



**BRUNA CORRÊA DA SILVA**

**DERIVADOS DE FITORMÔNIOS NA INDUÇÃO DE  
RESISTÊNCIA CONTRA O ÁCARO *Oligonychus ilicis*  
(McGregor, 1917) (ACARI: TETRANYCHIDAE) EM *Coffea  
arabica* L.**

**LAVRAS – MG  
2022**

**BRUNA CORRÊA DA SILVA**

**DERIVADOS DE FITORMÔNIOS NA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA CONTRA O  
ÁCARO *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (ACARI: TETRANYCHIDAE) EM *Coffea  
arabica* L.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para a obtenção do título de Mestre.

**Orientadora**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Fernanda Gomes Villalba Peñaflo

**LAVRAS – MG  
2022**

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

da Silva, Bruna Corrêa.

Derivados de fitormônios na indução de resistência contra o  
ácaro *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae)  
em *Coffea arabica* L. / Bruna Corrêa da Silva. - 2022.

39 p.

Orientador(a): Maria Fernanda Gomes Villalba Peñaflores.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Interações artrópode-planta. 2. Ácaro herbívoro. 3. Indutores  
de resistência. I. Gomes Villalba Peñaflores, Maria Fernanda. II.  
Título.

**BRUNA CORRÊA DA SILVA**

**DERIVADOS DE FITORMÔNIOS NA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA CONTRA O  
ÁCARO *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (ACARI: TETRANYCHIDAE) EM *Coffea*  
*arabica* L.**

**PHYTOHORMONES DERIVATIVES IN THE INDUCTION OF RESISTANCE  
AGAINST THE MITE *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (ACARI:  
TETRANYCHIDAE) IN *Coffea arabica* L.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 11 de fevereiro de 2022.

Dr<sup>a</sup>. Maria Fernanda Gomes Villalba Peñafior UFLA

Dr<sup>a</sup>. Lívia Maria Silva Ataíde UFLA

Dr. Marcos Antonio Matiello Fadini UFSJ

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Fernanda Gomes Villalba Peñafior

**Orientadora**

**LAVRAS – MG  
2022**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Entomologia e a Escola de Ciências Agrárias, pela oportunidade e apoio logístico.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado.

À professora Maria Fernanda Peñaflor, pela confiança, bom humor e orientação inspiradora e humana.

Às colegas integrantes do LEQIIP que contribuíram para construção do trabalho, meu desenvolvimento e formação científica, trabalhar com vocês é um grande privilégio.

Em especial à Fernanda que foi uma grande mestra em Acarologia, conduta profissional e solidariedade e à Sofia, pela parceria para o que der e vier.

Aos grandes amigos que torcem por cada etapa e me amparam em minhas escolhas.

Aos meus irmãos, Gustavo e Pedro, por tornarem a jornada mais leve.

Aos meus pais, Alessandra e Paulo por acreditarem na educação e me permitirem alçar tantos voos.

A todos aqueles que nesses dois anos de interações, diretas e indiretas, contribuíram com um pouco ou tanto de si para que eu chegasse até o fim desse ciclo.

Foi uma grande honra, muito obrigada!

## RESUMO

Estudos tem investigado como a exposição exógena a fitormônios como o ácido jasmônico (AJ) e ácido salicílico (AS), ou ainda, seus respectivos derivados, jasmonato de metila (MeJA) e salicilato de metila (MeSA) afetam a expressão de defesas das plantas contra artrópodes herbívoros. As plantas anuais de interesse agrícola são amplamente estudadas e costumam frequentemente induzir defesas após a aplicação desses compostos, seja ela por meio do líquido em contato direto com as plantas ou ainda por meio de voláteis promovendo resistência contra insetos e ácaros herbívoros, além de contribuírem no recrutamento de inimigos naturais. No entanto, pouco se conhece sobre os efeitos desses compostos por aplicação direta e por meio de voláteis em plantas perenes como *Coffea arabica* L. Considerando essa lacuna envolvendo uma planta de grande interesse econômico, este trabalho avaliou como plantas de café expostas diretamente e indiretamente (por voláteis) ao MeJA e ao MeSA respondem defensivamente contra o ácaro-vermelho-do-cafeeiro *Oligonychus ilicis*. A indução de resistência das plantas foi avaliada através do bioensaio de desempenho dos ácaros, avaliando o número de ovos por fêmea e por meio de seleção de plantas hospedeiras com duas chances de escolha. As plantas expostas diretamente aos compostos receberam uma solução com 1,5mM, com secagem de 48h para os ensaios comportamentais. A exposição aos voláteis ocorreu durante 7 dias até os ensaios comportamentais, por meio de liberadores na base das plantas, contendo 200µl do composto. Para analisar os dados, construímos modelos lineares generalizados de efeito misto (GLMM). Os tratamentos com MeJA não diferiam significativamente para seleção de plantas hospedeiras e para o desempenho dos ácaros. A aplicação do MeSA diretamente sobre as plantas e a exposição ao MeSA volatilizado, não promoveu diferenças significativas no número de ovos depositados por *O. ilicis*. Entretanto, o MeSA aplicado diretamente, promoveu maior atração de *O. ilicis* nos ensaios de seleção hospedeira. Nossos resultados sugerem uma neutralidade da ação do MeJA por exposição direta ou indireta sobre as plantas de café, enquanto o MeSA possui efeito neutro por exposição indireta, mas um potencial atrativo quando aplicado diretamente. Ainda que a promoção de resistência por elicitores em plantas anuais seja frequentemente relatada na literatura, há uma necessidade de expandir os estudos para plantas perenes, visando melhor compreensão de técnicas alternativas ao controle de pragas agrícolas e a influência sobre as interações artrópode-planta.

**Palavras-chave:** Jasmonato de metila, salicilato de metila, café, herbivoria.

## ABSTRACT

The exogenous exposure of plants to phytohormones, such as jasmonic acid (JA) and salicylic acid or their respective products methyl jasmonate (MeJA) and methyl salicylate (MeSA), influence the expression of defenses against herbivores and pathogens. Annual agriculture plants are widely studied and, after elicitors application, either through the liquid in direct contact with the plants or through volatiles, can induce defenses promoting resistance against herbivore arthropods and participating in natural enemies recruitment. However, little is known about the effects of these compounds by direct application and through volatiles in perennial plants such as *Coffea arabica* L. Considering this gap involving a plant of great economic interest, this work evaluated how coffee plants exposed directly and indirectly (by volatiles) to MeJA and MeSA respond defensively against the red spider mite *Oligonychus ilicis*. The induction of plant resistance was evaluated through the mite performance bioassay, evaluating the number of eggs per female and through the selection of host plants with dual choice tests. The plants directly exposed to the compounds received a 1.5 mM solution, with drying for 48 hours for the behavioral assays. Exposure to volatiles occurred for 7 days until the behavioral test, through plant-based releasers, containing 200ul of the compound. We analyzed the data with generalized linear mixed-effect models (GLMM). MeJA treatments did not differ significantly in both behavioral trials. The application of MeSA directly on the plants and the exposure to volatized MeSA, did not promote significant differences in the oviposition rate of *O. ilicis*, but the MeSA applied directly, promoted greater attraction of *O. ilicis* in the host selection assays. Our results suggest a neutrality of the action of MeJA by direct or indirect exposure on coffee plants, while MeSA has a neutral effect by indirect exposure, but an attractive potential when applied directly. Although the promotion of resistance by elicitors in annual plants is frequently reported in the literature, there is a need to expand studies to perennial plants, aiming at a better understanding of alternative techniques to control agricultural pests and the influence on arthropod-plant interactions.

**Palavras-chave:** methyl jasmonate, methyl salicylate, coffee, herbivory.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esquemática do liberador de compostos sintéticos. ....	30
Figura 2: Seleção hospedeira entre plantas expostas aos compostos sintéticos e não expostas. ....	30
Figura 3: Ensaio de desempenho do ácaro-vermelho-do-cafeeiro em arenas de plantas expostas e não-expostas aos compostos sintéticos. ....	31
Figura 4: Seleção hospedeira de <i>Oligonychus ilicis</i> em plantas tratadas com jasmonato de metila (MeJA) via volátil e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de fêmeas por planta (média $\pm$ IC) ao longo do tempo. ....	31
Figura 5: Seleção hospedeira de <i>Oligonychus ilicis</i> em plantas tratadas diretamente com jasmonato de metila (MeJA) e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de fêmeas por planta (média $\pm$ IC) ao longo do tempo. ....	32
Figura 6: Desempenho de <i>Oligonychus ilicis</i> em plantas tratadas com jasmonato de metila (MeJA) via aérea e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de ovos por fêmea (média $\pm$ IC) ao longo do tempo. ....	32
Figura 7: Desempenho de <i>Oligonychus ilicis</i> em plantas tratadas diretamente com jasmonato de metila (MeJA) e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de ovos por fêmea (média $\pm$ IC) ao longo do tempo. ....	33
Figura 8: Seleção hospedeira de <i>Oligonychus ilicis</i> em plantas tratadas com salicilato de metila (MeSA) via e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de fêmeas por planta (média $\pm$ IC) ao longo do tempo. ....	33
Figura 9: Seleção hospedeira de <i>Oligonychus ilicis</i> em plantas tratadas diretamente com salicilato de metila (MeSA) e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de fêmeas por planta (média $\pm$ IC) ao longo do tempo. ....	34



Figura 10: Desempenho de *Oligonychus ilicis* em plantas tratadas com salicilato de metila (MeSA) via e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de ovos por fêmea (média  $\pm$  IC) ao longo do tempo.....34

Figura 11: Desempenho de *Oligonychus ilicis* em plantas tratadas diretamente com salicilato de metila (MeSA) e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de ovos por fêmea (média  $\pm$  IC) ao longo do tempo.....35

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE .....</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>10</b>
	<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGO.....</b>	<b>14</b>
	<b>ARTIGO 1 .....</b>	<b>14</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>O sistema de estudo .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Exposição aos compostos sintéticos.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Ensaio comportamentais .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Análise dos dados .....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Escolha hospedeira e desempenho de <i>O. ilicis</i> em plantas tratadas com MeJA ...</b>	<b>20</b>
<b>3.2</b>	<b>Escolha hospedeira e desempenho de <i>O. ilicis</i> em plantas tratadas com MeSA ...</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>24</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>25</b>

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

As plantas diversificaram suas respostas aos variados estresses do meio para otimizar a sua sobrevivência e reprodução. A alta pressão exercida pelo estresse da herbivoria por artrópodes, por exemplo, promoveu a seleção de estratégias de defesa das plantas que permitiram reduzir a ação dos herbívoros. Em geral, as plantas apresentam defesas constitutivas, que são expressas em níveis basais, ou seja, sempre presentes nos tecidos independente do estresse; e defesas induzidas, cuja síntese é ativada após a detecção da herbivoria (HILKER; MEINERS, 2006; ITO; SAKAI, 2009). Essas defesas podem atuar de maneira direta sobre os herbívoros, alterando a fisiologia ou comportamento por meio de compostos antidigestivos, antinutritivos, repelentes ou tóxicos (CHEN, 2008); ou ainda de maneira indireta, atraindo inimigos naturais dos herbívoros pela emissão de compostos voláteis induzidos pela herbivoria (HIPVs - *herbivore-induced plant volatiles*) (DICKE et al., 1998; KESSLER; HALITSCHKE, 2007). A síntese dos compostos envolvidos na defesa induzida depende de investimento energético, sendo desencadeada após o reconhecimento da herbivoria por mecanismos de sinalização intracelular, envolvendo a modulação por fitormônios e expressão de genes, ou ainda, extracelular, envolvendo os HIPVs (ARIMURA; OZAWA; MAFFEI, 2011). Apesar do custo energético, a indução de defesas é uma estratégia muito comum a plantas de diversas espécies, pois o benefício, em termos de fitness, em um ambiente sob pressão de herbívoros compensa o investimento energético (AGRAWAL, 1998).

A percepção pelas plantas da presença de herbívoros, ou iminência da herbivoria, pode ocorrer através da estimulação mecânica no caminhar ou vibração da mastigação pelos artrópodes herbívoros (TRETNER; HUTH; HAUSE, 2008; HILKER; MEINERS, 2010), deposição de ovos nos tecidos vegetais (MEINERS; HILKER, 2000; HILKER; MEINERS, 2006), detecção dos feromônios sexuais dos herbívoros (BITTNER et al., 2019), além da própria herbivoria. As plantas sob herbivoria reconhecem padrões moleculares associados à herbivoria (HAMPs) e padrões moleculares associados ao dano (DAMPs), que desencadeiam uma resposta defensiva (ABDUL MALIK; KUMAR; NADARAJAH, 2020), regulada por fitormônios, como o ácido jasmônico (AJ), ácido salicílico (AS), etileno (ET), ácido abscísico (ABA), citocinina, giberelina (GA) e brassinosteróides (ERB; MELDAU; HOWE, 2012). O AJ, AS e o ET são os três principais fitormônios que participam das defesas induzidas contra

artrópodes herbívoros ao atuar na expressão de genes, a relevância do AJ e/ou AS pode variar de acordo com a guilda alimentar do artrópode herbívoro (SCHWEIGER et al., 2014).

A importância dos fitormônios na modulação das defesas contra os herbívoros tem sido estudada em experimentos nos quais as plantas são estimuladas por meio da aplicação exógena de soluções dos fitormônios ou seus derivados, ou ainda por meio de plantas manipuladas geneticamente deficientes na produção ou pouco sensíveis a um determinado fitormônio (THALER et al., 2002; AMENT et al., 2010; ROHWER; ERWIN, 2010; SCOTT; THALER; SCOTT, 2010; KALAIVANI; KALAISELVI; SENTHIL-NATHAN, 2018). Os estudos pioneiros sobre o papel do fitormônio AJ mostrou que a aplicação exógena nas folhas de tomate *Lycopersicon esculentum* Miller aumentou a resistência contra insetos herbívoros (THALER, 1999; THALER et al., 1999). Além do tomate, a aplicação de AJ é capaz de induzir respostas defensivas nas plantas e aumentar a resistência contra insetos herbívoros em diversas culturas como o trigo, arroz, cana-de-açúcar (GOLS et al., 2003; SENTHIL-NATHAN et al., 2009; EL-WAKEIL; VOLKMAR, 2012; SANCHES et al., 2017). O jasmonato de metila (MeJA, ou *methyl jasmonate*) é um volátil derivado do AJ, desempenhando a função de sinalização celular e ainda participando das interações planta-herbívoros e planta-planta (CHEONG; CHOI, 2003). O MeJA por meio de sinalização aérea, é capaz de induzir inibidores de proteinase em folhas de algumas famílias de plantas, como Solanaceae e Fabaceae, tornando a planta menos suscetível a alguns herbívoros (FARMER; RYAN, 1990). A aplicação exógena de MeJA é indicada para indução de resistência contra diversas formas de estresses, seja biótico ou abiótico (YU et al., 2019).

No caso dos ácaros fitófagos, o AJ também desempenha papel importante em modular as defesas induzidas diretas e indiretas contra os herbívoros que se alimentam do conteúdo das células epidérmicas das plantas. Em estudo conduzido com feijão lima, o ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) apresentou preferência por discos foliares do controle, do que aqueles tratados com AJ (GOLS et al., 2003). No algodão, a aplicação exógena de AJ, promove a redução em 60% da preferência e da reprodução de *T. urticae* (OMER et al., 2001). Smart e colaboradores (2013) realizaram a exposição de sementes de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de duas cultivares ao AJ e avaliaram que a oviposição do ácaro-rajado foi reduzida em uma das cultivares. A pré-exposição ao fitormônio AJ induziu as plantas a emitirem os voláteis salicilato de metila (MeSA, ou methyl salicylate) e (E,E)-4,8,12-trimethyl-1,3,7,11-tridecatetraene (TMTT) quando atacadas pelo herbívoro, aumentando a atratividade ao predador *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) em ambas as cultivares.

O ácido salicílico (AS) também pode desempenhar papel importante na indução de resistência contra os ácaros fitófagos, apesar de ter grande importância nas defesas contra patógenos biotróficos que se alimentam de tecido vivo e insetos sugadores (MORAN; THOMPSON, 2001; KUMAR, 2014). Um estudo conduzido em morangueiro, demonstrou que a aplicação exógena de AS foi capaz de reduzir a sobrevivência do ácaro *T. urticae* e reduzir a sua taxa de oviposição (FAVARO et al., 2019). Em tomates, a aplicação de AS exógeno também induziu resistência contra o ácaro *T. urticae* promovendo maior mortalidade (HOMAYOONZADEH et al., 2020). A liberação por via aérea do MeSA em campo pode também funcionar como um atrativo direto de ácaros predadores, que são recrutados para as áreas e atuam no controle biológico de *T. urticae* (WOODS et al., 2011).

Sob a perspectiva aplicada, os derivados de fitormônios têm o potencial para aumentar a resistência de plantas de importância agrícola (STOUT; ZEHNDER; BAUR, 2002). Os efeitos da aplicação exógena de derivados de fitormônios são bem conhecidos em plantas anuais (COOPER; GOGGIN, 2005; SENTHIL-NATHAN et al., 2009; PAUDEL; RAJOTTE; FELTON, 2014; SANCHES et al., 2017), mas foram pouco estudados em culturas perenes, bem como a estimulação das plantas via aérea por meio dos derivativos. Estudos envolvendo a indução de resistência pela atuação de MeJA e MeSA são desconhecidos no cafeeiro *Coffea arabica* L. O café é uma das culturas mais valiosas no mercado internacional agrícola, sendo o café arábica uma das mais consumidas (LABOUISSSE et al., 2008). Um dos herbívoros frequentemente encontrado em plantações de café e que reduzem a produção é o ácaro-vermelho-do-cafeeiro *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) (FRANCO et al., 2008). O dano foliar ocasionado por *O. ilicis*, pode ser reconhecido devido ao bronzeamento decorrente de sua forma de alimentação (REIS; ALVES; SOUSA, 1997). Ao romper células epidérmicas, do parênquima e mesófilo foliar e se alimentar do conteúdo foliar extravasado, há uma considerável perda na capacidade fotossintética das plantas de café (FRANCO et al., 2009b). A ocorrência do ácaro-vermelho-do-cafeeiro é registrada ao longo de todo o ano, mas ocorre um aumento populacional nos períodos secos, devido à influência das chuvas em sua mortalidade (FRANCO et al., 2008). Considerando essa lacuna no conhecimento, esse trabalho teve como objetivo investigar os potenciais efeitos da aplicação exógena direta e indireta (via volátil) de MeJA e MeSA sob a indução de resistência contra o ácaro herbívoro *O. ilicis* em plantas de café. Dessa forma, este estudo pode subsidiar estratégias alternativas de manejo integrado de pragas.

## REFERÊNCIAS

- ABDUL MALIK, N. A.; KUMAR, I. S.; NADARAJAH, K. Elicitor and Receptor Molecules: Orchestrators of Plant Defense and Immunity. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 3, p. 963, 31 jan. 2020. doi: 10.3390/ijms21030963.
- AGRAWAL, A. A. Induced Responses to Herbivory and Increased Plant Performance. **Science**, v. 279, n. 5354, p. 1201–1202, 20 fev. 1998. doi: 10.1126/science.279.5354.1201.
- AMENT, K.; KRASIKOV, V.; ALLMANN, S.; REP, M.; TAKKEN, F. L. W.; SCHUURINK, R. C. Methyl salicylate production in tomato affects biotic interactions. **The Plant Journal**, v. 62, n. 1, p. 124–134, abr. 2010. doi: 10.1111/j.1365-313X.2010.04132.x.
- ARIMURA, G.-I.; OZAWA, R.; MAFFEI, M. E. Recent Advances in Plant Early Signaling in Response to Herbivory. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, n. 6, p. 3723–3739, 7 jun. 2011. doi: 10.3390/ijms12063723.
- BITTNER, N.; HUNDACKER, J.; ACHOTEGUI-CASTELLS, A.; ANDERBRANT, O.; HILKER, M. Defense of Scots pine against sawfly eggs (*Diprion pini*) is primed by exposure to sawfly sex pheromones. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 116, n. 49, p. 24668–24675, 3 dez. 2019. doi: 10.1073/pnas.1910991116.
- CHEN, M.-S. Inducible direct plant defense against insect herbivores: A review. **Insect Science**, v. 15, n. 2, p. 101–114, abr. 2008. doi: 10.1111/j.1744-7917.2008.00190.x.
- CHEONG, J.-J.; CHOI, Y. Do. Methyl jasmonate as a vital substance in plants. **Trends in Genetics**, v. 19, n. 7, p. 409–413, jul. 2003. doi: 10.1016/S0168-9525(03)00138-0.
- COOPER, W. R.; GOGGIN, F. L. Effects of jasmonate-induced defenses in tomato on the potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 115, n. 1, p. 107–115, 21 abr. 2005. doi: 10.1111/j.1570-7458.2005.00289.x.
- DICKE, M.; TAKABAYASHI, J.; POSTHUMUS, M. A.; SCHÜTTE, C.; KRIPS, O. E. Plant—Phytoseiid Interactions Mediated by Herbivore-Induced Plant Volatiles: Variation in Production of Cues and in Responses of Predatory Mites. **Experimental & Applied Acarology**, v. 22, n. 6, p. 311–333, 1998. doi: 10.1023/A:1024528507803.
- EL-WAKEIL, N. E.; VOLKMAR, C. Effect of Jasmonic Application on Economically Insect Pests and Yield in Spring Wheat. **Gesunde Pflanzen**, v. 64, n. 3, p. 107–116, 22 set. 2012. doi: 10.1007/s10343-012-0278-x.
- ERB, M.; MELDAU, S.; HOWE, G. A. Role of phytohormones in insect-specific plant reactions. **Trends in Plant Science**, v. 17, n. 5, p. 250–259, maio 2012. doi: 10.1016/j.tplants.2012.01.003.
- FARMER, E. E.; RYAN, C. A. Interplant communication: airborne methyl jasmonate induces synthesis of proteinase inhibitors in plant leaves. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 87, n. 19, p. 7713–7716, 1 out. 1990. doi: 10.1073/pnas.87.19.7713.
- FAVARO, R.; RESENDE, J. T. V.; GABRIEL, A.; ZEIST, A. R.; CORDEIRO, E. C. N.; FAVARO JÚNIOR, J. L. Salicylic acid: resistance inducer to two-spotted spider mite in strawberry crop. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 60–64, mar. 2019. doi: 10.1590/s0102-053620190109.
- FRANCO, R. A.; REIS, P. R.; ZACARIAS, M. S.; ALTOÉ, B. F.; BARBOSA, J. P. R. A. D.

Influência da infestação de *Oligonychus ilicis* (Mcgregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) sobre a taxa de fotossíntese potencial de folhas de cafeeiro. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, n. 2, p. 205–210, jun. 2009. doi: 10.1590/1808-1657v76p2052009.

FRANCO, R. A.; REIS, P. R.; ZACARIAS, M. S.; ALTOÉ, B. F.; NETO, M. P. Dinâmica populacional de *Oligonychus ilicis* (Mcgregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) em cafeeiro e de fitoseídeos associados a ele. **Coffee Science**, v. v. 3, n. n. 1, p. 38–46, 2008.

GOLS, R.; ROOSJEN, M.; DIJKMAN, H.; DICKE, M. Induction of Direct and Indirect Plant Responses by Jasmonic Acid, Low Spider Mite Densities, or a Combination of Jasmonic Acid Treatment and Spider Mite Infestation. **Journal of Chemical Ecology**, v. 29, n. 12, p. 2651–2666, dez. 2003. doi: 10.1023/B:JOEC.0000008010.40606.b0.

HILKER, M.; MEINERS, T. Early Herbivore Alert: Insect Eggs Induce Plant Defense. **Journal of Chemical Ecology**, v. 32, n. 7, p. 1379–1397, 23 jul. 2006. doi: 10.1007/s10886-006-9057-4.

HILKER, M.; MEINERS, T. How do plants “notice” attack by herbivorous arthropods? **Biological Reviews**, v. 85, n. 2, p. 267–280, maio 2010. doi: 10.1111/j.1469-185X.2009.00100.x.

HOMAYOONZADEH, M.; MOEINI, P.; TALEBI, K.; ALLAHYARI, H.; TORABI, E.; MICHAUD, J. P. Physiological responses of plants and mites to salicylic acid improve the efficacy of spiroadiclofen for controlling *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on greenhouse tomatoes. **Experimental and Applied Acarology**, v. 82, n. 3, p. 319–333, 17 nov. 2020. doi: 10.1007/s10493-020-00559-2.

ITO, K.; SAKAI, S. Optimal defense strategy against herbivory in plants: Conditions selecting for induced defense, constitutive defense, and no-defense. **Journal of Theoretical Biology**, v. 260, n. 3, p. 453–459, out. 2009. doi: 10.1016/j.jtbi.2009.07.002.

KALAIVANI, K.; KALAISELVI, M. M.; SENTHIL-NATHAN, S. Effect of Methyl Salicylate (MeSA) induced changes in rice plant (*Oryza sativa*) that affect growth and development of the rice leafhopper, *Cnaphalocrocis medinalis*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 101, p. 116–126, jan. 2018. doi: 10.1016/j.pmpp.2017.07.001.

KESSLER, A.; HALITSCHKE, R. Specificity and complexity: the impact of herbivore-induced plant responses on arthropod community structure. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 10, n. 4, p. 409–414, ago. 2007. doi: 10.1016/j.pbi.2007.06.001.

KUMAR, D. Salicylic acid signaling in disease resistance. **Plant Science**, v. 228, p. 127–134, nov. 2014. doi: 10.1016/j.plantsci.2014.04.014.

LABOUISSSE, J.-P.; BELLACHEW, B.; KOTTECHA, S.; BERTRAND, B. Current status of coffee (*Coffea arabica* L.) genetic resources in Ethiopia: implications for conservation. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 55, n. 7, p. 1079–1093, 29 nov. 2008. doi: 10.1007/s10722-008-9361-7.

MEINERS, T.; HILKER, M. Induction of Plant Synomones by Oviposition of a Phytophagous Insect. **Journal of Chemical Ecology**, v. 26, n. 1, p. 221–232, 2000. doi: 10.1023/A:1005453830961.

MORAN, P. J.; THOMPSON, G. A. Molecular Responses to Aphid Feeding in *Arabidopsis* in Relation to Plant Defense Pathways. **Plant Physiology**, v. 125, n. 2, p. 1074–1085, 1 fev. 2001. doi: 10.1104/pp.125.2.1074.

- OMER, A. D.; GRANETT, J.; KARBAN, R.; VILLA, E. M. Chemically-induced resistance against multiple pests in cotton. **International Journal of Pest Management**, v. 47, n. 1, p. 49–54, jan. 2001. doi: 10.1080/09670870150215595.
- PAUDEL, S.; RAJOTTE, E. G.; FELTON, G. W. Benefits and costs of tomato seed treatment with plant defense elicitors for insect resistance. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 8, n. 6, p. 539–545, 21 dez. 2014. doi: 10.1007/s11829-014-9335-y.
- REIS, P. R.; ALVES, E. B.; SOUSA, E. O. Biologia do ácaro-vermelho do cafeeiro, *Oligonychus ilicis* (McGREGOR, 1917). **Ciência e Agrotecnologia**, v. v.21, n. n.3, p. p.260-266, 1997, 1997.
- ROHWER, C. L.; ERWIN, J. E. Spider mites (*Tetranychus urticae*) perform poorly on and disperse from plants exposed to methyl jasmonate. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 137, n. 2, p. 143–152, nov. 2010. doi: 10.1111/j.1570-7458.2010.01043.x.
- SANCHES, P. A.; SANTOS, F.; PEÑAFLORES, M. F. G. V.; BENTO, J. M. S. Direct and indirect resistance of sugarcane to *Diatraea saccharalis* induced by jasmonic acid. **Bulletin of Entomological Research**, v. 107, n. 6, p. 828–838, 24 dez. 2017. doi: 10.1017/S0007485317000372.
- SCHWEIGER, R.; HEISE, A.-M.; PERSICKE, M.; MÜLLER, C. Interactions between the jasmonic and salicylic acid pathway modulate the plant metabolome and affect herbivores of different feeding types. **Plant, Cell & Environment**, v. 37, n. 7, p. 1574–1585, jul. 2014. doi: 10.1111/pce.12257.
- SCOTT, I. M.; THALER, J. S.; SCOTT, J. G. Response of a Generalist Herbivore *Trichoplusia ni* to Jasmonate-Mediated Induced Defense in Tomato. **Journal of Chemical Ecology**, v. 36, n. 5, p. 490–499, 27 maio 2010. doi: 10.1007/s10886-010-9780-8.
- SENTHIL-NATHAN, S.; KALAIIVANI, K.; CHOI, M.-Y.; PAIK, C.-H. Effects of jasmonic acid-induced resistance in rice on the plant brownhopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 95, n. 2, p. 77–84, out. 2009. doi: 10.1016/j.pestbp.2009.07.001.
- SMART, L. E.; MARTIN, J. L.; LIMPALAËR, M.; BRUCE, T. J. A.; PICKETT, J. A. Responses of Herbivore and Predatory Mites to Tomato Plants Exposed to Jasmonic Acid Seed Treatment. **Journal of Chemical Ecology**, v. 39, n. 10, p. 1297–1300, 21 out. 2013. doi: 10.1007/s10886-013-0345-5.
- STOUT, M. J.; ZEHNDER, G. W.; BAUR, M. E. Potential for the use of elicitors of plant resistance in arthropod management programs. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**, v. 51, n. 4, p. 222–235, dez. 2002. doi: 10.1002/arch.10066.
- THALER, J. S. Induced Resistance in Agricultural Crops: Effects of Jasmonic Acid on Herbivory and Yield in Tomato Plants. **Environmental Entomology**, v. 28, n. 1, p. 30–37, 1 fev. 1999. doi: 10.1093/ee/28.1.30.
- THALER, J. S.; FARAG, M. A.; PARÉ, P. W.; DICKE, M. Jasmonate-deficient plants have reduced direct and indirect defences against herbivores. **Ecology Letters**, v. 5, n. 6, p. 764–774, nov. 2002. doi: 10.1046/j.1461-0248.2002.00388.x.
- THALER, J. S.; FIDANTSEF, A. L.; DUFFEY, S. S.; BOSTOCK, R. M. Trade-Offs in Plant Defense Against Pathogens and Herbivores: A Field Demonstration of Chemical Elicitors of Induced Resistance. **Journal of Chemical Ecology**, v. 25, n. 7, p. 1597–1609, 1999. doi:



10.1023/A:1020840900595.

TRETNER, C.; HUTH, U.; HAUSE, B. Mechanostimulation of *Medicago truncatula* leads to enhanced levels of jasmonic acid. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, n. 10, p. 2847–2856, 1 jul. 2008. doi: 10.1093/jxb/ern145.

WOODS, J. L.; JAMES, D. G.; LEE, J. C.; GENT, D. H. Evaluation of airborne methyl salicylate for improved conservation biological control of two-spotted spider mite and hop aphid in Oregon hop yards. **Experimental and Applied Acarology**, v. 55, n. 4, p. 401–416, 22 dez. 2011. doi: 10.1007/s10493-011-9495-8.

YU, X.; ZHANG, W.; ZHANG, Y.; ZHANG, X.; LANG, D.; ZHANG, X. The roles of methyl jasmonate to stress in plants. **Functional Plant Biology**, v. 46, n. 3, p. 197, 2019. doi: 10.1071/FP18106.

**SEGUNDA PARTE - ARTIGO****ARTIGO 1**

**Jasmonato e salicilato de metila não induzem resistência contra o ácaro-vermelho-do-cafeeiro *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae)**

Bruna Corrêa da Silva<sup>1</sup>, Maria Fernanda G. V. Peñaflo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Entomologia, Escola de Ciências Agrárias – Universidade Federal de Lavras (UFLA) Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – Brazil

## RESUMO

O jasmonato de metila (MeJA) e o salicilato de metila (MeSA) são derivados, respectivamente, dos fitormônios ácido jasmônico (AJ) e ácido salicílico (AS), que são os principais responsáveis pela regulação de defesas de plantas contra patógenos e herbívoros. Em culturas anuais, a aplicação direta desses compostos nas plantas reduz significativamente a injúria por insetos e ácaros herbívoros. Além disso, estudos recentes mostram que a exposição da planta via volátil de MeJA e MeSA pode estimular o sistema de defesa da planta promovendo a indução ou ativando um estado de alerta nas plantas, também chamado de *priming*. No entanto, pouco se conhece sobre os efeitos desses compostos por aplicação direta e via volátil em plantas perenes, como *Coffea arabica* L. Portanto, este trabalho avaliou o efeito da exposição de *C. arabica* ao MeJA ou MeSA por via direta e volátil sobre a indução de resistência contra o ácaro-vermelho-do-cafeeiro *Oligonychus ilicis*. Ensaios comportamentais de seleção hospedeira e de desempenho, considerando o número de ovos por fêmeas, foram utilizados para testar a indução de resistência em plantas tratadas e não tratadas com os compostos indutores. Para avaliar a influência direta dos compostos nas plantas, preparamos soluções com 1,5 mM de cada substância e borrifamos sobre as plantas. Os ensaios comportamentais iniciaram 48h após a aplicação. Para avaliar a exposição ao volátil, aplicamos 100 µl de cada composto em liberadores e os posicionamos na base das plantas por 7 dias. Analisamos os dados por modelos generalizados de efeito misto (GLMM). A aplicação direta ou exposição por volátil do MeJA não causou alteração na resistência da planta de café ao ácaro-vermelho-do-cafeeiro. Já a aplicação direta e a exposição ao MeSA volatilizado também não promoveu diferenças significativas no desempenho de *O. ilicis*, mas o MeSA aplicado diretamente promoveu maior atratividade das plantas de café ao *O. ilicis* nos ensaios de seleção hospedeira. Embora a resistência promovida pelos derivados de fitormônios seja comum em plantas anuais, observamos que a sua aplicação ou exposição no café não induziu resistência contra o ácaro-vermelho-do-cafeeiro e, surpreendentemente, causou a atração do ácaro à planta de café. Sugerimos que estudos futuros investiguem como o MeJA e MeSA alteram as defesas induzidas e a emissão de compostos voláteis que possam atuar como atraentes do ácaro *O. ilicis*.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica*, MeJA, MeSA, herbivoria.

## 1 INTRODUÇÃO

As plantas podem responder aos danos da herbivoria induzindo defesas que atuam de maneira direta sobre os herbívoros (CHEN, 2008), ou ainda de forma indireta, recrutando inimigos naturais pela emissão de voláteis induzidos pela herbivoria (HIPVs, ou *herbivore-induced plant volatiles*) (DICKE et al., 1998; KESSLER; HALITSCHKE, 2007). A indução das defesas é desencadeada após o reconhecimento da herbivoria, que pode envolver a percepção através da herbivoria, mecanoestimulação ou oviposição dos herbívoros (HILKER; MEINERS, 2006; ITO; SAKAI, 2009), aliando o dano físico ao contato com elicitores que geram uma resposta espécie-específica na planta, iniciando a sinalização por fitormônios (ERB; MELDAU; HOWE, 2012). O ácido jasmônico (AJ), ácido salicílico (AS) e o etileno são os principais fitormônios que modulam a expressão de genes relacionados às defesas induzidas as defesas contra artrópodes herbívoros, mas dependendo da guilda alimentar do artrópode herbívoro, a importância do AJ e/ou AS pode variar (SCHWEIGER et al., 2014). Por exemplo, a herbivoria por insetos mastigadores induz o aumento de AJ, enquanto a sucção de seiva por insetos sugadores promove aumento dos níveis de AS (MCCLLOUD; BALDWIN, 1997; COPPOLA et al., 2013). Já a herbivoria pelos ácaros, que se alimentam de conteúdo celular, induz tanto a rota do AJ quanto do AS (OZAWA et al., 2000).

Grande parte dos experimentos na literatura, utilizam o fitormônio AJ ou o derivado volátil jasmonato de metila (MeJA, sigla amplamente utilizada para *methyl jasmonate*), que gera as respostas defensivas similares as da herbivoria quando aplicado de forma exógena (STOUT; ZEHNDER; BAUR, 2002). O AJ e seus derivados, além de serem importantes sinalizadores das defesas induzidas, participam de diversos processos fisiológicos das plantas, como a senescência (KIM; CHANG; TUCKER, 2015), e desempenham um papel importante na resposta defensiva contra patógenos e estresses abióticos (RUAN et al., 2019; ALI; BAEK, 2020). O MeJA, além de atuar na sinalização celular, possui um importante papel nas interações planta-planta e planta-herbívoro (CHEONG; CHOI, 2003), fornecendo uma série de informações sobre o ambiente e sobre outros organismos (NINKOVIC; MARKOVIC; RENSING, 2021). A aplicação exógena de MeJA pode induzir resistência a herbivoria e a outras formas de estresse (YU et al., 2019). Por exemplo, o MeJA foi capaz de induzir inibidores de proteinase em folhas de algumas espécies de planta por meio de sinalização aérea, reduzindo a suscetibilidade a alguns herbívoros (FARMER; RYAN, 1990).

Apesar do papel reconhecido e importante na defesa contra patógenos, o AS também pode atuar na indução de resistência contra herbívoros (KUMAR, 2014). Há estudos

demonstrando alguns efeitos nas defesas diretas contra o ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), que apresentou taxa de oviposição reduzida e aumento da mortalidade (FAVARO et al., 2019; HOMAYOONZADEH et al., 2020). O salicilato de metila (MeSA- sigla amplamente utilizada para *methyl-salicylate*), derivado do fitormônio AS, atua como volátil e consegue expandir o espaço de sinalização das plantas. Estudos utilizando MeSA em forma de isca de coleta no campo, mostrou efeitos positivos na redução de herbívoros e atração de inimigos naturais (WOODS et al., 2011). A aplicação sobre plantas, pode afetar o desenvolvimento e crescimento de alguns herbívoros (KALAIVANI; KALAISELVI; SENTHIL-NATHAN, 2018).

Enquanto a aplicação direta das versões sintéticas do AJ, AS, e seus derivados metilados nos tecidos vegetais induz a expressão de metabólitos de defesa contra os artrópodes herbívoros, a exposição aérea das plantas aos voláteis de plantas pode ter uma ação diferente. A detecção de compostos voláteis de plantas vizinhas sob ataque que incluem MeJA, MeSA, voláteis de folhas verdes e terpenos, sinaliza o risco eminente de herbivoria e, por isso, as plantas entram em um estado de alerta, mas sem expressar defesas (BALDWIN, 2006). Esse alerta consiste na ativação parcial da sinalização de defesas induzidas de modo que as são mais rapidamente e vigorosamente expressas após a herbivoria, fenômeno conhecido como *priming* (FROST et al., 2008; KARBAN; YANG; EDWARDS, 2014; ERB et al., 2015; ROWEN et al., 2017; PÉREZ-HEDO et al., 2021). Assim, sob a perspectiva aplicada, os fitormônios e seus derivados, via aplicação direta ou exposição aérea, têm potencial para serem empregados como uma tática para aumentar a resistência de plantas de interesse agrícola (RIHI et al., 2022).

A seletividade do uso de elicitores é favorável aos inimigos naturais. Em algumas culturas, a aplicação de MeJA foi efetiva para reduzir a população de herbívoros sem afetar a população ou o desempenho dos inimigos naturais (STRAPASSON et al., 2014; WARABIEDA, 2015). O MeSA aplicado de forma líquida ou gasosa desempenha um papel importante na atração de inimigos naturais de ácaros da família Tetranychidae (SHIMODA et al., 2002, 2005; WOODS et al., 2011). Desse modo, o uso de elicitores em plantas durante um período de crescimento crítico para as plantas pode acionar temporariamente as defesas diretas e indiretas, minimizando perdas econômicas (STOUT; ZEHNDER; BAUR, 2002).

O café é uma cultura de grande importância econômica (HEIN; GATZWEILER, 2006) e uma das mais valiosas no mercado internacional agrícola, sendo a variedade arábica uma das mais consumidas (LABOUISSSE et al., 2008). A aplicação de AS em *C. arabica* se mostrou efetiva para induzir resistência contra um fungo fitopatogênico (ALEMU et al.,

2019), mas ainda não foi estudado com relação à resistência contra herbívoros. Um dos herbívoros que causam danos ao café é o ácaro-vermelho-do-cafeeiro *Oligonychus ilicis* McGregor, 1917 (Acari:Tetranychidae), cuja a sucção do conteúdo celular causa a morte de células epidérmicas e do mesófilo, reduzindo assim a capacidade fotossintética da planta (REIS; ALVES; SOUSA, 1997; FRANCO et al., 2009a). Considerando essa lacuna na literatura e visando expandir as possibilidades de manejo integrado de pragas no cafeeiro, nós investigamos o efeito da exposição direta e indireta de plantas de *C. arabica* ao MeSA e MeJA contra o ácaro-vermelho-do-cafeeiro *O. ilicis*. Nossa hipótese é de que ambos os derivados de fitormônios sejam indutores de defesa em plantas de café contra o *O. ilicis*, independente do tratamento ser via líquida ou aérea. Para testar essa hipótese, nós realizamos ensaios comportamentais de desempenho e seleção hospedeira do ácaro, em laboratório, com plantas de café tratadas por exposição via aérea ou aplicação direta ao MeSA ou MeJA.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 O sistema de estudo**

Plantamos e cultivamos as sementes do café em casas de vegetação do Departamento de Entomologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), sob condições naturais de temperatura e luminosidade. Para o plantio, utilizamos sacos de polietileno perfurados (14 x 18cm) contendo uma mistura de solo, substrato comercial (TropStrato HT, Vida Verde, Mogi Mirim, SP, Brasil) e areia, em uma proporção de 2:1:1, respectivamente. Irrigamos as plantas diariamente e adubamos semanalmente intercalando macro e micronutrientes foliares e nitrato de amônia aplicado no solo até a condução dos ensaios comportamentais, realizados em plantas com idade entre 6 e 10 meses, distribuídas em dois lotes. A criação de *Oligonychus ilicis* foi estabelecida a partir de indivíduos adultos coletados em folhas de café orgânico na cidade de Lavras, MG, Brasil. Após a coleta, a criação foi mantida em folhas de café sem adição de produtos fitossanitários, coletadas e trocadas semanalmente, sobrepostas em espuma umidificada diariamente, em placas de Petri de 15cm diâmetro (REIS; ALVES; SOUSA, 1997).

### **2.2 Exposição aos compostos sintéticos**

Os compostos foram obtidos de Sigma-Aldrich, Brasil e a exposição das plantas aos compostos sintéticos ocorreu de forma direta e indireta. Para exposição direta das plantas ao jasmonato de metila (MeJA), preparamos uma solução com 500ml de água destilada, 250 $\mu$ l do solvente acetona e 170 $\mu$ l de MeJA (1,5mM). Para a exposição direta ao salicilato de metila (MeSA), utilizamos uma solução com 500ml de água destilada, 250 $\mu$ l do solvente acetona e 97 $\mu$ l de MeSA (1,5mM). Para o controle de ambos os tratamentos, utilizamos uma solução com 500ml de água destilada e 250 $\mu$ l do solvente acetona (ROHWER; ERWIN, 2010). Após a aplicação das soluções nas plantas com borrifadores, aguardamos 48h para início dos experimentos comportamentais de seleção hospedeira e desempenho dos ácaros. A exposição indireta das plantas aos compostos sintéticos ocorreu por meio de um liberador constituído por um frasco contendo lã de vidro, septo de borracha para vedação e um capilar para permitir a volatilização dos compostos (MÉREY et al., 2011). Para garantir a esterilidade do composto, lavamos 100mg de lã de vidro com o solvente acetato de etila e secamos em estufa a 200°C por 4 horas. Após a montagem do liberador, vedamos o grupo controle somente com o solvente e nos tratamentos com os compostos sintéticos adicionamos 200 $\mu$ L de MeSA ou MeJA antes da vedação do frasco. Posicionamos o liberador na base das plantas e cobrimos com tecido voil, onde permaneceu por 7 dias até o início dos ensaios comportamentais (Figura 1).

### **2.3 Ensaios comportamentais**

Para avaliar a influência da exposição direta e indireta aos compostos sintéticos nas defesas das plantas contra o ácaro herbívoro *O. ilicis*, realizamos ensaios de seleção hospedeira e desempenho em arenas. No ensaio de seleção hospedeira avaliamos a escolha do *O. ilicis* frente as plantas dos tratamentos com os compostos sintéticos e seus respectivos controles. Ao todo, foram 4 tratamentos com 24 plantas cada e 12 repetições com delineamento em blocos casualizados (DBC), totalizando 96 plantas. Conectamos as plantas de cada tratamento através de uma das folhas do terço médio por uma estrutura de madeira em forma de T, que estava em contato com uma placa de Petri com 9 cm de diâmetro onde foram distribuídas 20 fêmeas adultas do ácaro. Avaliamos a quantidade de fêmeas em cada folha em 1, 2, 4, e 8 horas após a liberação nas placas, com auxílio de uma lupa de bolso. Após 24h, destacamos as folhas para contagem das fêmeas adultas em estereomicroscópio (Figura 2).

Para avaliar o desempenho dos ácaros em número de ovos por fêmeas, utilizamos 24 plantas em cada um dos 4 tratamentos e 12 repetições com delineamento em blocos

casualizados (DBC), totalizando 96 plantas. Selecionamos folhas equivalentes das plantas de cada tratamento para delimitar 3 arenas correspondentes nos terços superior, médio e inferior. Utilizamos uma mistura de cola entomológica e lanolina (1:1), para formar as arenas onde liberamos 6 fêmeas adultas com idade de 2 a 3 dias (Figura 3). Nos intervalos de 24h, 48h e 72h após a liberação, avaliamos o número de ovos e fêmeas vivas com auxílio de uma lupa de bolso. Com 96h após a liberação, as folhas foram destacadas para avaliação do número de ovos por fêmeas em estereomicroscópio.

## 2.4 Análise dos dados

Os dados do ensaio do número de ovos foram analisados por meio de modelos mistos generalizados de efeito misto (GLMM), apresentando distribuição *Gamma*, onde o número de ovos por fêmeas foi incluído como variável resposta, os tratamentos como variável explicativa, considerando a interação com o dia e as plantas e as arenas como variáveis aleatórias. A seleção de plantas hospedeiras foi analisada através de GLMM com distribuição *Poisson* dos dados, considerando o número de fêmeas por plantas como variável resposta, os tratamentos e sua interação com o tempo de avaliação como variável explicativa e o tempo e os blocos como variáveis aleatórias. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o software R versão 4.1.2 (R CORE TEAM, 2021).

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Escolha hospedeira e desempenho de *O. ilicis* em plantas tratadas com MeJA

Em ensaios com duas chances de escolha, nos quais o ácaro *O. ilicis* foi exposto simultaneamente a plantas de café tratadas indiretamente (via aérea) com MeJA e não tratadas (controle), o número de fêmeas não diferiu significativamente nos dois tratamentos ao longo do tempo, até completar 8h de ensaio (Tratamento;  $X^2 = 0,09$ ; g.l. = 1;  $p = 0,762$ ; Tempo:  $X^2 = 50,88$ ; g.l. = 1;  $p < 0,001$ ) (Figura 4). Após 24h, foram encontradas médias similares de número de fêmeas de *O. ilicis* na planta tratada com MeJA via aérea e planta não tratada (nº de fêmeas (média±IC) MeJA: 8,75; 11,11±6,39; Controle: 10,51; 12,09±6,48). De modo similar, o tratamento de aplicação direta de MeJA na planta de café não alterou a escolha hospedeira de *O. ilicis* (Figura 5). As médias de fêmeas do ácaro em plantas tratadas diretamente com MeJA foi similar àquelas nas plantas não tratadas ao longo do tempo



(Tratamento;  $X^2 = 0,10$ ; g.l. = 1;  $p = 0,748$ ; Tempo;  $X^2 = 45,75$ ; g.l. = 1;  $p < 0,001$ ), assim como a média de total de fêmeas após 24h (nº de fêmeas (média±IC) MeJA: 8,25; 10,72±5,78; Controle: 9,00, 11,25±6,75).

A avaliação do desempenho de *O. ilicis*, medido em termos de número de ovos ao longo de quatro dias, em plantas de café tratadas com exposição via aérea de MeJA, não diferiu significativamente das plantas do grupo controle ao longo do tempo (tratamento:  $X^2 = 0,04$ ; g.l. = 1;  $p = 0,839$ ; tempo:  $X^2 = 2,04$ ; g.l. = 1;  $p = 0,153$ ) (Figura 6). Após a avaliação no quarto dia, o número médio de ovos foi semelhante nos dois tratamentos (nº de ovos (média±IC) MeJA: 8,22; 10,07±6,36; Controle: 8,00; 10,24±5,76). De maneira similar, em plantas expostas diretamente ao MeJA, via aplicação foliar, o número de ovos depositado por fêmeas não diferiu significativamente do controle (Tratamento;  $X^2 = 0,01$ ; g.l. = 1,  $p = 0,943$ ; Tempo;  $X^2 = 12,20$ ; g.l. = 1;  $p < 0,001$ ) (Figura 7). Após a avaliação no quarto dia, o número médio de ovos foi semelhante nos dois tratamentos (nº de ovos (média±IC) MeJA: 10,40; 12,29±8,50; Controle: 10,38; 12,09±8,66).

### 3.2 Escolha hospedeira e desempenho de *O. ilicis* em plantas tratadas com MeSA

Em plantas de café tratadas indiretamente (via aérea) com MeSA e não tratadas (controle), nos ensaios de dupla escolha com o ácaro *O. ilicis*, foi encontrado um número similar de fêmeas nas plantas dos dois tratamentos ao longo do tempo, até completar 8h de ensaio (Tratamento;  $X^2 = 3,30$ ; g.l. = 1;  $p = 0,068$ ; Tempo;  $X^2 = 26,83$ ; g.l. = 1;  $p < 0,001$ ) (Figura 8). Após 24h, foram encontradas médias similares de número de fêmeas de *O. ilicis* na planta tratada com MeSA via aérea e planta não tratada (nº de fêmeas (média±IC) MeSA: 7,17; 9,89± 4,45; Controle: 7,67;10,15± 5,18). O tratamento de aplicação direta de MeSA na planta de café resultou em maior escolha do ácaro *O. ilicis* (Figura 9), apresentando uma média de fêmeas maior do que plantas não tratadas ao longo do tempo (Tratamento;  $X^2 = 3,95$ ; g.l. = 1;  $p = 0,046$ , Tempo;  $X^2 = 63,65$ ; g.l. = 1;  $p < 0,001$ ), assim como a média do total de fêmeas após 24h (nº de fêmeas (média±IC) MeSA: 8,41; 10,64± 6,19; Controle: 7,41; 9,70±5,13).

A avaliação do desempenho de *O. ilicis*, medido em termos de número de ovos ao longo de quatro dias, em plantas de café tratadas com exposição via aérea de MeSA, não diferiu significativamente das plantas do grupo controle ao longo do tempo (Tratamento;  $X^2 = 0,15$ ; g.l. = 1;  $p = 0,702$ , Tempo;  $X^2 = 333,85$ ; g.l. = 1,  $p < 0,001$ ) (Figura 10). Após a avaliação no quarto dia, o número médio de ovos foi semelhante nos dois tratamentos (nº de

ovos (média±IC) MeSA: 13,19; 14,69±11,70; Controle: 13,72; 12,22±15,22). De maneira similar, em plantas expostas diretamente ao MeSA, via aplicação foliar, o número de ovos depositado por fêmeas não diferiu significativamente do controle (Tratamento;  $X^2 = 0,01$ ; g.l. = 1;  $p = 0,944$ ; Tempo;  $X^2 = 110,86$ ; g.l. = 1,  $p < 0,001$ ) (Figura 11). Após a avaliação no quarto dia, o número médio de ovos foi semelhante nos dois tratamentos (nº de ovos (média±IC) MeSA: 9,7; 11,82±7,32; Controle: 9,42; 7,33±11,52).

#### 4 DISCUSSÃO

Os efeitos da aplicação direta de AJ e AS, ou seus derivados, são bem conhecidos na indução de resistência contra herbívoros em plantas de ciclo anual que, teoricamente, são menos defendidas do que plantas perenes, devido à alocação de recursos energéticos para crescimento rápido e reprodução (MUTIKAINEN; WALLS, 1995). Além disso, pouco se sabe sobre a exposição aérea de plantas aos derivados de fitormônios na interação planta-herbívoro. Neste estudo nós avaliamos o potencial do MeJA e MeSA como indutores de resistência contra o ácaro herbívoro *O. ilicis* em plantas de café *C. arabica*. Os nossos experimentos comportamentais demonstraram que o MeJA não promoveu a resistência nas plantas de café contra o ácaro herbívoro em ambas as formas de exposição, direta ou via volátil. Embora o MeSA, quando aplicado de forma direta na planta, tenha atraído maior número de fêmeas do ácaro herbívoro, a exposição volátil ao composto não proporcionou o mesmo efeito. Assim, os efeitos observados mostraram uma ausência de efeito sobre a indução de resistência pelos compostos MeJA e MeSA no café contra o ácaro *O. ilicis*.

Nós verificamos que o MeJA não promoveu resistência das plantas de café contra a herbivoria do ácaro. Esse resultado foi inesperado de acordo com a vasta literatura sobre o papel do AJ na indução de defesas contra herbívoros e a indução da via do AJ pela aplicação direta do MeJA nas plantas (STOUT; ZEHNDER; BAUR, 2002; EL-WAKEIL; VOLKMAR, 2012; SANCHES et al., 2017). De maneira semelhante, no eucalipto, uma planta perene como o café, a aplicação do MeJA de forma exógena por meio direto e por vaporização, não induziu resistência contra as larvas do herbívoro especialista *Paropsis atomaria* Olivier (Coleoptera: Chrysomelidae) em mudas de 15 meses de idades (HENERY et al., 2008). A indução rápida de algumas defesas pode ocorrer em apenas algumas fases do desenvolvimento das plantas (QUINTERO; BOWERS, 2011). O potencial de indução de resistência pelos elicitores se torna mais baixo conforme a planta envelhece, devido a maior suscetibilidade a herbívoros apresentada em alguns pontos do desenvolvimento (STOUT; ZEHNDER; BAUR, 2002).

Apesar deste experimento ser realizado com mudas de café com poucos meses de idade, não é clara a fase do desenvolvimento em que as defesas induzidas seriam mais frequentes em *C. arabica*.

É possível que a concentração usada não tenha sido suficiente para induzir a ativação da rota do AJ. Em outras culturas anuais, também é relatada a falta de efeito na resistência em determinadas concentrações. No arroz, dosagens de 2,5 e 5mM de AJ foram utilizadas para indução de resistência contra o gafanhoto *Nilaparvata lugens* (Stål) (BPH) (Hemiptera: Delphacidae). Apenas a maior concentração foi capaz de reduzir significativamente a longevidade e a eclosão dos ovos (SENTHIL-NATHAN et al., 2009). Futuros estudos, podem avaliar concentrações de elicitores na indução de defesas em *C. arabica*, mas o custo gerado para as plantas também carece de aprofundamento. Aplicações sequenciais de AJ na concentração de 10mM, provocaram a redução do número de frutos e sementes em plantas de tomate, além de um atraso do amadurecimento dos frutos (REDMAN; CIPOLLINI; SCHULTZ, 2001). O tratamento de sementes de tomate com MeJA provoca indução de defesas que promovem uma redução do crescimento de larvas de *Helicoverpa zea*, porém, em altas concentrações, a indução com o MeJA gera perdas no *fitness* das plantas ao ocasionar alterações na germinação e outros fatores fisiológicos (PAUDEL; RAJOTTE; FELTON, 2014). A concentração utilizada no nosso estudo levou em consideração a literatura e os efeitos negativos sobre características reprodutivas sob concentrações altas de MeJA ou AJ.

Surpreendentemente, a exposição direta das plantas ao MeSA promoveu atração e não repelência de *O. ilicis*. Esse efeito pode ser observado devido à indução de uma mistura diferencial de voláteis na planta tratada com MeSA, ou da liberação do próprio MeSA pela planta tratada. A atração de ácaros herbívoros ao MeSA não é bem conhecida na literatura, mas há uma sugestão de que o ácaro *T. urticae* é atraído por MeSA (RODRIGUEZ; KEMP; DABROWSKI, 1976). Além disso, um possível *cross-talk* negativo, ou seja, um antagonismo na ativação das vias do AJ e do AS pode ter induzido a suscetibilidade da planta de café tratada com MeSA ao ácaro, assim como em outros sistemas envolvendo ácaros herbívoros, sendo um indicativo de níveis menores de AJ (SZCZEPANIEC et al., 2013; AGUT et al., 2015; ARENA et al., 2018). Um estudo conduzido por Rowen e colaboradores (2017) demonstrou que embora o trips evitasse colonizar plantas de tomate injuriadas previamente, esse efeito de indução de defesas e repelência não foi observado em plantas pré-expostas ao MeSA, sugerindo que apesar do uso da substância em armadilhas serem efetivas contra patógenos e atrair inimigos naturais, podem ocorrer diferentes respostas para os herbívoros.

O efeito atrativo do tratamento com MeSA em plantas de café, conforme observado no nosso estudo, pode ser variável de acordo com a concentração do composto. Por exemplo, plantas de cevada expostas ao MeSA tiveram o perfil de químicos voláteis alterado, mas os ensaios comportamentais com o afídeo *Rhopalosiphum padi* L. (Hemiptera: Aphididae) apresentaram resultados variáveis de acordo com a dosagem do composto em que a planta era exposta, onde o herbívoro era repellido por dosagens mais baixas e não apresentava preferência por plantas expostas a dosagens altas do composto (NINKOVIC et al., 2021). Assim, sugerimos que futuros estudos avaliem se diferentes dosagens do MeSA promovem efeito atrativo ou de repelência nas ao açúcar nas plantas de café.

## 5 CONCLUSÃO

Embora os derivados de fitormônios não tenham induzido resistência em *C. arabica*, o experimento demonstrou que concentrações amplamente utilizadas na literatura como elicitores de defesas podem apresentar um efeito diferente de acordo com a espécie de planta e herbívoro envolvidos. Além disso, a atração promovida pelo MeSA ao açúcar herbívoro reforça a atenção ao adotar medidas aplicadas ao manejo de pragas agrícolas, considerando que uma técnica pode apresentar efeito oposto ao intencionado. Alguns fatores podem ser investigados em futuros estudos a partir dos resultados expostos, como concentrações e outros tempos de exposição aos derivados de fitormônios no café. Nosso estudo contribui para uma melhor compreensão sobre a atuação exógena dos derivados de fitormônios nas defesas de plantas bem como seu papel na modulação das interações artrópode-planta.

## REFERÊNCIAS

- AGUT, B.; GAMIR, J.; JAQUES, J. A.; FLORS, V. *Tetranychus urticae* -triggered responses promote genotype-dependent conspecific repellence or attractiveness in citrus. **New Phytologist**, v. 207, n. 3, p. 790–804, 13 ago. 2015. doi: 10.1111/nph.13357.
- ALEMU, K.; ADUGNA, G.; LEMESSA, F.; MULETA, D. Induction of systemic resistance in Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) against coffee berry disease (*Colletotrichum kahawae* Waller & Bridge) mediated through plant defense activator. **International Journal of Pest Management**, v. 65, n. 4, p. 313–323, 2 out. 2019. doi: 10.1080/09670874.2018.1506190.
- ALI, M. S.; BAEK, K.-H. Jasmonic Acid Signaling Pathway in Response to Abiotic Stresses in Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 2, p. 621, 17 jan. 2020. doi: 10.3390/ijms21020621.
- ARENA, G. D.; RAMOS-GONZÁLEZ, P. L.; ROGERIO, L. A.; RIBEIRO-ALVES, M.; CASTEEL, C. L.; FREITAS-ASTÚA, J.; MACHADO, M. A. Making a Better Home: Modulation of Plant Defensive Response by *Brevipalpus Mites*. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 15 ago. 2018. doi: 10.3389/fpls.2018.01147.
- BALDWIN, I. T. Volatile Signaling in Plant-Plant Interactions: “Talking Trees” in the Genomics Era. **Science**, v. 311, n. 5762, p. 812–815, 10 fev. 2006. doi: 10.1126/science.1118446.
- CHEN, M.-S. Inducible direct plant defense against insect herbivores: A review. **Insect Science**, v. 15, n. 2, p. 101–114, abr. 2008. doi: 10.1111/j.1744-7917.2008.00190.x.
- CHEONG, J.-J.; CHOI, Y. Do. Methyl jasmonate as a vital substance in plants. **Trends in Genetics**, v. 19, n. 7, p. 409–413, jul. 2003. doi: 10.1016/S0168-9525(03)00138-0.
- COPPOLA, V.; COPPOLA, M.; ROCCO, M.; DIGILIO, M.; D’AMBROSIO, C.; RENZONE, G.; MARTINELLI, R.; SCALONI, A.; PENNACCHIO, F.; RAO, R.; CORRADO, G. Transcriptomic and proteomic analysis of a compatible tomato-aphid interaction reveals a predominant salicylic acid-dependent plant response. **BMC Genomics**, v. 14, n. 1, p. 515, 2013. doi: 10.1186/1471-2164-14-515.
- DICKE, M.; TAKABAYASHI, J.; POSTHUMUS, M. A.; SCHÜTTE, C.; KRIPS, O. E. Plant—Phytophagid Interactions Mediated by Herbivore-Induced Plant Volatiles: Variation in Production of Cues and in Responses of Predatory Mites. **Experimental & Applied Acarology**, v. 22, n. 6, p. 311–333, 1998. doi: 10.1023/A:1024528507803.
- EL-WAKEIL, N. E.; VOLKMAR, C. Effect of Jasmonic Application on Economically Insect Pests and Yield in Spring Wheat. **Gesunde Pflanzen**, v. 64, n. 3, p. 107–116, 22 set. 2012. doi: 10.1007/s10343-012-0278-x.
- ERB, M.; MELDAU, S.; HOWE, G. A. Role of phytohormones in insect-specific plant reactions. **Trends in Plant Science**, v. 17, n. 5, p. 250–259, maio 2012. doi: 10.1016/j.tplants.2012.01.003.
- ERB, M.; VEYRAT, N.; ROBERT, C. A. M.; XU, H.; FREY, M.; TON, J.; TURLINGS, T. C. J. Indole is an essential herbivore-induced volatile priming signal in maize. **Nature Communications**, v. 6, n. 1, p. 6273, 16 maio 2015. doi: 10.1038/ncomms7273.
- FARMER, E. E.; RYAN, C. A. Interplant communication: airborne methyl jasmonate induces

synthesis of proteinase inhibitors in plant leaves. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 87, n. 19, p. 7713–7716, 1 out. 1990. doi: 10.1073/pnas.87.19.7713.

FAVARO, R.; RESENDE, J. T. V.; GABRIEL, A.; ZEIST, A. R.; CORDEIRO, E. C. N.; FAVARO JÚNIOR, J. L. Salicylic acid: resistance inducer to two-spotted spider mite in strawberry crop. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 60–64, mar. 2019. doi: 10.1590/s0102-053620190109.

FRANCO, R. A.; REIS, P. R.; ZACARIAS, M. S.; ALTOÉ, B. F.; BARBOSA, J. P. R. A. D. Influência da infestação de *Oligonychus ilicis* (Mcgregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) sobre a taxa de fotossíntese potencial de folhas de cafeeiro. **Arq. Inst. Biol., São Paulo**, v. v.76, n. n.2, p. p.205-210, 2009.

FROST, C. J.; MESCHER, M. C.; CARLSON, J. E.; DE MORAES, C. M. Plant Defense Priming against Herbivores: Getting Ready for a Different Battle: Figure 1. **Plant Physiology**, v. 146, n. 3, p. 818–824, mar. 2008. doi: 10.1104/pp.107.113027.

HEIN, L.; GATZWEILER, F. The economic value of coffee (*Coffea arabica*) genetic resources. **Ecological Economics**, v. 60, n. 1, p. 176–185, nov. 2006. doi: 10.1016/j.ecolecon.2005.11.022.

HENERY, M. L.; WALLIS, I. R.; STONE, C.; FOLEY, W. J. Methyl jasmonate does not induce changes in *Eucalyptus grandis* leaves that alter the effect of constitutive defences on larvae of a specialist herbivore. **Oecologia**, v. 156, n. 4, p. 847–859, 15 jul. 2008. doi: 10.1007/s00442-008-1042-x.

HILKER, M.; MEINERS, T. Early Herbivore Alert: Insect Eggs Induce Plant Defense. **Journal of Chemical Ecology**, v. 32, n. 7, p. 1379–1397, 23 jul. 2006. doi: 10.1007/s10886-006-9057-4.

HOMAYOONZADEH, M.; MOEINI, P.; TALEBI, K.; ALLAHYARI, H.; TORABI, E.; MICHAUD, J. P. Physiological responses of plants and mites to salicylic acid improve the efficacy of spiroadiclofen for controlling *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on greenhouse tomatoes. **Experimental and Applied Acarology**, v. 82, n. 3, p. 319–333, 17 nov. 2020. doi: 10.1007/s10493-020-00559-2.

ITO, K.; SAKAI, S. Optimal defense strategy against herbivory in plants: Conditions selecting for induced defense, constitutive defense, and no-defense. **Journal of Theoretical Biology**, v. 260, n. 3, p. 453–459, out. 2009. doi: 10.1016/j.jtbi.2009.07.002.

KALAIIVANI, K.; KALAISELVI, M. M.; SENTHIL-NATHAN, S. Effect of Methyl Salicylate (MeSA) induced changes in rice plant (*Oryza sativa*) that affect growth and development of the rice leafhopper, *Cnaphalocrocis medinalis*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 101, p. 116–126, jan. 2018. doi: 10.1016/j.pmpp.2017.07.001.

KARBAN, R.; YANG, L. H.; EDWARDS, K. F. Volatile communication between plants that affects herbivory: a meta-analysis. **Ecology Letters**, v. 17, n. 1, p. 44–52, jan. 2014. doi: 10.1111/ele.12205.

KESSLER, A.; HALITSCHKE, R. Specificity and complexity: the impact of herbivore-induced plant responses on arthropod community structure. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 10, n. 4, p. 409–414, ago. 2007. doi: 10.1016/j.pbi.2007.06.001.

KIM, J.; CHANG, C.; TUCKER, M. L. To grow old: regulatory role of ethylene and jasmonic acid in senescence. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, 29 jan. 2015. doi:

10.3389/fpls.2015.00020.

KUMAR, D. Salicylic acid signaling in disease resistance. **Plant Science**, v. 228, p. 127–134, nov. 2014. doi: 10.1016/j.plantsci.2014.04.014.

LABOUISSSE, J.-P.; BELLACHEW, B.; KOTTECHA, S.; BERTRAND, B. Current status of coffee (*Coffea arabica* L.) genetic resources in Ethiopia: implications for conservation. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 55, n. 7, p. 1079–1093, 29 nov. 2008. doi: 10.1007/s10722-008-9361-7.

MCCLOUD, E. S.; BALDWIN, I. T. Herbivory and caterpillar regurgitants amplify the wound-induced increases in jasmonic acid but not nicotine in *Nicotiana sylvestris*. **Planta**, v. 203, n. 4, p. 430–435, 20 nov. 1997. doi: 10.1007/s004250050210.

MÉREY, G. von; VEYRAT, N.; MAHUKU, G.; VALDEZ, R. L.; TURLINGS, T. C. J.; D'ALESSANDRO, M. Dispensing synthetic green leaf volatiles in maize fields increases the release of sesquiterpenes by the plants, but has little effect on the attraction of pest and beneficial insects. **Phytochemistry**, v. 72, n. 14–15, p. 1838–1847, out. 2011. doi: 10.1016/j.phytochem.2011.04.022.

MUTIKAINEN, P.; WALLS, M. Growth, reproduction and defence in nettles: responses to herbivory modified by competition and fertilization. **Oecologia**, v. 104, n. 4, p. 487–495, 1995.

NINKOVIC, V.; GLINWOOD, R.; ÜNLÜ, A. G.; GANJI, S.; UNELIUS, C. R. Effects of Methyl Salicylate on Host Plant Acceptance and Feeding by the Aphid *Rhopalosiphum padi*. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 13 ago. 2021. doi: 10.3389/fpls.2021.710268.

NINKOVIC, V.; MARKOVIC, D.; RENSING, M. Plant volatiles as cues and signals in plant communication. **Plant, Cell & Environment**, v. 44, n. 4, p. 1030–1043, 26 abr. 2021. doi: 10.1111/pce.13910.

OZAWA, R.; ARIMURA, G. -i.; TAKABAYASHI, J.; SHIMODA, T.; NISHIOKA, T. Involvement of Jasmonate- and Salicylate-Related Signaling Pathways for the Production of Specific Herbivore-Induced Volatiles in Plants. **Plant and Cell Physiology**, v. 41, n. 4, p. 391–398, 1 abr. 2000. doi: 10.1093/pcp/41.4.391.

PAUDEL, S.; RAJOTTE, E. G.; FELTON, G. W. Benefits and costs of tomato seed treatment with plant defense elicitors for insect resistance. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 8, n. 6, p. 539–545, 21 dez. 2014. doi: 10.1007/s11829-014-9335-y.

PÉREZ-HEDO, M.; ALONSO-VALIENTE, M.; VACAS, S.; GALLEGO, C.; PONS, C.; ARBONA, V.; RAMBLA, J. L.; NAVARRO-LLOPIS, V.; GRANELL, A.; URBANEJA, A. Plant exposure to herbivore-induced plant volatiles: a sustainable approach through eliciting plant defenses. **Journal of Pest Science**, v. 94, n. 4, p. 1221–1235, 25 set. 2021. doi: 10.1007/s10340-021-01334-x.

QUINTERO, C.; BOWERS, M. D. Plant Induced Defenses Depend More on Plant Age than Previous History of Damage: Implications for Plant-Herbivore Interactions. **Journal of Chemical Ecology**, v. 37, n. 9, p. 992–1001, 20 set. 2011. doi: 10.1007/s10886-011-0007-4.

REDMAN, A. M.; CIPOLLINI, D. F.; SCHULTZ, J. C. Fitness costs of jasmonic acid-induced defense in tomato, *Lycopersicon esculentum*. **Oecologia**, v. 126, n. 3, p. 380–385, 1 fev. 2001. doi: 10.1007/s004420000522.

REIS, P. R.; ALVES, E. B.; SOUSA, E. O. Biologia do ácaro-vermelho do cafeeiro,

Oligonychus ilicis (McGREGOR, 1917). **Ciência e Agrotecnologia**, v. v.21, n. n.3, p. p.260-266, 1997, 1997.

RIAHI, C.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, J.; ALONSO-VALIENTE, M.; URBANEJA, A.; PÉREZ-HEDO, M. Eliciting Plant Defenses Through Herbivore-Induced Plant Volatiles' Exposure in Sweet Peppers. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 9, 4 jan. 2022. doi: 10.3389/fevo.2021.776827.

RODRIGUEZ, J. G.; KEMP, T. R.; DABROWSKI, Z. T. Behavior of *Tetranychus urticae* toward essential oil mixtures from strawberry foliage. **Journal of Chemical Ecology**, v. 2, n. 2, p. 221–230, 1976. doi: 10.1007/BF00987745.

ROHWER, C. L.; ERWIN, J. E. Spider mites (*Tetranychus urticae*) perform poorly on and disperse from plants exposed to methyl jasmonate. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 137, n. 2, p. 143–152, nov. 2010. doi: 10.1111/j.1570-7458.2010.01043.x.

ROWEN, E.; GUTENSOHN, M.; DUDAREVA, N.; KAPLAN, I. Carnivore Attractant or Plant Elicitor? Multifunctional Roles of Methyl Salicylate Lures in Tomato Defense. **Journal of Chemical Ecology**, v. 43, n. 6, p. 573–585, 9 jun. 2017. doi: 10.1007/s10886-017-0856-6.

RUAN, J.; ZHOU, Y.; ZHOU, M.; YAN, J.; KHURSHID, M.; WENG, W.; CHENG, J.; ZHANG, K. Jasmonic Acid Signaling Pathway in Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 10, p. 2479, 20 maio 2019. doi: 10.3390/ijms20102479.

SANCHES, P. A.; SANTOS, F.; PEÑAFLORES, M. F. G. V.; BENTO, J. M. S. Direct and indirect resistance of sugarcane to *Diatraea saccharalis* induced by jasmonic acid. **Bulletin of Entomological Research**, v. 107, n. 6, p. 828–838, 24 dez. 2017. doi: 10.1017/S0007485317000372.

SCHWEIGER, R.; HEISE, A.-M.; PERSICKE, M.; MÜLLER, C. Interactions between the jasmonic and salicylic acid pathway modulate the plant metabolome and affect herbivores of different feeding types. **Plant, Cell & Environment**, v. 37, n. 7, p. 1574–1585, jul. 2014. doi: 10.1111/pce.12257.

SENTHIL-NATHAN, S.; KALAIVANI, K.; CHOI, M.-Y.; PAIK, C.-H. Effects of jasmonic acid-induced resistance in rice on the plant brownhopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 95, n. 2, p. 77–84, out. 2009. doi: 10.1016/j.pestbp.2009.07.001.

SHIMODA, T.; OZAWA, R.; ARIMURA, G.; TAKABAYASHI, J.; NISHIOKA, T. Olfactory responses of two specialist insect predators of spider mites toward plant volatiles from lima bean leaves induced by jasmonic acid and/or methyl salicylate. **Applied Entomology and Zoology**, v. 37, n. 4, p. 535–541, 2002. doi: 10.1303/aez.2002.535.

SHIMODA, T.; OZAWA, R.; SANO, K.; YANO, E.; TAKABAYASHI, J. The Involvement of Volatile Infochemicals from Spider Mites and from Food-Plants in Prey Location of the Generalist Predatory Mite *Neoseiulus californicus*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 31, n. 9, p. 2019–2032, 17 set. 2005. doi: 10.1007/s10886-005-6075-6.

STOUT, M. J.; ZEHNDER, G. W.; BAUR, M. E. Potential for the use of elicitors of plant resistance in arthropod management programs. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**, v. 51, n. 4, p. 222–235, dez. 2002. doi: 10.1002/arch.10066.

STRAPASSON, P.; PINTO-ZEVALLOS, D. M.; PAUDEL, S.; RAJOTTE, E. G.; FELTON, G. W.; ZARBIN, P. H. G. Enhancing Plant Resistance at the Seed Stage: Low Concentrations



of Methyl Jasmonate Reduce the Performance of the Leaf Miner *Tuta absoluta* but do not Alter the Behavior of its Predator *Chrysoperla externa*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 40, n. 10, p. 1090–1098, 16 out. 2014. doi: 10.1007/s10886-014-0503-4.

SZCZEPANIEC, A.; RAUPP, M. J.; PARKER, R. D.; KERNS, D.; EUBANKS, M. D. Neonicotinoid Insecticides Alter Induced Defenses and Increase Susceptibility to Spider Mites in Distantly Related Crop Plants. **PLoS ONE**, v. 8, n. 5, p. e62620, 3 maio 2013. doi: 10.1371/journal.pone.0062620.

WARABIEDA, W. The effect of methyl jasmonate and acibenzolar-S-methyl on the populations of the European red mite ( *Panonychus ulmi* Koch) and *Typhlodromus pyri* Scheut. in apple orchards, as well as on the yield and growth of apple trees. **International Journal of Acarology**, v. 41, n. 2, p. 100–107, 17 fev. 2015. doi: 10.1080/01647954.2015.1016104.

WOODS, J. L.; JAMES, D. G.; LEE, J. C.; GENT, D. H. Evaluation of airborne methyl salicylate for improved conservation biological control of two-spotted spider mite and hop aphid in Oregon hop yards. **Experimental and Applied Acarology**, v. 55, n. 4, p. 401–416, 22 dez. 2011. doi: 10.1007/s10493-011-9495-8.

YU, X.; ZHANG, W.; ZHANG, Y.; ZHANG, X.; LANG, D.; ZHANG, X. The roles of methyl jasmonate to stress in plants. **Functional Plant Biology**, v. 46, n. 3, p. 197, 2019. doi: 10.1071/FP18106.

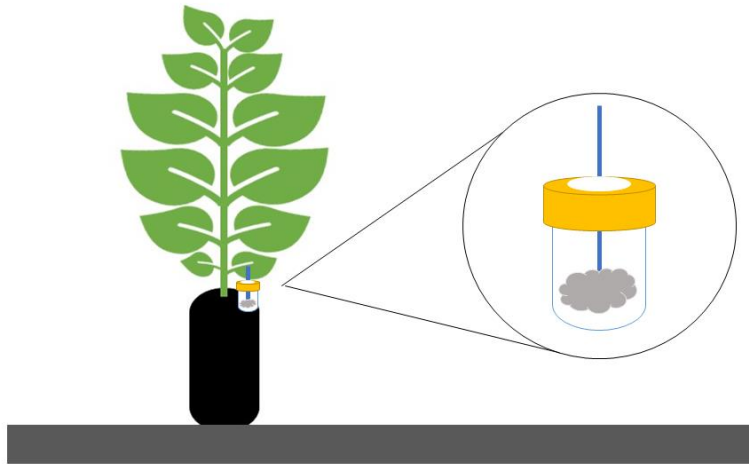
**ILUSTRAÇÕES**

Figura 1: Esquemática do liberador de compostos sintéticos.

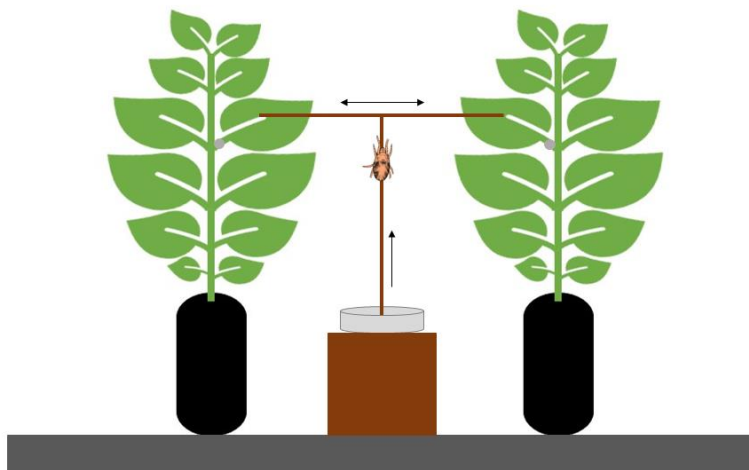


Figura 2: Seleção hospedeira entre plantas expostas aos compostos sintéticos e não expostas.

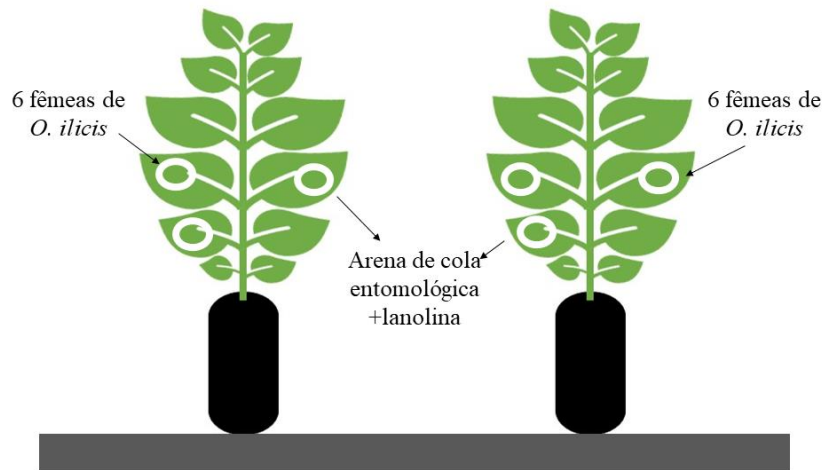


Figura 3: Ensaio de desempenho do ácaro-vermelho-do-cafeeiro em arenas de plantas expostas e não-expostas aos compostos sintéticos.

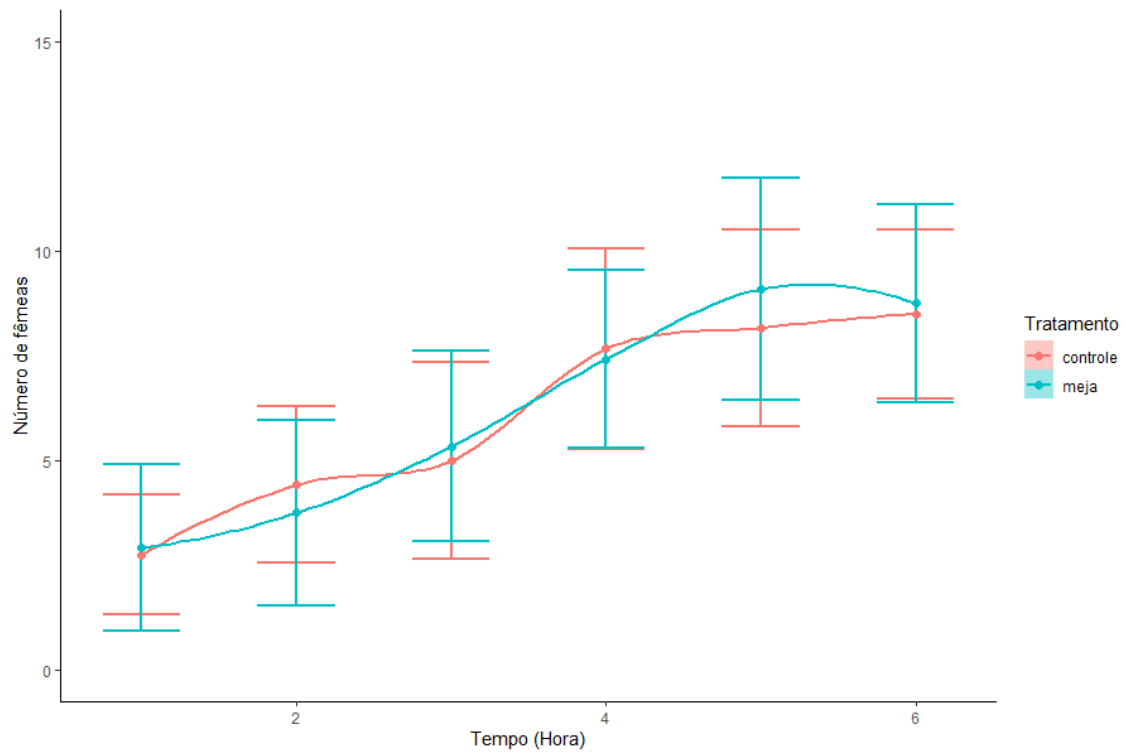


Figura 4: Seleção hospedeira de *Oligonychus ilicis* em plantas tratadas com jasmonato de metila (MeJA) via volátil e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de fêmeas por planta (média  $\pm$  IC) ao longo do tempo.

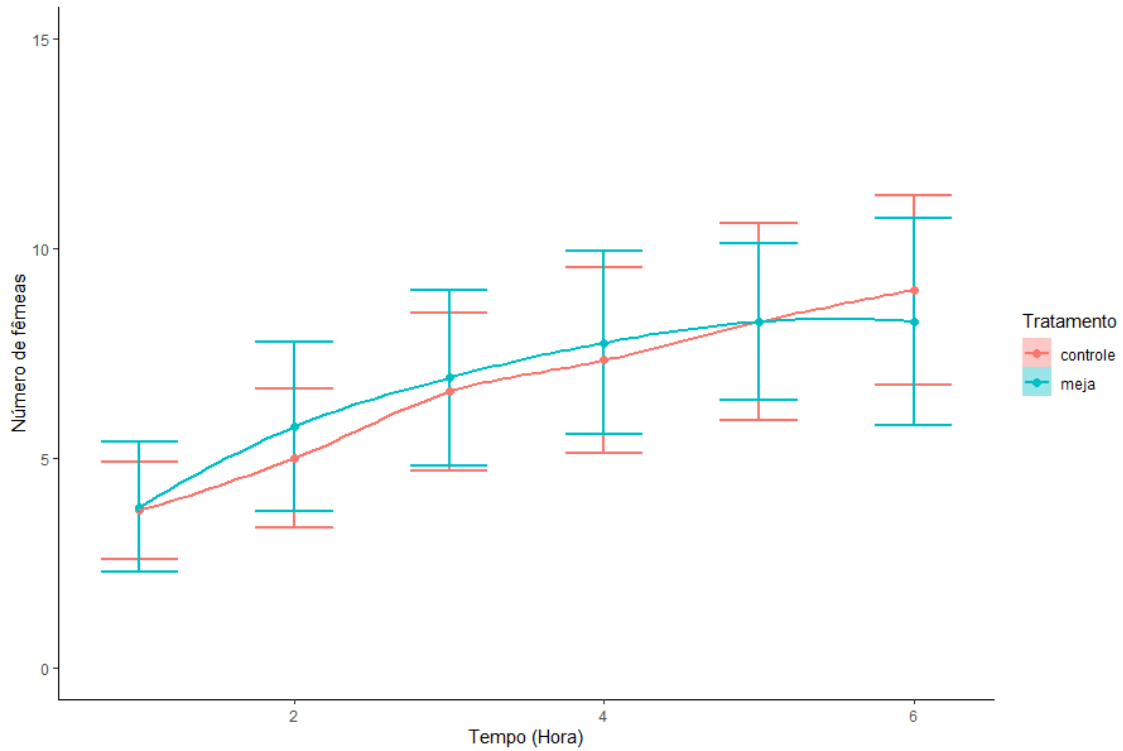


Figura 5: Seleção hospedeira de *Oligonychus ilicis* em plantas tratadas diretamente com jasmonato de metila (MeJA) e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de fêmeas por planta (média ± IC) ao longo do tempo.

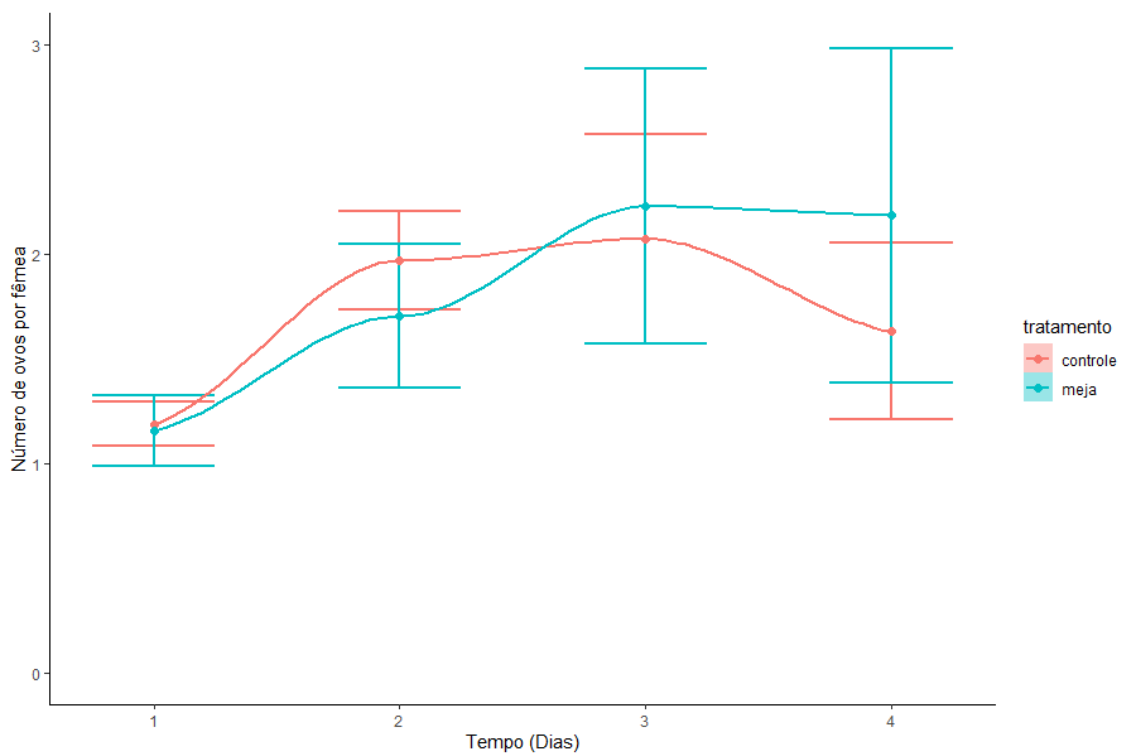


Figura 6: Desempenho de *Oligonychus ilicis* em plantas tratadas com jasmonato de metila (MeJA) via aérea e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de ovos por fêmea (média ± IC) ao longo do tempo.

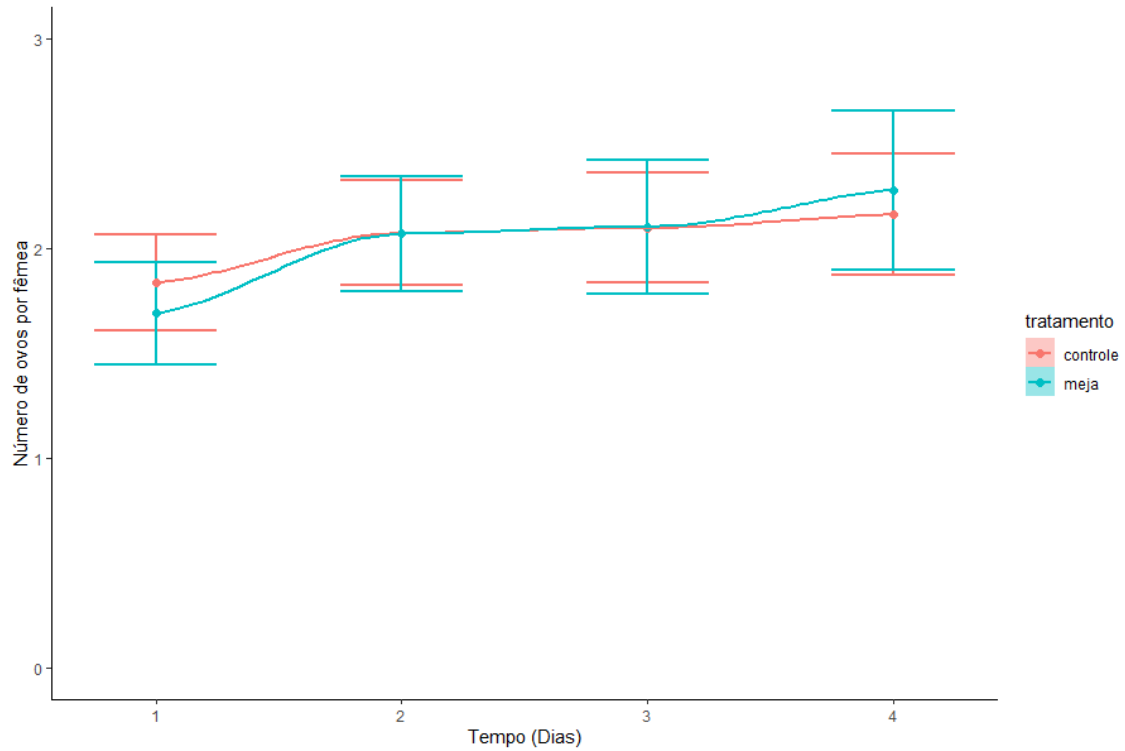


Figura 7: Desempenho de *Oligonychus ilicis* em plantas tratadas diretamente com jasmonato de metila (MeJA) e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de ovos por fêmea (média ± IC) ao longo do tempo.

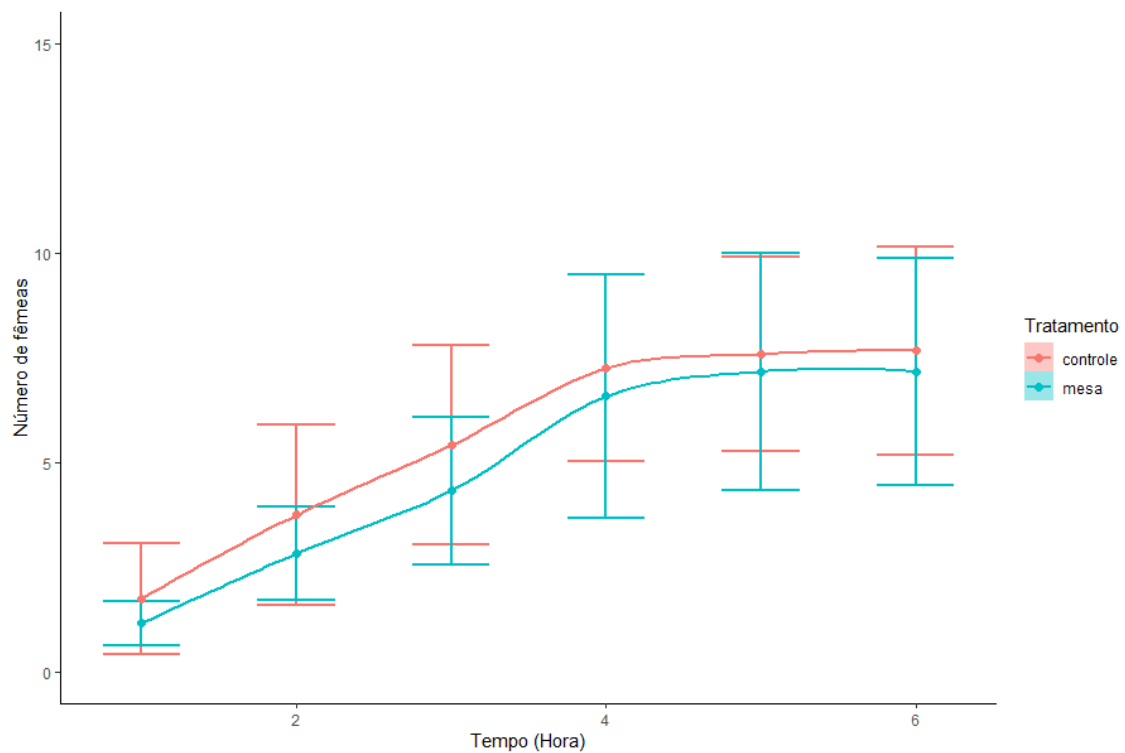


Figura 8: Seleção hospedeira de *Oligonychus ilicis* em plantas tratadas com salicilato de metila (MeSA) via volátil e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de fêmeas por planta (média ± IC) ao longo do tempo.

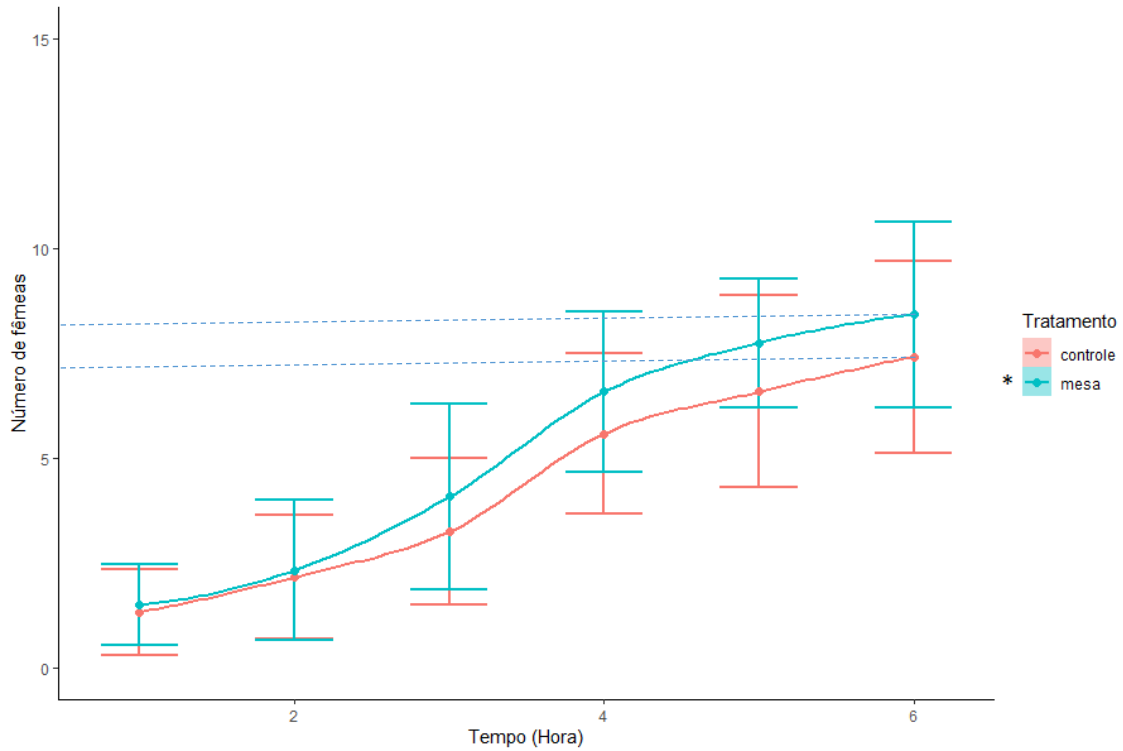


Figura 9: Seleção hospedeira de *Oligonychus ilicis* em plantas tratadas diretamente com salicilato de metila (MeSA) e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de fêmeas por planta (média  $\pm$  IC) ao longo do tempo.

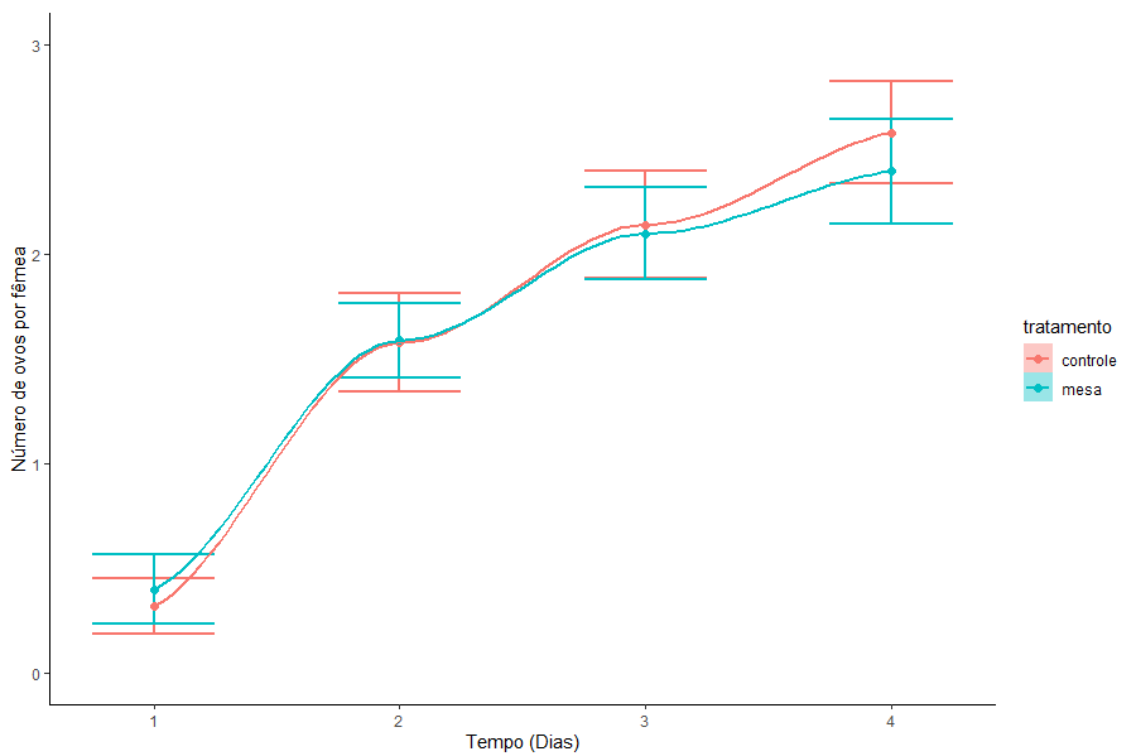


Figura 10: Desempenho de *Oligonychus ilicis* em plantas tratadas com salicilato de metila (MeSA) via volátil e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de ovos por fêmea (média  $\pm$  IC) ao longo do tempo.

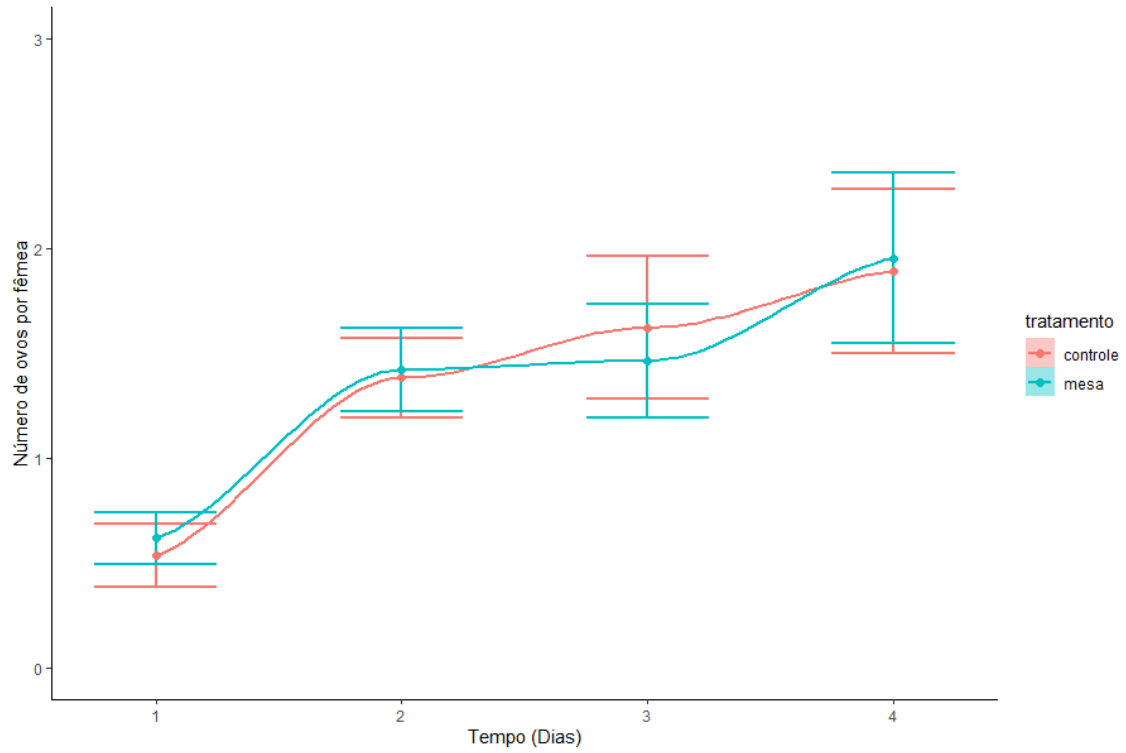


Figura 11: Desempenho de *Oligonychus ilicis* em plantas tratadas diretamente com salicilato de metila (MeSA) e plantas não tratadas (controle), medido em termos de número de ovos por fêmea (média  $\pm$  IC) ao longo do tempo.