8): 1178–1187, 2010.
- GLENN, D. M.; PUTERKA, G. J. Particle Films: A New Technology for Agriculture. **Horticultural Reviews**, 31 (6): 1-44, 2005.
- GRISI, F. A. et al. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café “catuaí” e “siriema” submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, 32(6): 1730 -1736, 2008.
- JACINTO JÚNIOR, S. G. et al. Physiological responses of fava genotypes (*Phaseolus lunatus* L.) submitted to water stress cultivated in the state of Ceará. **Revista brasileira meteorologia**, 34 (3): 413 422, 2019.
- LONG, S. P. et al. Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations. **Science**, 312 (5782): 1918–1921. 2006.
- LUCIANI, E. et al. Mitigation of multiple summer stresses on hazelnut (*corylus avellana* L.): effects of the new arbuscular mycorrhiza *glomus iranicum tenuihypharum* sp.nova. **Scientia Horticulturae**, 257 (11): 108659, 2019.
- LORENCE, J. A. et al. Forecasting coffee yield based on agroclimatic data and machine learning. **International Journal of Environmental Resilience Research and Science**, 1(1): 138-152, 2021.
- MANCUSO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; PERDONÁ, M. J. Produção de café sombreado. **Colloquium Agrariae**, 9(1): 31-44, 2013.
- NATEGHI, M.; PAKNEJAD, F.; MOAREFI, M. Effect of concentrations and time of kaolin spraying on wheat aphid. **Journal of Biological Environmental Science**, 7(21): 163-168, 2013.

NITSCHKE, P. R., et al. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR. 2019. Disponível em: <<https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>> Acesso em: 12 de outubro de 2022.

PAIVA, A. S. et al. Stomatal conductance in leaves of bean plants submitted to different irrigation regimes. **Engenharia Agrícola**. v.25(1):161-169, 2005.

ROSATI, A. et al. Effects of kaolin application on light absorption and distribution, radiation use efficiency and photosynthesis of almond and walnut canopies. **Annals of Botany**, 99 (2): 255-263, 2007.

SANTOS, D. P. et al. Effect of applying a calcined kaolin-based particle film on the photosynthetic capacity and growth of young eucalyptus plants. **Journal of Forestry Research**, 32 (4): 2473–2484, 2021.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos** 5. ed., Revista. e ampliada. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 355p.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. 2.ed. Campinas: O Lutador, 2008. 476 p.

SAS INSTITUTE INC. **SAS University Edition: instalation guide**. Cary; SAS Institute, 2014. Available in: <https://www.sas.com/pt_br/home.html>. Accessed in: 20 of set. 2021

SILVA, A. L. A. L.; DA SILVA, C. A. D. Efficient and economical kaolin concentration for cotton protection against boll weevil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50 (9): 763-768, 2015.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO.(SBCS) **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482 p.

SERA, T., SERA, G. H. IPR 100 – Rustic dwarf Arabica coffee cultivar with resistance to nematodes *Meloidogyne paranaensis* and *M. incognita*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 17 (2): 75-179, 2017.

SHELLIE, K. C.; KING, B. A. Kaolin particle film and water deficit influence red winegrape color under high solar radiation in an arid climate. **American Journal of Enology and Viticultural**, 64: 214–222, 2013

STEIMAN, S. R.; BITTENBENDER, H. C. Kaolin particle film use and its application on coffee. **Hortscience**, 42 (7): 1605–1608, 2007

STOCKER, T.F. et al. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **He Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, (Eds) New York, 2013. 1535p.

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

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O caulim se mostrou benéfico para uso em café arábica cultivar IPR 100 sobre as condições ambientais em estudo, pois o produto conseguiu influenciar a morfologia, anatomia e as trocas gasosas. Sendo que no artigo um, que abordou a influência do produto e suas variações (tratamentos) sobre as variáveis de crescimento, este mostrou que o caulim branco na dose 40 gramas com adjuvante proporcionou maior acúmulo de biomassa nas variáveis: massa seca foliar, massa seca da parte aérea, massa seca radicular e massa seca total indicando que essa dose não afetou negativamente a fotossíntese, permitindo assim maior produção de fotoassimilados e consequente crescimento das plantas.

Já no artigo dois se observou que a anatomia foliar foi mais responsiva aos diferentes tratamentos sendo que, o xilema na dose 20 gramas de caulim branco com ou sem adjuvante obteve incremento em seus feixes vasculares favorecendo o transporte da seiva bruta.

Já para dose 40 gramas de caulim branco sem adjuvante esta provocou uma redução na espessura da cutícula em 60,31%, sendo necessários mais estudos para compreender este resultado além de ter provocado uma redução do parênquima paliçádico. Fato inverso foi observado na dose 20 gramas de caulim creme com adjuvante que especificamente essa dose foi relacionada com o aumento da espessura da cutícula. Vale ressaltar que a cutícula é uma estrutura formada por lipídios que tem a finalidade de proteger a planta contra o excesso da transpiração logo a redução dessa estrutura poderia ser vista como um ponto positivo, pois possivelmente esse tratamento poderia ter sido suficiente para proteger a planta quanta o estresse térmico e hídrico. Além disso, estruturas como estômatos e floema foram beneficiadas com a utilização do caulim e suas diferentes colorações.

Vale ressaltar o comportamento apresentado pela epiderme abaxial, em que esta apresentou valores superiores a epiderme adaxial em um comportamento atípico para as variáveis. Foi observado neste experimento epiderme abaxial foi mais responsiva a presença do caulim e a

seus efeitos reflexivos. Sendo recomendados mais estudos a fim de ter uma melhor compreensão desses resultados.

No tocante as trocas gasosas analisadas no artigo três, foi demonstrado que fotossíntese foi positivamente influenciada pela aplicação de caulim com destaque para os tratamentos: doses 20 e 40 gramas de caulim branco com adjuvante e 20 e 40 gramas caulim creme com adjuvante (menores doses do produto). Já os tratamentos 20 gramas de caulim branco sem adjuvante, 20 e 40 gramas de caulim creme com adjuvante e 60g ramas de caulim creme sem adjuvante provocaram uma redução na condutância estomática.

Os maiores valores do uso eficiente de água pela cultivar IPR 100 (no dia mais quente) foram observados em todos os tratamentos que continha adjuvante podendo indicar que a camada extra de lipídio advinda do óleo mineral (adjuvante) tenha auxiliado nessa variável. Já a transpiração não foi influenciada pelos tratamentos podendo indicar uma característica genética do material que é indicado para temperaturas mais elevadas (2,51°C).