

Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro

Mitigators of water stress in coffee plants

ANDRÉ DE MELO ALMEIDA

Discente de Agronomia (UNIPAM)
andremelo1@unipam.edu.br

MARINA RODRIGUES DOS REIS

Professora orientadora (UNIPAM)
marinar@unipam.edu.br

Resumo: O estresse hídrico é um dos principais fatores limitantes da produtividade do cafeeiro, pois compromete processos fisiológicos e reduz o crescimento da planta. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia de diferentes bioestimulantes na mitigação dos efeitos da deficiência hídrica em mudas de café (*Coffea arabica* L. cv. Arara). O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Campus I do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, em Patos de Minas (MG), no ano de 2025. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos: controle sem estresse (T₁), controle com estresse (T₂), ácido salicílico (T₃), ácido jasmônico (T₄) e glutatona (T₅), com seis repetições, totalizando 30 unidades experimentais. As mudas, com seis a oito pares de folhas, foram cultivadas em vasos de 11 L contendo solo argiloso previamente caracterizado quanto à fertilidade. Após 15 dias de ambientação com irrigação diária, realizou-se a aplicação dos produtos via foliar por meio de pulverizador manual. Em seguida, o estresse hídrico foi induzido pela suspensão da irrigação durante 35 dias, exceto no tratamento controle sem estresse. Decorrido esse período, foram avaliados parâmetros de crescimento (comprimento da raiz e da parte aérea) e respostas bioquímicas (teor de prolina, atividade da enzima superóxido dismutase e peroxidação lipídica). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR. Os resultados indicaram que o déficit hídrico reduziu significativamente o crescimento radicular e da parte aérea, além de intensificar a peroxidação lipídica. Entre os bioestimulantes avaliados, o ácido jasmônico e o ácido salicílico apresentaram maior potencial mitigador, favorecendo a proteção celular e promovendo melhor adaptação das plantas à condição de deficiência hídrica.

Palavras-chave: ácido jasmônico; ácido salicílico; bioestimulantes; *Coffea arabica*.

Abstract: Water stress is one of the main limiting factors for coffee yield, as it compromises physiological processes and reduces plant growth. This study aimed to evaluate the effectiveness of different biostimulants in mitigating the effects of water deficiency in coffee seedlings (*Coffea arabica* L. cv. Arara). The experiment was conducted in a greenhouse at Campus I of Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, in Patos de Minas (MG), in 2025. A randomized block design was used, with five treatments: non-stressed control (T₁), stressed control (T₂), salicylic acid (T₃), jasmonic acid (T₄), and glutathione (T₅), with six replications, totaling 30 experimental units. Seedlings with six to eight leaf pairs were grown in 11 L pots filled with previously characterized clayey soil. After 15 days of acclimation under daily irrigation, the products were applied by foliar spraying using a manual sprayer. Subsequently, water stress was induced by withholding irrigation for 35 days, except in the non-stressed control. At the end of

this period, growth parameters (root and shoot length) and biochemical responses (proline content, superoxide dismutase activity, and lipid peroxidation) were assessed. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA), and means were compared using Tukey's test at a 5% significance level, with SISVAR software. The results indicated that water deficit significantly reduced root and shoot growth and increased lipid peroxidation. Among the biostimulants evaluated, jasmonic acid and salicylic acid showed the greatest mitigating potential, enhancing cellular protection and promoting improved plant adaptation to water deficiency.

Keywords: jasmonic acid; salicylic acid; biostimulants; *Coffea arabica*.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a posição de maior produtor e exportador de café no mundo, além de ser o segundo país que mais consome essa bebida globalmente. De acordo com informações da CONAB (2025) para a safra 2025 a expectativa de produtividade é de 55,7 milhões de sacas de café beneficiadas. Minas Gerais, principal estado produtor, prevê uma colheita de 26,1 milhões de sacas beneficiadas. A área total dedicada à cafeicultura no Brasil em 2025, considerando tanto o café arábica quanto o conilon, soma 2,25 milhões de hectares, um crescimento de 0,8% em relação à safra anterior. Desse total, 1,86 milhão de hectares estão em produção, enquanto 397,3 mil hectares encontram-se em formação. Além disso, mais de 449,28 mil hectares são irrigados por diferentes sistemas (ANA, 2021).

Apesar da grande relevância do cafeeiro, a produtividade média dos frutos tem sido comprometida pelas variações climáticas nas regiões produtoras, sobretudo em função da distribuição irregular das chuvas (Koch *et al.*, 2018). Dentre os diversos fatores de estresse que afetam as plantas, a escassez de água é o principal responsável pela redução da produtividade das culturas agrícolas, pois impacta diretamente a capacidade fotossintética. Esse efeito promove o aumento da resistência estomática, dificultando a entrada de CO₂ nos cloroplastos e, consequentemente, comprometendo o desenvolvimento da planta (Peloso *et al.*, 2017).

No cafeeiro, a falta parcial de água, caracterizada por potencial hídrico foliar entre -0,5 MPa e -1,5 MPa, em momentos críticos, como o estabelecimento das mudas, o florescimento, a frutificação e o enchimento dos grãos, manifesta-se nas folhas por meio da perda de turgescência e do surgimento de clorose. Em casos de estresse hídrico intenso e repentino, podem ocorrer a redução do crescimento dos ramos verticais, a morte das raízes superficiais e a senescência das folhas e flores (Cararo; Dias, 2015). Nessas condições, processos fisiológicos essenciais, como fotossíntese, respiração e crescimento vegetal, tornam-se limitados, afetando diretamente a formação e maturação dos grãos. Além disso, se a escassez hídrica ocorrer após a abertura das flores, o cafeeiro pode apresentar atrofia e redução no tamanho dos frutos, o que impacta negativamente a produtividade (Camargo *et al.*, 1984; Freire; Miguel, 1984; Rena; Maestri, 1987).

Para enfrentar esses desafios, a irrigação é crucial para minimizar perdas na produção do café. No entanto, fatores como a escassez de água e os altos custos de produção e aquisição, somados a uma adoção inadequada do sistema de irrigação, podem comprometer a viabilidade do negócio (Marouelli; Silva, 2011). Nesse cenário, o

uso de produtos para atenuar os efeitos do estresse hídrico surge como alternativa viável, especialmente em áreas de cultivo em sequeiro (Stadnik *et al.*, 2017).

Estudos têm mostrado que o ácido salicílico (AS) pode atuar como um agente mitigador do déficit hídrico, aliviando os efeitos da desidratação em plantas (Silva *et al.*, 2017; IDREES *et al.*, 2010). O ácido jasmônico (AJ), por sua vez, é um fitormônio associado à regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas, é especialmente importante em condições de estresse ambiental, como a deficiência hídrica, ao estimular a expressão de genes que respondem a esse tipo de estresse (Costa; Daros, 2010). Adicionalmente, a glutathione (GSH) também desempenha um papel crucial na desintoxicação de espécies reativas de oxigênio (EROs) e na modulação de funções essenciais da planta sob estresse (Akram *et al.*, 2017).

Nesse contexto, torna-se relevante aprofundar a análise dos efeitos dos bioestimulantes na redução do estresse hídrico em cafeeiros, considerando seu potencial para mitigar os impactos da deficiência de água sobre o desenvolvimento das plantas. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho desses atenuadores na cultura do café, buscando reduzir os danos causados pela escassez hídrica e contribuir para a adaptação da planta em condições de estresse.

2 METODOLOGIA

2.1 LOCAL

O experimento foi conduzido em janeiro de 2025 na casa de vegetação do Campus I do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), localizado no município de Patos de Minas (MG). De acordo com a classificação climática de Köppen e Geiger (1928), a região apresenta clima tropical de altitude (Cwa), caracterizado por precipitação média anual de aproximadamente 1400 mm, temperatura média anual de 21,1 °C e temperatura máxima média anual de 27,8 °C (CPTEC, 2022).

2.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, composto por cinco tratamentos e seis repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Os tratamentos foram conduzidos em vasos com capacidade de 11 litros.

Os vasos foram preenchidos com solo argiloso proveniente do processo de pré-limpeza dos grãos de café (catação). O solo foi previamente submetido à análise de fertilidade, realizada pela empresa Terrena Agronegócios Ltda., conforme apresentado na Tabela 1. Não foi necessária a aplicação de adubação, devido à elevada disponibilidade de nutrientes no material analisado.

Tabela 1: Resultados da análise química do solo utilizado no experimento. Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro. Patos de Minas (MG), 2025

pH	P-rem	P Melich	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V%
Águ	mg/L	-----	mg/dm ³ -----	-----	-----	cmol _c /dm ³ -----	-----	-----	%
a									
6,85	22,49	183,29	701,05	9,19	3,44	0,04	1,30	15,7	91,73
								2	

A cultivar utilizada no experimento foi a Arara, sendo plantada uma única muda por vaso, com seis a oito pares de folhas, adquiridas em viveiro comercial localizado em Patos de Minas (MG).

Após um período de 15 dias para ambientação e manejo inicial das plantas, com irrigação diária, procedeu-se à aplicação foliar dos produtos, por meio de pulverizador manual, conforme as doses descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Descrição dos tratamentos que foram utilizados no experimento. Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro. Patos de Minas (MG), 2025

Tratamentos	Descrição	Dose ha
Tratamento 1	Controle sem estresse	0
Tratamento 2	Controle com estresse	0
Tratamento 3	Ácido Salicílico	1000mg
Tratamento 4	Ácido Jasmônico	500mg
Tratamento 5	Glutaciona	200mg

*O volume de calda utilizado foi de 500L ha⁻¹.

Após a aplicação dos tratamentos, todas as plantas, exceto aquelas pertencentes ao Tratamento 1, foram submetidas a um período de 35 dias sem irrigação, visando à indução do estresse hídrico. Ao término desse período, realizaram-se as avaliações de crescimento e a coleta de amostras foliares destinadas às análises bioquímicas.

3 AVALIAÇÕES

3.1 ANÁLISES DE CRESCIMENTO

3.1.1 Comprimento de raiz e parte aérea

O crescimento das plantas foi avaliado por meio da medição do comprimento da parte aérea e do sistema radicular. As mensurações foram realizadas logo após a desmontagem do experimento, utilizando-se uma fita métrica. O comprimento da parte aérea foi medido desde a base do caule até a extremidade da folha mais alta, enquanto o sistema radicular foi medido da base do caule até a ponta da raiz mais longa. Os valores foram expressos em centímetros (Peixoto; Peixoto, 2009).

3.2 ANÁLISES BIOQUÍMICAS

Para as análises bioquímicas, foram coletadas quatro folhas do terço superior de cada muda de cafeeiro. As folhas foram envolvidas em papel alumínio, identificadas e armazenadas em congelador. Em seguida, as amostras foram maceradas com nitrogênio líquido, procedimento necessário para preservar os compostos bioativos e permitir o preparo dos extratos utilizados nas análises subsequentes. As variáveis bioquímicas determinadas incluíram o teor de prolina, a atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) e a peroxidação lipídica.

3.2.1 Prolina

A quantificação da prolina livre foi realizada conforme o método descrito por Bates, Waldren e Teare (1973). O extrato foi preparado a partir de 200 mg de folhas frescas, homogeneizadas em 4 mL de ácido sulfossalicílico a 3%, e mantidas sob agitação constante por uma hora à temperatura ambiente (25 °C). Após centrifugação a 3.000 rpm por 10 minutos, o sobrenadante foi coletado. Para a reação, foram utilizados tubos de ensaio com tampa rosqueável, nos quais foram adicionados 1 mL de extrato, 1 mL de ninhidrina ácida (preparada com 1,25 g de ninhidrina, 30 mL de ácido acético glacial e 20 mL de ácido fosfórico 6 M) e 1 mL de ácido acético glacial. A mistura foi incubada em banho-maria a 100 °C por uma hora. Após esse período, os tubos foram resfriados em banho de gelo por 10 minutos para interromper a reação, e adicionou-se 2 mL de tolueno para extração da fase orgânica, que continha a prolina. A fase superior foi coletada para leitura da absorbância em 520 nm, utilizando-se tolueno como branco. O teor de prolina foi determinado com base em curva padrão e os resultados expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria fresca (MF).

3.2.2 Superóxido Dismutase

A atividade da enzima superóxido dismutase foi determinada segundo o método descrito por Beauchamp e Fridovich (1971 *apud* Bor; Özdemir; Türkan, 2003). Para o preparo das reações, os tubos de ensaio foram protegidos da luz com papel-alumínio. Cada reação foi composta por 2000 μL de tampão fosfato de sódio (50 mmol L^{-1} , pH 7,8), 30 μL de extrato enzimático, 450 μL de solução de Nitroblue Tetrazolium (NBT) + EDTA (5:4), e 500 μL de solução de metionina + riboflavina (1:1). As amostras foram preparadas em duplicata. Uma das amostras foi exposta à luz por 10 minutos (sem papel-alumínio), enquanto a outra permaneceu protegida da luz. Após esse período, as leituras de absorbância foram realizadas a 560 nm em espectrofotômetro.

3.2.3 Peroxidação Lipídica

A peroxidação lipídica foi quantificada segundo o método de Heath e Packer (1968 *apud* Rama; Devi; Prasad, 1998), com base na concentração de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS). Para isso, 200 mg de tecido vegetal foram macerados com nitrogênio líquido e homogeneizados em 4 mL de solução contendo 0,25% de ácido

tiobarbitúrico (TBA) e 10% de ácido tricloroacético (TCA). O conteúdo foi transferido para tubos de ensaio com tampa rosqueável e vedados com papel-filme, sendo incubados em banho-maria a 90 °C por uma hora. Após o resfriamento, as amostras foram centrifugadas a $10.000 \times g$ por 15 minutos à temperatura ambiente. O sobrenadante foi utilizado para leituras de absorbância em espectrofotômetro, nas faixas de 560 e 600 nm. Os resultados foram expressos em mol g^{-1} de TBARS por grama de matéria fresca.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

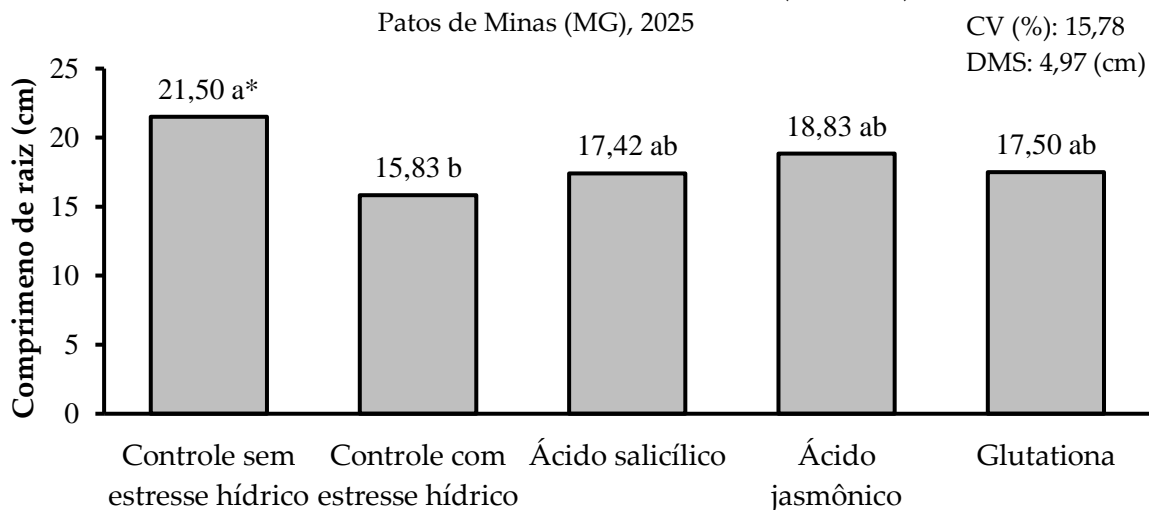
Os dados obtidos nas análises de crescimento e bioquímicas foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para a realização das análises estatísticas, foi utilizado o software SISVAR (Ferreira, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COMPRIMENTO DE RAIZ E PARTE AÉREA

Conforme apresentado na Figura 1, observou-se diferença estatística significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para o comprimento da raiz. O tratamento controle sem estresse hídrico (T_1) apresentou a maior média, diferindo estatisticamente do controle com estresse hídrico (T_2), que registrou o menor valor.

Figura 1: Comprimento de raiz de plantas de café do ensaio: “Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro”. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).



*Médias seguidas da mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

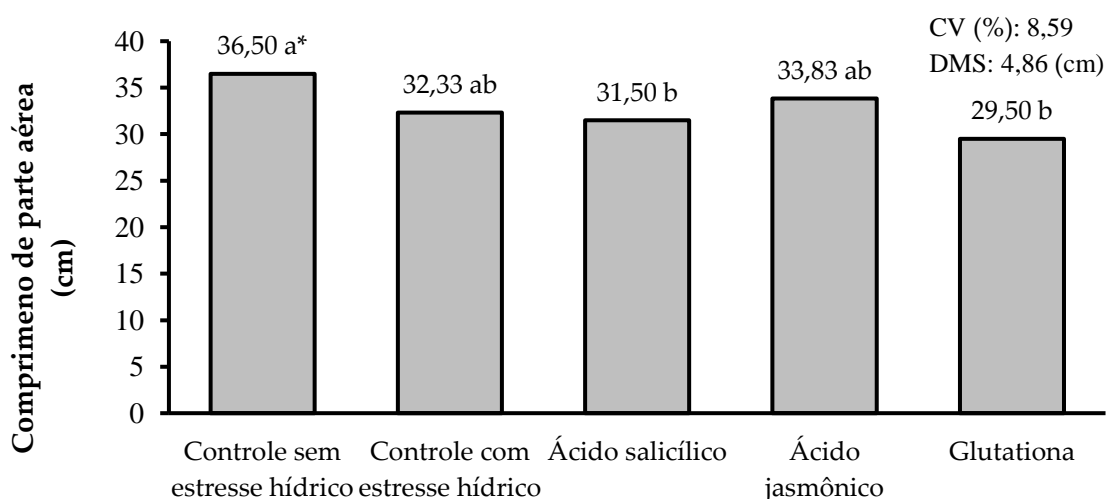
Os tratamentos com aplicação de bioestimulantes — ácido salicílico (T_3), ácido jasmônico (T_4) e glutathione (T_5) — apresentaram médias intermediárias, não diferindo estatisticamente entre si. Isso demonstra que os bioestimulantes exerceram efeito

positivo sobre o crescimento radicular, uma vez que as mudas tratadas apresentaram maior desenvolvimento, em nível estatístico, quando comparadas ao tratamento 2.

Esses resultados evidenciam a sensibilidade do sistema radicular ao déficit hídrico. De forma semelhante, Martins *et al.* (2006), ao avaliarem diferentes níveis de irrigação no cafeeiro conilon durante a fase inicial de crescimento, verificaram que a maior disponibilidade de água favoreceu o desenvolvimento das raízes, enquanto a restrição hídrica exerceu efeito negativo expressivo no crescimento das plantas.

Na Figura 2, são apresentados os resultados para o comprimento da parte aérea, também evidenciando diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. O controle sem estresse hídrico (T₁) apresentou o maior valor médio, diferindo significativamente dos demais tratamentos, o que já era esperado diante da ausência de déficit hídrico.

Figura 2: Comprimento de parte aérea de plantas de café do ensaio: “Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro”. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

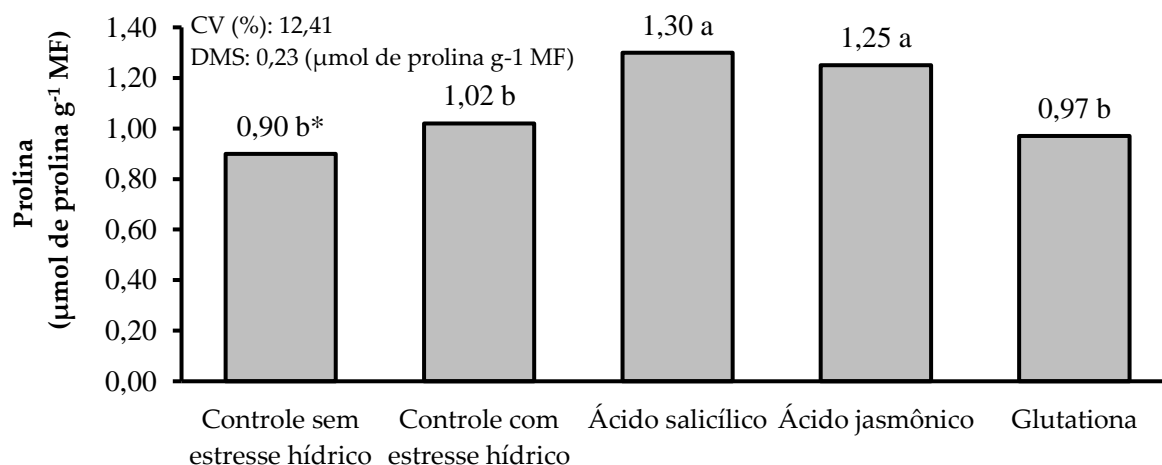
Entre os tratamentos com aplicação de bioestimulantes, o ácido jasmônico (T₄) apresentou desempenho superior, alcançando crescimento próximo ao do controle, o que sugere efeito mitigador sobre os impactos da baixa disponibilidade de água. Em contrapartida, o ácido salicílico (T₃) e a glutathione (T₅) apresentaram menores médias, demonstrando eficiência limitada para preservar o crescimento da parte aérea sob condições de estresse hídrico.

Resultados divergentes foram relatados por Mazzuchelli, Souza e Pacheco (2014), que observaram aumento significativo na altura de plantas de eucalipto com a aplicação de ácido salicílico, além de incremento expressivo na área foliar. Esses achados indicam que os efeitos dos bioestimulantes podem variar conforme a espécie e as condições experimentais.

4.2 PROLINA

Conforme apresentado na Figura 3, verificou-se diferença significativa no teor de prolina entre os tratamentos. Os maiores valores foram observados nos tratamentos com ácido jasmônico (T₄) e ácido salicílico (T₃), os quais se mostraram estatisticamente superiores tanto aos controles, com e sem estresse hídrico (T₁ e T₂), quanto ao tratamento com glutatona (T₅).

Figura 3: Teor de Prolina em plantas de café do ensaio: “Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro”. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O acúmulo de prolina desempenha papel fundamental como osmoprotetor, contribuindo para a manutenção do turgor celular e para a estabilização de estruturas durante condições de estresse hídrico. De acordo com Marin (2003), esse aminoácido atua na prevenção da desnaturação de proteínas e preserva a integridade das enzimas, garantindo que processos fisiológicos essenciais não sejam comprometidos. Além disso, a prolina pode funcionar como eliminadora de radicais livres, reduzindo os danos oxidativos gerados pelo déficit hídrico e favorecendo maior resiliência das plantas em ambientes adversos (Taylor, 1996; Leite *et al.*, 2000).

Nesse sentido, os resultados obtidos no presente estudo reforçam a importância desse mecanismo de defesa, uma vez que os tratamentos com ácido salicílico (T₃) e ácido jasmônico (T₄) demonstraram eficácia na indução do acúmulo de prolina. Essa resposta fisiológica proporcionou maior tolerância das plantas à escassez de água, evidenciando o papel central da prolina no ajustamento osmótico e na estabilização das estruturas celulares (Marin, 2003; Taylor, 1996; Leite *et al.*, 2000).

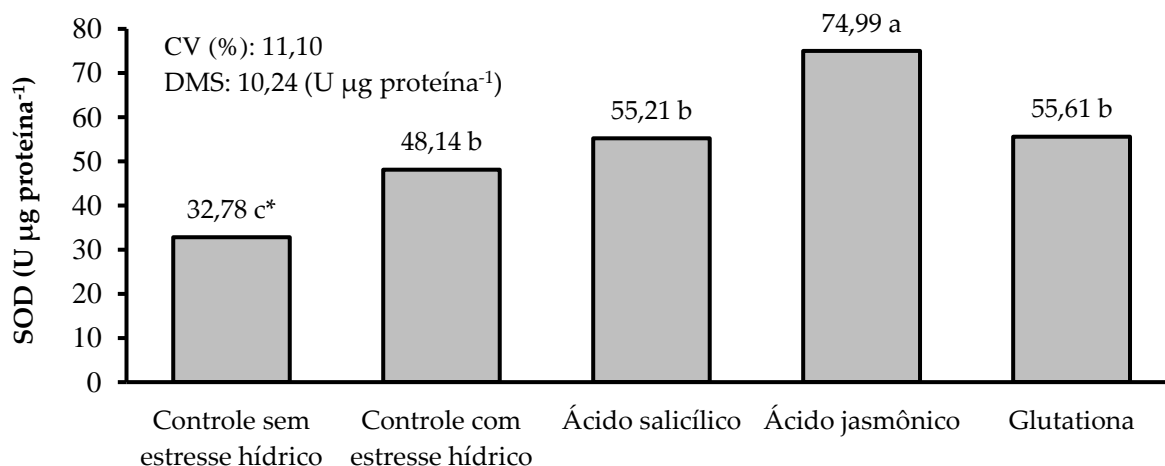
Resultados semelhantes foram descritos por Anjum *et al.* (2011), que, ao avaliarem a aplicação de ácido jasmônico em plantas de soja submetidas à deficiência hídrica, observaram aumento no teor de prolina e redução da peroxidação lipídica, tanto em plantas estressadas quanto nas não estressadas. Esses achados reforçam a eficiência do ácido jasmônico como regulador vegetal.

De forma complementar, Hussain *et al.* (2008) relataram aumento no teor de prolina em plantas de girassol tratadas com ácido salicílico sob estresse hídrico, resultado igualmente confirmado por Hussain, Balbaa e Gaballah (2007) em plantas de milho. Por outro lado, Durães (2006) observou redução na síntese e acúmulo de prolina em feijão da variedade *Guarumbé* submetido à aplicação de ácido salicílico aliado à deficiência hídrica, indicando que os efeitos desse composto podem variar conforme a espécie e as condições experimentais.

4.3 SUPERÓXIDO DISMUTASE (SOD)

Conforme mostrado na Figura 4, a atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) apresentou diferenças estatisticamente significativas pelo teste de Tukey a 5%. O tratamento com ácido jasmônico (T₄) apresentou a maior média de atividade enzimática, seguido pela glutatona (T₅), ácido salicílico (T₃) e pelo controle com estresse hídrico (T₂), os quais não diferiram estatisticamente entre si.

Figura 4: Atividade da enzima Superóxido Dismutase em plantas de café do ensaio: “Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro”. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A superóxido dismutase (SOD) é uma enzima antioxidante considerada a primeira linha de defesa contra o estresse oxidativo nas plantas. Ela catalisa a conversão do radical superóxido em peróxido de hidrogênio e oxigênio, evitando danos às estruturas celulares. Sua atividade tende a aumentar em condições adversas, como déficit hídrico, salinidade, altas temperaturas ou ataques de patógenos, funcionando como um mecanismo essencial para a manutenção da integridade celular (Foyer; Noctor, 2000; Xiong; Zhu, 2001; Broetto; Lüttge; Ratajczak, 2002).

A elevada atividade observada no tratamento T₄ demonstra que o ácido jasmônico foi mais eficaz na ativação das defesas antioxidantes enzimáticas, favorecendo a neutralização dos radicais superóxido produzidos em maior quantidade

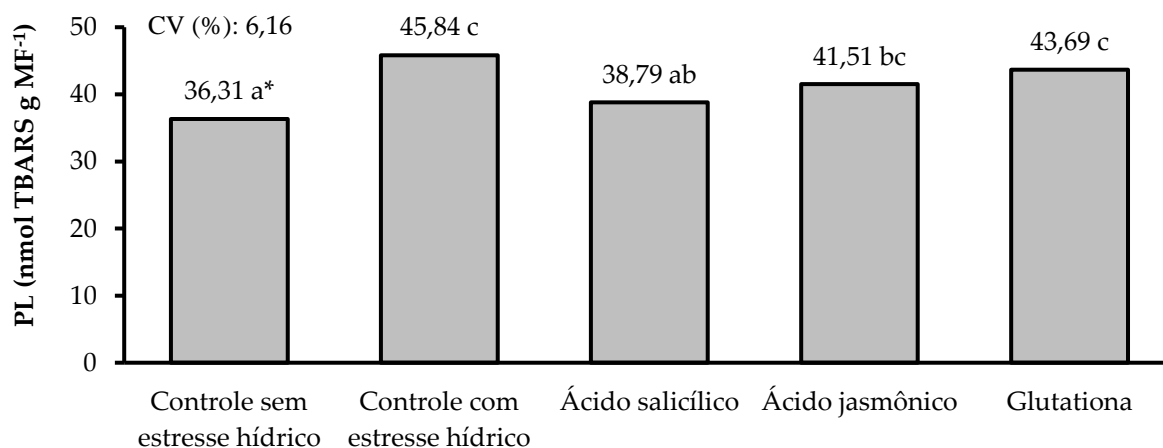
durante o estresse hídrico. Como esperado, o menor valor foi registrado no controle sem estresse hídrico (T₁), devido à menor necessidade de ativação dessa defesa enzimática.

Esses resultados corroboram os achados de Qiu *et al.* (2014), que verificaram aumento significativo na atividade da SOD em plantas de soja submetidas ao déficit hídrico após a aplicação de ácido jasmônico, evidenciando efeito protetor contra o estresse oxidativo. De forma semelhante, Ahmad *et al.* (2018) observaram elevação da atividade dessa enzima em plantas de feijão expostas à seca, reforçando que o ácido jasmônico contribui para a mitigação dos danos causados pelo déficit hídrico.

4.4 PEROXIDAÇÃO LIPÍDICA

Os resultados evidenciam diferenças estatisticamente significativas nos níveis de peroxidação lipídica entre os tratamentos avaliados, de acordo com o teste de Tukey a 5% (Figura 5). O tratamento controle sem estresse hídrico (T₁) apresentou os menores valores, indicando que a ausência de déficit hídrico favoreceu a manutenção da integridade das membranas celulares.

Figura 5: Teor de Peroxidação Lipídica em plantas de café do ensaio: “Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro”. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A peroxidação lipídica é um dos principais processos do estresse oxidativo em plantas, ocorrendo quando espécies reativas de oxigênio (EROS) atacam os lipídios das membranas, formando hidroperóxidos. Esse processo compromete a fluidez e a integridade das membranas, causando alterações na permeabilidade e nas funções associadas a essas estruturas, o que pode desestabilizar o metabolismo celular e prejudicar funções essenciais (Queiroz *et al.*, 1998; Aziz; Larher, 1998).

De forma semelhante ao T₁, os tratamentos com ácido salicílico (T₃) e ácido jasmônico (T₄) também apresentaram valores reduzidos, demonstrando efeito protetor frente aos danos oxidativos. Esses resultados sugerem que a aplicação desses bioestimulantes pode desempenhar papel importante na preservação da estabilidade celular em condições de estresse.

Por outro lado, os maiores índices de peroxidação foram observados no tratamento com glutathione (T₅) e no controle submetido ao estresse hídrico (T₂), sendo este último o que apresentou os valores mais elevados. Esse resultado evidencia o impacto negativo do déficit hídrico sobre a estabilidade das membranas, principalmente quando não há a presença de compostos bioativos capazes de reduzir os danos oxidativos.

Resultados semelhantes foram relatados por Martín (2009), que observou aumento da peroxidação lipídica em plantas de feijão sob estresse hídrico, mas constatou reduções expressivas quando as plantas foram previamente tratadas com ácido salicílico. De forma análoga, Agarwal *et al.* (2005) verificaram que plantas de trigo pulverizadas com ácido salicílico apresentaram menores níveis de peroxidação, mesmo em condições de estresse moderado, reforçando a eficácia desse regulador vegetal como agente protetor contra os danos oxidativos.

5 CONCLUSÃO

A aplicação de bioestimulantes, principalmente ácido jasmônico e ácido salicílico, reduziu os efeitos do estresse hídrico no cafeeiro, contribuindo para a proteção celular e melhor adaptação das plantas.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, S. *et al.* Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 49, n. 4, p. 541-550, 1 dez. 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10535-005-0048-z>.
- AHMAD, P. *et al.* Mitigation of sodium chloride toxicity in *Solanum lycopersicum* L. by supplementation of jasmonic acid and nitric oxide. **Journal of Plant Interactions**, v. 13, n. 1, p. 64-72, jan. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/17429145.2017.1420830>
- AKRAM, N. A.; SHAFIQ, F.; ASHRAF, M. Ascorbic acid-a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 613, 26 abr. 2017. Disponível em <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.00613>.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília, DF: ANA, 2021. 130p.
- ANJUM, S. A. *et al.* Methyl Jasmonate-Induced Alteration in Lipid Peroxidation, Antioxidative Defence System and Yield in Soybean Under Drought. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 4, p. 296-301, 14 mar. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-037x.2011.00468.x>.

AZIZ, A.; LARHER, F.; Osmotic stress induced changes in lipid composition and peroxidation in leaf discs of *Brassic nappus* L. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 153, n. 5-6, p. 754-762, nov. 1998. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0176-1617\(98\)80231-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0176-1617(98)80231-9).

BATES, L.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant And Soil**, v. 39, n. 1, p. 205-207, ago. 1973. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/bf00018060>.

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, New York, v. 44, n. 1, p. 276-287, 1971 *apud* BOR, M; ÖZDEMİR, F; TÜRKAN, I. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. **Plant Science**, v. 164, n. 1, p. 77-84, jan. 2003. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452\(02\)00338-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452(02)00338-2).

BOR, M; ÖZDEMİR, F; TÜRKAN, I. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. **Plant Science**, v. 164, n. 1, p. 77-84, jan. 2003. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452\(02\)00338-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452(02)00338-2).

BROETTO, F.; LUTTGE, U.; RATAJCZAK, R. Influence of light intensity and salt-treatment on mode of photosynthesis and enzymes of the antioxidative response system of *Mesembryanthemum crystallinum*. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 29, n. 1, p. 13-23, 16 jan. 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1071/pp00135>.

CAMARGO, A. P. *et al.* Efeitos na produção de café de épocas de rega e de supressão de água, por meio de cobertura transparente (barcaça). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS*, 11., 1984, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: CBPC, 1984. p. 62-64.

CARARO, D. C.; DIAS, A. F. S. **Café na Amazônia: irrigação em cafeeiros**. Brasília: EMBRAPA, 2015.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, Brasília, DF, v.12, n. 1, primeiro levantamento, jan. 2025.

COSTA, N. L.; DAROS, E. **Bioestimulante como fator de produtividade da cana-de-açúcar**. Roraima: Embrapa, 2010. Artigo de divulgação na mídia.

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Boletim técnico**. Disponível em: <https://tempo.cptec.inpe.br/mg/patos-de-minascafé>.

DURÃES, M. A. B. **Respostas de duas populações de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) tratadas com ácido salicílico e submetidas a estresse hídrico**. 2006. 32 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2006. Disponível em: <http://bdtd.unoeste.br:8080/tede/handle/tede/616>

FERREIRA, D. F. **SISVAR - Sistema de análise de variância**. Lavras: UFLA, 2014.
FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Oxygen processing in photosynthesis: Regulation and signaling. **New Phytologist**, v. 146, n. 3, p. 359-388, jun. 2000. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00667.x>.

FREIRE, A. C. F.; MIGUEL, A. E. Disponibilidade de água no solo no período de 1974 a 1984 e seus efeitos na granação, qualidade e rendimento do café nos anos de 1983 a 1984, na região de Varginha – MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11., 1984, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: CBPC, 1984. p. 113-114.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, v. 125, n. 1, p. 189-198, abr. 1968 *apud* RAMA DEVI, S.; PRASAD, M. N. V. Copper toxicity in *Ceratophyllum demersum* L. (Coontail), a free floating macrophyte: response of antioxidant enzymes and antioxidants. **Plant Science**, Amsterdam, v. 138, n. 2, p. 157-165, nov. 1998. Disponível em:
[http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452\(98\)00161-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452(98)00161-7).

HUSSAIN, M. M.; BALBAA, L. K.; GABALLAH, M. S. Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 31, n. 4, p. 321-328, 2007.

HUSSAIN, M. M. *et al.* Improving drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, n. 3, p. 193-199, 2008.

IDREES, M. *et al.* Salicylic acid-induced physiological and biochemical changes in lemongrass varieties under water stress. **Journal Of Plant Interactions**, v. 5, n. 4, p. 293-303, 25 ago. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/17429145.2010.508566>.

KOCH, H. *et al.* Integrated hydro- and wind power generation: a game changer towards environmental flow in the sub-middle and lower são francisco river basin? **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 7, p. 1927-1942, 13 mar. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-018-1301-2>.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LEITE, M. L. *et al.* Variação de prolina em folhas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetido a diferentes déficits hídricos. **Revista Biotemas**, v. 12, n. 1, p. 21-33. 2000.

- MARIN, A. **Influência associada do estresse hídrico e do alumínio na germinação e crescimento inicial do guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.)**. 2003. 96 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Jaboticabal, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/97003>.
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. **Circular Técnica**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2. ed. Circular Técnica 98, 2011. 24 p.
- MARTÍN, F. J. P. **Respuestas inducidas por ácido abscísico y ácido salicílico en las simbiosis de judía y alfalfa en estrés hídrico**. 2009. 395 f. Faculdade de Ciencias, Universidade de Granada, Granada, 2009.
- MARTINS, C. C. *et al.* Crescimento inicial do café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) sob diferentes lâminas de irrigação. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 3, p. 193-201, 2006.
- MAZZUCHELLI, E.H. L.; SOUZA, G. M.; PACHECO, A. C. Rustificação de mudas de eucalipto via aplicação de Ácido salicílico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 443-450, dez. 2014. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-40632014000400012>.
- PEIXOTO, C. P.; PEIXOTO, M. F. S. P. Dinâmica do crescimento vegetal: princípios básicos. In: Carvalho, C. A. L. de *et al.* (org). **Tópicos em ciências agrárias**. Cruz das Almas: UFRB, v. 1, 2009.
- PELOSO, A. F. *et al.* Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 389-399, jul./set. 2017. Disponível em: <https://sbicafe.ufv.br/items/ee3f6497-e517-460d-846f-8e5c10893db2>.
- QIU, Z. *et al.* Exogenous jasmonic acid can enhance tolerance of wheat seedlings to salt stress. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 2014. 104:202–208.
- QUEIROZ, C. G. S. *et al.* Chilling induced changes in membrane fluidity and antioxidant enzyme activities in *Coffea arabica* L. roots. **Biology Plantarum**, Prague, v. 41, n. 3, p. 403- 413, 1998.
- RAMA DEVI, S.; PRASAD, M.N.V. Copper toxicity in *Ceratophyllum demersum* L. (Coontail), a free floating macrophyte: response of antioxidant enzymes and antioxidants. **Plant Science**, Amsterdam, v. 138, n. 2, p. 157-165, nov. 1998. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452\(98\)00161-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452(98)00161-7).
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B. *et al.* **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1987. p. 13-85.

STADNIK, M. J.; ASTOLFI, P.; FREITAS, M. B. de. Bioestimulantes: uma perspectiva global e desafios para a América Latina. *In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO SOBRE BIOESTIMULANTES NA AGRICULTURA*, 1., 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 2017.

SILVA, A. C. da *et al.* (2017). Salicylic acid as attenuator of drought stress on germination and initial development of sesame. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 156-162, mar. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p156-162>.

TAYLOR, C. B. Proline and water deficit: ups, downs, ins, and outs. **Plant Cell**, Rockville, v. 8, p. 1221-1224, 1996. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3870296>

XIONG, L.; ZHU, J. K. Abiotic stress signal transduction in plants: Molecular and genetic perspectives. **Physiologia Plantarum**, v. 112, n. 2, p. 152-166, jun. 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1120202.x>.