

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CÂMPUS SÃO MIGUEL DO OESTE  
AGRONOMIA

Jheinifer Perin Magri

**TOXICIDADE E BIOEFETIVIDADE DE ACARICIDAS PARA O MANEJO DO  
ÁCARO-RAJADO NA CULTURA DO MORANGUEIRO**

São Miguel do Oeste – SC (2025)

Jheinifer Perin Magri

**TOXICIDADE E BIOEFETIVIDADE DE ACARICIDAS PARA O MANEJO DO  
ÁCARO-RAJADO NA CULTURA DO MORANGUEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Bacharelado em Agronomia do  
Câmpus São Miguel do Oeste do Instituto  
Federal de Santa Catarina como requisito  
parcial para obtenção do título de **Engenheira  
Agrônoma**

Orientador:

Prof. Dr. Odimar Zanuzo Zanardi

Coorientadora:

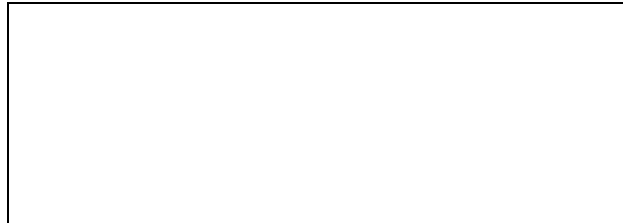
Prof. Dra. Francieli Lima Cardoso

São Miguel do Oeste

Jheinifer Perin Magri

**TOXICIDADE E BIOEFETIVIDADE DE ACARICIDAS PARA O MANEJO DO  
ÁCARO-RAJADO NA CULTURA DO MORANGUEIRO**

Este trabalho foi aprovado pela Banca examinadora composta por (Odimar Zanuzo Zanardi, Douglas Antonio Rogeri e Priscila Flôres Aguirre) na data (29/08/2025), cujas notas e assinaturas constam em Ata de Avaliação. Por fim, as considerações propostas pela Banca foram incorporadas no trabalho, estando esse apto para arquivamento.



Prof. Dr. Odimar Zanuzo Zanardi  
Instituto Federal Santa Catarina – Câmpus São Miguel do Oeste

## RESUMO

A incidência de fitopatógenos e pragas tem sido um dos principais fatores que limitam o normal crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do morangueiro *Fragaria × ananassa* Duch. (Rosales: Rosaceae), uma das “*minor crops*” mais cultivadas e consumidas no mundo. Dentre as pragas, o ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) é considerado praga-chave da cultura devido ao grande potencial biótico, ampla gama de hospedeiros, distribuição e potencial de causar danos às plantas de morangueiro. Na região Extremo-Oeste de Santa Catarina, o manejo do ácaro-rajado em cultivos de morangueiros tem sido realizado basicamente com a aplicação de acaricidas sintéticos à base de abamectina durante todo o ciclo da cultura. No entanto, a efetividade deste acaricida tem sido bastante variável, resultando, muitas vezes, em falhas no controle e prejuízos econômicos aos produtores de morangos da região. Portanto, objetivou-se com este estudo avaliar os níveis de toxicidade aguda diferencial, os efeitos subletais na reprodução, a persistência biológica e a bioefetividade dos acaricidas à base de espirodiclofeno, ciflumetofeno, propargito, oximatrine e abamectina sobre o ácaro-rajado. Os resultados mostraram que os acaricidas espirodiclofeno, ciflumetofeno, propargito, oximatrine e abamectina proporcionaram alta toxicidade aguda para fêmeas de *T. urticae*, de maneira dependente da população [população suscetível (Pop.SUS) × população proveniente de plantas de morangueiro cultivadas em casa de vegetação no IFSC-SMO (Pop.SMO)], da concentração e do tempo de exposição dos ácaros aos resíduos dos produtos. No entanto, a Pop.SMO foi 3,69 vezes mais tolerante à abamectina do que a Pop.SUS. Além da toxicidade aguda, todos os acaricidas proporcionaram reduções exponenciais na fecundidade e lineares (exceto para espirodiclofeno) na fertilidade das fêmeas da Pop.SMO do ácaro-rajado. Em relação à persistência biológica, os resultados mostraram que os acaricidas à base de oximatrine e abamectina [mortalidade  $\geq 80\%$  até 1 dia após a aplicação (DAA)] apresentaram menor persistência biológica quando comparados aos acaricidas espirodiclofeno, ciflumetofeno e propargito (mortalidade  $> 77\%$  até 3 DAA). Porém, no teste de eficácia, os resultados demonstraram que acaricidas espirodiclofeno, ciflumetofeno, propargito e oximatrine exibiram alta efetividade (redução populacional  $> 86\%$ ) para o controle da Pop.SMO da praga. No entanto, nível de eficácia de aproximadamente 75% foi registrado para o acaricida à base de abamectina. Portanto, os acaricidas sintéticos espirodiclofeno, ciflumetofeno e propargito e o biopesticida à base de oximatrine constituem ferramentas importantes para serem utilizados em substituição aos acaricidas à base de abamectina ou em programas de rotação de ingredientes ativos com mecanismos de ação distintos.

**Palavras-chave:** *Fragaria × ananassa* Duch., *Tetranychus urticae*, toxicidade aguda, efeitos na reprodução, persistência biológica, eficácia de controle.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. Objetivo geral.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>7</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Importância da cultura do morangueiro.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2. Incidência de ácaros-praga na cultura de morangueiro .....</b>	<b>9</b>
<b>3.3. Manejo do ácaro-rajado na cultura do morangueiro .....</b>	<b>10</b>
<b>3.4. Controle químico do ácaro-rajado na cultura do morangueiro.....</b>	<b>10</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1. Ácaros .....</b>	<b>13</b>
<b>4.2. Acaricidas sintéticos e biopesticida .....</b>	<b>13</b>
<b>4.3. Bioensaios .....</b>	<b>13</b>
<b>4.4. Toxicidade aguda dos acaricidas sintéticos/biopesticida sobre fêmeas de <i>T. urticae</i> .....</b>	<b>14</b>
<b>4.5. Ação dos acaricidas sintéticos/biopesticida na reprodução de <i>T. urticae</i> .....</b>	<b>14</b>
<b>4.6. Persistência biológica dos acaricidas sintéticos/biopesticida sobre <i>T. urticae</i>.....</b>	<b>15</b>
<b>4.7. Bioefetividade dos acaricidas sintéticos/bioacaricida no manejo de <i>T. urticae</i>.....</b>	<b>16</b>
<b>4.8. Delineamento experimental e análise dos dados.....</b>	<b>17</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>28</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Entre as frutíferas, o morangueiro [*Fragaria* × *ananassa* Duch. (Rosales: Rosaceae)] constitui uma das espécies de “*minor crops*” de maior importância socioeconômica no mundo (ALBENDIN et al., 2015; EL-SAIEDY; FAHIM, 2021) devido ao grande volume de receptáculos florais (“frutos”) produzidos/consumidos, geração de emprego e renda nas pequenas propriedades agrícolas (CAMPOS et al., 2023) e às características organolépticas (PEREIRA et al., 2021). De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a produção mundial de morangos vem crescendo na última década, passando de 7,5 milhões de toneladas no ano de 2013 para 9,6 milhões de toneladas em 2022 (FAOSTAT, 2022). Diferentemente de outros países, no Brasil, esta olerácea apresentou uma retração na quantidade e na área de produção da cultura, passando de 218,9 mil toneladas de morangos colhidos em 5.279 ha no ano de 2020 para 183,9 mil toneladas de morangos obtidos em 4.786 ha no ano de 2022 (FAOSTAT, 2022). Essa redução se deve ao menor consumo de morangos in natura e/ou industrializados influenciados pela redução da renda das famílias, à redução na disponibilidade de mão de obra, à menor capacidade de investimento dos produtores e ao aumento nos custos de produção, resultando na extinção da atividade em algumas propriedades (ANTUNES et al., 2023).

A menor capacidade de investimento também proporcionou um aumento significativo na ocorrência de doenças e pragas que limitam o normal crescimento, desenvolvimento e/ou produtividade da cultura nos agroecossistemas (VAN LEEUWEN et al., 2015; ZHANG et al., 2018). Dentre as pragas, o ácaro-rajado [*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)] é considerado uma praga chave da cultura do morangueiro no Brasil (BERNARDI et al., 2015; MICHEREFF-FILHO et al., 2020) devido ao grande número de plantas hospedeiras, ampla distribuição geográfica, ciclo biológico curto e alto potencial biótico, tornando-o uma das pragas mais danosas do morangueiro quando em altas densidades populacionais e condições ambientais favoráveis (MOURA, 2015; BOTTON; NAVA, 2021).

No Brasil, o manejo do ácaro-rajado em cultivos de morangueiro tem sido realizado preventivamente com o uso de mudas saudáveis e livres do ácaro, plantios concentrados em uma época do ano, plantios de lavouras novas no sentido contrário ao vento predominante, implantação de quebra-ventos, plantios de morangos distantes das plantas hospedeiras do ácaro-rajado, rotação de culturas com espécies não hospedeiras do ácaro, eliminação dos restos culturais e/ou de plantas de morangos abandonadas (MOURA, 2015), uso de cultivares de

morangos mais tolerantes ao ácaro (KARLEC et al., 2017; RESENDE et al., 2020), adubação equilibrada (SOUZA et al., 2021), liberação inundativa de ácaros predadores (BERNARDI et al., 2013; EL-SAIEDY; FAHIM, 2021; ALY, 2023), aplicações de fungos entomopatogênicos (CANASSA et al., 2020) e pulverizações sequenciais de acaricidas sintéticos sobre as plantas infestadas (BERNARDI et al., 2013; MOURA, 2015; WANG et al., 2018; DUARTE et al., 2020).

Apesar do controle químico ser a principal tática de manejo do ácaro-rajado utilizada pelos horticultores nos cultivos de morangos, a efetividade desses acaricidas tem sido bastante variável, dependendo do modo/mecanismo de ação dos acaricidas, dos níveis de infestação do ácaro-rajado sobre as plantas, das fases de desenvolvimento do ácaro expostos aos acaricidas, das condições climáticas predominantes no local e dos níveis de suscetibilidade do ácaro aos acaricidas sintéticos (SATO et al., 2009; VERONEZ et al., 2012; ADESANYA et al., 2021; MARTINS et al., 2022; FAGUNDES et al., 2024). Tradicionalmente, o controle do ácaro-rajado na cultura do morangueiro na região Extremo-Oeste de Santa Catarina tem sido realizado com aplicações sequenciais de acaricidas sintéticos à base de abamectina sobre as plantas (VERONA et al., 2011), devido à sua ampla disponibilidade no mercado regional e preço relativamente baixo quando comparado aos demais acaricidas. No entanto, o uso frequente e sucessivo desse acaricida tem ocasionado problemas de contaminação dos morangos, do ambiente e dos aplicadores, mortalidade dos inimigos naturais do ácaro e de outras pragas, ressurgência do ácaro-rajado, surtos de pragas secundárias e seleção de populações resistentes aos acaricidas à base de abamectina, gerando aumento nos custos de produção, redução da eficácia da técnica e da sustentabilidade ambiental do sistema (FERREIRA et al., 2015; SATO et al., 2021).

Diante dos danos causados pelo ácaro-rajado *T. urticae* nas plantas de morangueiro e da necessidade de identificar moléculas mais efetivas para o manejo populacional do ácaro nos cultivos de morangos, tem sido fundamental para a redução da população da praga e os prejuízos causados aos sistemas produtivos. Assim, neste estudo, os níveis de toxicidade diferencial e de bioefetividade dos acaricidas sintéticos espiroclorfenol, ciflumetofeno, propargito e abamectina e do pesticida botânico à base de oximatrine foram investigados em condições laboratoriais e de campo para elucidar parte das variações nos níveis de efetividade dos acaricidas sobre uma população suscetível (Pop.SUS) de *T. urticae* e outra população que vinha sendo manejada com aplicações sequenciais de acaricidas à base de abamectina (Pop.SMO). Os resultados desse estudo contribuirão não somente para o entendimento dos

níveis de suscetibilidade/tolerância do ácaro aos acaricidas sintéticos/biopesticida, mas também servirão como subsídio para recomendações de acaricidas mais efetivos para o manejo populacional do ácaro-rajado nos cultivos de morangueiros tradicionalmente e sucessivamente tratados com acaricidas à base de abamectina.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar a toxicidade aguda diferencial e a bioefetividade dos acaricidas à base de espirodiclofeno, ciflumetofeno, propargito, oximatrine e abamectina para o manejo do ácaro-rajado na cultura do morangueiro.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Avaliar, em condições laboratoriais, os níveis de toxicidade aguda diferencial dos acaricidas à base de espirodiclofeno, ciflumetofeno, propargito, oximatrine e abamectina sobre as Pop.SUS e Pop.SMO do ácaro-rajado *T. urticae*.
- Estimar, em condições laboratoriais, os efeitos subletais (fecundidade e fertilidade) dos acaricidas à base de espirodiclofeno, ciflumetofeno, propargito, oximatrine e abamectina sobre a Pop.SMO do ácaro-rajado *T. urticae*.
- Verificar, em condições semicampo, a persistência biológica dos acaricidas à base de espirodiclofeno, ciflumetofeno, propargito, oximatrine e abamectina sobre a Pop.SMO do ácaro-rajado *T. urticae*.
- Verificar, em casa de vegetação, a bioefetividade dos acaricidas à base de espirodiclofeno, ciflumetofeno, propargito, oximatrine e abamectina para o manejo da Pop.SMO do ácaro-rajado na cultura do morangueiro.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1. Importância da cultura do morangueiro**

No mundo, o cultivo do morangueiro teve início no século XIII, quando houve cruzamento natural entre as espécies *Fragaria chiloensis* (L.) Mill. (Rosales: Rosaceae),

originária do continente americano, e *Fragaria virginiana* Mill. (Rosales: Rosaceae), originária do continente europeu (MACHADO, 2016). No século XV, morangos das espécies *Fragaria vesca* L. (Rosales: Rosaceae) e *Fragaria moschata* Duchesne (Rosales: Rosaceae) também passaram a ser produzidos e consumidos na França e na Inglaterra. Porém, no século XVIII, passou-se a produzir, na Europa, o híbrido *Fragaria x ananassa* Duchesne (Rosales: Rosaceae), resultado do cruzamento das espécies americanas *F. chiloensis*, *F. virginiana* e *Fragaria ovalis* (Lehm.) Rydb. (Rosales: Rosaceae) com a europeia *F. vesca* (SANHUEZA et al., 2005; RADMANN et al., 2006). Atualmente, este híbrido constitui uma das principais “*minor crops*” cultivadas e consumidas/comercializadas no mundo (ALBENDIN et al., 2015; EL-SAIEDY; FAHIM, 2021) devido à sua grande produtividade de receptáculos (“frutos”), geração de emprego e renda (CAMPOS et al., 2023), características organolépticas e nutricionais (NUNES; NOVELLO, 2021) e rápido retorno econômico para as pequenas propriedades (PEREIRA et al., 2023). De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a produção mundial de morango vem crescendo na última década, passando de 7,5 milhões de toneladas no ano de 2013 para 9,6 milhões de toneladas em 2022 (FAOSTAT, 2022).

Diferentemente dos outros países, o Brasil apresentou uma redução na área e na quantidade de morangos produzidos nos últimos anos, passando de 218,9 mil toneladas de morangos produzidos em 5.279 ha no ano de 2020 para 183,9 mil toneladas de frutos colhidos em uma área de 4.786 ha no ano de 2022 (FAOSTAT, 2022). Essa redução se deve ao menor consumo de morangos *in natura* e/ou industrializados influenciados pela redução da renda das famílias, à redução na disponibilidade de mão de obra, à menor capacidade de investimento dos produtores e ao aumento nos custos de produção, desestimulando parte dos produtores a investir e permanecer na atividade durante este período (ANTUNES et al., 2023). Porém, o levantamento realizado pela Hortifruti Brasil, do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) revelou que, em 2023, a área de cultivo de morango no Brasil foi de 6.280 ha (DELEO et al., 2023), indicando que a cultura voltou a ser um modelo de negócio e de geração de renda nas propriedades agrícolas familiares do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Bahia (ANTUNES et al., 2023; BALDIN et al., 2023; DELEO et al., 2023).

Além da importância socioeconômica, o morango é uma olerácea mundialmente conhecida e consumida pela sua coloração atraente, sabor adocicado, acidez equilibrada, alto teor de açúcares, fonte de fibras e minerais, sabor agradável, valor nutricional, aroma

característico, textura suculenta (PAPAROZZI et al., 2018) e com grande variedade de compostos bioativos/funcionais [incluindo ácidos fenólicos, flavonoides (antocianinas e flavonóis) e vitaminas] que desempenham papel importante na manutenção e/ou melhoria da saúde dos consumidores (SKROVANKOVA et al., 2015; SOUZA et al., 2018). Mundialmente, o morango tem sido utilizado como alimento *in natura* ou como matéria-prima para a elaboração de iogurtes, compotas, geleias, sorvetes, doces, sucos etc. (BARRAZUETA-ROJAS et al., 2018; BARROS et al., 2020).

### 3.2. Incidência de ácaros-praga na cultura de morangueiro

Apesar da grande relevância social, econômica e nutricional do morango, a incidência de pragas tem sido um dos principais fatores que limitam o normal crescimento, desenvolvimento e/ou produtividade da cultura (VAN LEEUWEN et al., 2015; ZHANG et al., 2018). Dentre as pragas que infestam a cultura, o ácaro-rajado [*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)] é considerado praga chave do morangueiro no Brasil (BERNARDI et al., 2015; MICHEREFF-FILHO et al., 2020) devido ao grande número de plantas hospedeiras, ampla distribuição geográfica, ciclo biológico curto e alta capacidade de reprodução, tornando-o uma das pragas com maior potencial de danos na cultura do morangueiro quando em altas densidades populacionais e condições ambientais favoráveis (temperaturas próximas a 30 °C e com ausência/baixa precipitações pluviométricas) (MOURA, 2015; BOTTON; NAVA, 2021). Quando adultas, as fêmeas do ácaro-rajado são maiores (corpo de formato ovalado com aproximadamente 0,46 mm de comprimento) do que os machos (0,25 mm de comprimento e com o corpo de formato afilado posteriormente) (BOTTON; NAVA, 2021). As fases móveis do ácaro-rajado possuem duas manchas dorsais (ídiossoma) de coloração variando de verde-amarelada a verde-escura.

Nas plantas, a colonização do ácaro ocorre preferencialmente a face abaxial (inferior) das folhas (folíolos), onde tecem grande quantidade de teia para sua proteção. As fêmeas depositam ovos esféricos e amarelados preferencialmente entre os fios de teia. O ciclo biológico do ácaro varia de 5 a 21 dias, dependendo da temperatura (BOTTON; NAVA, 2021). Tanto as ninfas como os adultos de *T. urticae* causam danos às plantas de morangueiro. Os danos ocorrem durante a alimentação, com a introdução dos estiletes (peças bucais) nas células epidérmicas dos folíolos do morangueiro, resultando, inicialmente, em uma clorose avermelhada que evolui para necrose (morte) e queda dos folíolos atacados (BERNARDI et al., 2015; GONG et al., 2018; MICHEREFF-FILHO et al., 2020). Em infestações severas, o ácaro

pode causar a morte das plantas. Nos receptáculos florais (morangos), a incidência do ácaro provoca o endurecimento dos tecidos e escurecimento da epiderme, o que reduz o período de conservação, a qualidade e o potencial de comercialização/consumo do produto. Cultivos escalonados e próximos de estradas rurais são mais favoráveis para infestações, estabelecimento e multiplicação do ácaro-rajado devido a maior facilidade de dispersão pelo vento e a sedimentação de poeiras/sujidades que servem de abrigo e proteção do ácaro nos tecidos vegetais, respectivamente (MOURA, 2015).

### **3.3. Manejo do ácaro-rajado na cultura do morangueiro**

No Brasil, o manejo do ácaro-rajado na cultura do morangueiro tem sido realizado preventivamente com o uso de mudas sadias e livres do ácaro, redução no período de transplante (evitar escalonamento de plantio/produção), transplantes no sentido contrário ao do vento predominante do local com o objetivo de reduzir o deslocamento dos ácaros de plantios mais velhos para os mais novos, implantação de quebra-ventos, transplante de morangos distantes das plantas hospedeiras do ácaro-rajado, rotação de culturas com espécies não hospedeiras do ácaro, eliminação dos restos culturais e/ou de plantas de morangos abandonadas (MOURA, 2015), uso de cultivares de morangos mais tolerantes ao ácaro (KARLEC et al., 2017; RESENDE et al., 2020) e adubação equilibrada (SOUZA et al., 2021). Porém, em áreas infestadas, a supressão populacional do ácaro-rajado tem sido realizada com a liberação inundativa de ácaros predadores, com destaque para *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) e *Phytoseiulus macropilis* (Banks) (Acari: Phytoseiidae) (BERNARDI et al., 2013; EL-SAIEDY; FAHIM, 2021; ALY, 2023), aplicações de fungos entomopatogênicos (CANASSA et al., 2020) e, principalmente, com pulverizações de acaricidas sobre as plantas infestadas (BERNARDI et al., 2013; MOURA, 2015; WANG et al., 2018; DUARTE et al., 2020).

### **3.4. Controle químico do ácaro-rajado na cultura do morangueiro**

Tradicionalmente, o controle do ácaro-rajado na cultura do morangueiro na região Extremo-Oeste de Santa Catarina tem sido realizado com aplicações sequenciais de acaricidas sintéticos à base de abamectina sobre as plantas (VERONA et al., 2011). Abamectina é uma molécula complexa constituída pelas avermectinas B1a e B1b que possuem atividade neurotóxica contra insetos e ácaros. Essa molécula atua como moduladora dos canais de cloro controlados pelo ácido gama-aminobutírico (GABA), ocasionando um aumento no fluxo deste

ion nas sinapses nervosas, hiperpolarização das membranas nervosas, paralisia e morte dos organismos alvo (VAN LEEUWEN et al., 2015). Embora abamectina seja uma das principais ferramentas utilizadas pelos olericultores para supressão populacional do ácaro-rajado nos cultivos de morangueiro, os níveis de controle proporcionados pelo acaricida têm sido bastante variáveis nos últimos anos. Essas variações podem estar associadas, entre outros fatores, ao mecanismo de ação deste acaricida, aos níveis de infestação do ácaro-rajado sobre as plantas, as fases de desenvolvimento do ácaro expostos ao acaricida, às condições edafoclimáticas predominantes do local e aos níveis de suscetibilidade/tolerância/resistência do ácaro ao acaricida (SATO et al., 2009; VERONEZ et al., 2012; ADESANYA et al., 2021; MARTINS et al., 2022; FAGUNDES et al., 2024).

Além da abamectina, outros acaricidas poderiam ser incorporados nos sistemas de produção de morangueiro, reduzindo os riscos de seleção de populações do ácaro resistentes ao acaricida, além de viabilizar a implementação de um sistema de rotação de acaricidas com distintos mecanismos de ação e reduzir os prejuízos causados pela praga nos agroecossistemas. O espiroclorfenol, ciflumetofeno, propargito e oximatrina estão entre as moléculas acaricidas com atividade sobre *T. urticae* que têm sido comumente utilizadas pelos produtores para o manejo do ácaro em diferentes espécies vegetais (TAKAHASHI et al., 2012; MARČIĆ; MEDO, 2014; LIANG et al., 2018; CUA-BASULTO et al., 2022), exceto em morangueiro. Espiroclorfenol é um acaricida de contato/ingestão que atua em todas as fases de desenvolvimento dos ácaros, embora os maiores níveis de toxicidade sejam observados nas fases jovens (especialmente ovo e larvas) dos ácaros. Este xenobiótico atua na desregulação do metabolismo do colesterol, que é um precursor de uma série de hormônios esteroidais nos organismos-alvo. Estudo prévio demonstrou que este acaricida inibe a atividade da enzima malato desidrogenase, resultando numa diminuição dos redutores equivalentes, necessários por várias enzimas do citocromo P450 envolvidas no processo de estereogênese (síntese de hormônios esteroidais). Conseqüentemente, espiroclorfenol induz diversos efeitos deletérios sobre os sistemas endócrinos e reprodutivos dos organismos expostos ao acaricida (BRETSCHNEIDER et al., 2003). Diferentemente do espiroclorfenol, o ciflumetofeno é um acaricida que atua por contato, inibindo a respiração mitocondrial dos ácaros em doses muito baixas. Este acaricida interfere no complexo II da cadeia de transporte de elétrons nas mitocôndrias, interrompendo a produção de energia, paralisia e morte dos ácaros (TAKAHASHI et al., 2012). Da mesma forma, o propargito também atua por contato, mas inibe a ação da ATP sintase mitocondrial, um componente essencial para a produção de energia nas

células dos ácaros. Este acaricida bloqueia a respiração e o sistema nervoso dos ácaros, levando à sua morte (ESCOBAR-GARCIA; ANDRADE, 2025).

Além dos acaricidas sintéticos, em 2017 foi registrado e disponibilizado no mercado brasileiro o biopesticida à base de oximatrine (Matrine<sup>®</sup> 0,2 SL, Biophora<sup>®</sup> 0,2 SL, Oxymatrine<sup>®</sup> 0,2 SL) para o manejo de insetos e ácaros praga nos agroecossistemas (DINAGRO AGROPECUÁRIA LTDA., 2017). O oximatrine é um composto heterocíclico (C<sub>15</sub>H<sub>24</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) derivado da quinolizidina presente em grande quantidade em plantas de *Sophora flavescens* Aiton (Fabales: Fabaceae) abundantemente encontradas na Ásia, Oceania e ilhas do Pacífico (CHENG et al., 2018; HUAN et al., 2023; WANG; DING, 2023; GHATTI et al., 2024). Este alcaloide possui ampla atividade farmacológica (SUN et al., 2016; CHENG et al., 2018; LI et al., 2020; ABD-ALLA et al., 2021; HUAN et al., 2023) e pesticida/pestistática contra pragas de importância agrícola (YUAN, 2004; ISMAN, 2023). Além da toxicidade aguda, o oximatrine também possui ação repelente, esterilizante, deterrente de alimentação e de oviposição de artrópodes praga, auxiliando na redução populacional dos organismos alvo nos mais distintos e diversificados sistemas de produção agrícola brasileiro (ZANARDI et al., 2015).

Apesar dessas potencialidades, poucos estudos têm sido realizados para investigar os níveis de toxicidade e de bioefetividade desses acaricidas para o manejo do ácaro-rajado na cultura do morangueiro na região Extremo-Oeste Catarinense. Entre as razões apontadas pelos olericultores estão a baixa disponibilidade desses acaricidas nos estabelecimentos comerciais e o elevado custo para aquisição dessas formulações na região. Portanto, os resultados desse estudo contribuirão não somente para verificar os níveis de toxicidade e de bioefetividade dos acaricidas à base de espiroclorfenol, ciflumetofeno, propoargito e oximatrine para o controle do ácaro-rajado na cultura do morangueiro, mas também para incentivar os estabelecimentos comerciais a adquirir junto aos fornecedores e disponibilizar esses produtos aos olericultores, viabilizar a implementação de um sistema de rotação de ingredientes ativos com distintos mecanismos de ação e reduzir os riscos de evolução da resistência do ácaro aos acaricidas à base de abamectina.

#### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

#### 4.1. Ácaros

Os níveis de toxicidade e de bioefetividade dos acaricidas sintéticos/biopesticida à base de espiroclorfenol, ciflumetofeno, propargito, oximatrina e abamectina foram avaliados sobre duas populações de *T. urticae*: uma população suscetível obtida a partir de criação mantida em condições laboratoriais por seis anos sem exposição à pesticidas (Pop.SUS) e uma população proveniente de plantas de morangueiro cultivadas em casa de vegetação no IFSC-SMO com frequente aplicação de abamectina (Pop.SMO). As criações de *T. urticae* foram mantidas em gaiolas (60 × 60 × 60 cm de comprimento, largura e altura, respectivamente) utilizando plantas de morangueiro com aproximadamente 15 cm de altura cultivadas em vasos (3 L) com substrato em condições laboratoriais. Plantas de morangueiro severamente infestadas e danificadas pelo ácaro foram substituídas por novas plantas sempre que necessário.

#### 4.2. Acaricidas sintéticos e biopesticida

Para esse estudo foram avaliados os acaricidas sintéticos à base de espiroclorfenol (Envidor<sup>®</sup>, Bayer S.A., São Paulo, SP), ciflumetofeno (Okay<sup>®</sup>, Iharabras S.A. Indústrias Químicas, Sorocaba, SP), propargito (Omite 720 EC<sup>®</sup>, UPL do Brasil Indústria e Comércio de Insumos Agropecuários S.A., Ituverava, SP), abamectina (Vertimec<sup>®</sup> 18 EC, Syngenta Proteção de Cultivos Ltda., São Paulo, SP) e o biopesticida à base de oximatrina (Matrine<sup>®</sup> 0,02 SL, Dinagro Agropecuária Ltda., Ribeirão Preto, SP). Os acaricidas sintéticos e o biopesticida estão registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o manejo de ácaros praga em diferentes culturas agrícolas (AGROFIT, 2025). Além disso, o biopesticida à base de oximatrina está autorizado para uso no manejo de insetos e ácaros praga em sistemas de cultivo de base ecológica (IBD CERTIFICAÇÕES, 2021) onde a disponibilidade de ferramentas de controle é limitada e medidas efetivas de manejo precisam ser incorporadas.

#### 4.3. Bioensaios

Os bioensaios de toxicidade aguda diferencial e de efeitos subletais dos acaricidas sintéticos à base de espiroclorfenol, ciflumetofeno, propargito e abamectina e do biopesticida à base de oximatrina sobre o ácaro-rajado foram realizados em condições laboratoriais (temperatura 25 ± 2 °C, umidade relativa do ar de 50 ± 10% e fotoperíodo de 12L: 12E horas). Por sua vez, os bioensaios de persistência biológica e de bioefetividade foram realizados em casa de vegetação com temperatura, umidade relativa do ar e fotoperíodo natural.

#### **4.4. Toxicidade aguda dos acaricidas sintéticos/biopesticida sobre fêmeas de *T. urticae***

A toxicidade aguda dos acaricidas sintéticos/biopesticida foi avaliada sobre fêmeas adultas de *T. urticae* das populações Pop.SUS e Pop.SMO usando bioensaios de contato residual. Para isso, folíolos de morangueiro completamente desenvolvidos foram aleatoriamente coletados em uma unidade de produção de morangos e submetidos a pulverização de 2 mL de solução de uma das sete concentrações dos acaricidas sintéticos/biopesticida à base de espiroclorfenol (1,41; 2,81; 5,63; 11,25; 22,50; 45,00 e 90,00 mg L<sup>-1</sup>), ciflumetofeno (3,75; 7,50; 15,00; 30,00; 60,00; 120,00 e 240,00 mg L<sup>-1</sup>), propargito (3,94; 7,88; 15,75; 31,50; 63,00; 126,00 e 252,00 mg L<sup>-1</sup>), abamectina (2,50; 5,00; 10,00; 20,00; 40,00; 80,00 e 160,00 mg L<sup>-1</sup>) e oximatrina (0,19; 0,38; 0,75; 1,50; 3,00; 6,00 e 12,00 mg L<sup>-1</sup>) usando um pulverizador estacionário acoplado a uma bomba pneumática ajustada para fornecer uma pressão de 0,7 kg cm<sup>-2</sup>, resultando na deposição de 1,8 ± 0,1 mg cm<sup>-2</sup> de resíduo fresco sobre a superfície foliar. Água destilada (solvente utilizado para dissolução dos acaricidas sintéticos/biopesticida) foi usada como tratamento controle. Após a pulverização, os folíolos foram mantidos em sala climatizada (temperatura de 25 ± 2 °C e UR de 50 ± 10%) por duas horas para permitir a secagem dos resíduos. Após a secagem, os folíolos foram colocados com a face abaxial voltada para cima sobre uma camada de algodão hidrófilo umedecido com água destilada em bandejas de poliestireno expandido (24 × 18 × 2,5 cm, comprimento, largura e altura, respectivamente). Sobre cada folíolo foi colocado um disco de algodão hidrófilo (~2,5 cm de diâmetro), que serviu de barreira para evitar a fuga dos ácaros e de manutenção do turgor dos folíolos durante o período de avaliação. Feito isso, 10 fêmeas de *T. urticae* das populações Pop.SUS e Pop.SMO foram transferidas para cada unidade experimental. Para cada população e nível de tratamento foram utilizadas 10 unidades experimentais (repetições). As unidades experimentais foram mantidas em sala climatizada para avaliação da mortalidade a cada 24 horas por 96 horas. Fêmeas que não reagiram ao toque de um pincel fino foram consideradas mortas. Fêmeas aprisionadas na barreira de algodão não foram consideradas nas análises. Com base nos dados de mortalidade, as concentrações letais (CL<sub>90</sub>) com seus respectivos intervalos de confiança das populações Pop.SUS e Pop.SMO foram estimadas para cada acaricida sintético/biopesticida.

#### **4.5. Ação dos acaricidas sintéticos/biopesticida na reprodução de *T. urticae***

A ação dos acaricidas sintéticos/biopesticida na reprodução (fecundidade e fertilidade) da Pop.SMO do ácaro *T. urticae* foi avaliada usando as mesmas concentrações, número de fêmeas

por unidade experimental, número de unidades experimentais e método de bioensaio utilizados para os testes de toxicidade aguda (item 4.4). Após a aplicação dos tratamentos e infestação do ácaro, as unidades experimentais foram mantidas em uma sala climatizada para avaliação da fecundidade (número médio de ovos depositados pelas fêmeas vivas) e fertilidade (número médio de larvas eclodidas a partir dos ovos depositados pelas fêmeas vivas) da Pop.SMO de *T. urticae*. Os ovos e as fêmeas vivas da Pop.SMO do ácaro foram contados a cada 24 horas por 96 horas. Na avaliação final (96 horas pós-tratamento), todas as fêmeas da Pop.SMO foram removidas e os ovos contados e mantidos nas unidades experimentais para avaliação da eclodibilidade de larvas (fertilidade), 10 dias pós-tratamento. A ação dos acaricidas sintéticos/biopesticida na reprodução da Pop.SMO do ácaro ( $R$ ) foi calculada pela fórmula  $R = \Sigma[(N_t/L_t)/(N_c/L_c)]$ , onde:  $N_t$  e  $N_c$  representam o número total de ovos depositados pelas fêmeas no tratamento e no controle e  $L_t$  e  $L_c$  representam o número de fêmeas vivas no tratamento e no controle, respectivamente.

#### **4.6. Persistência biológica dos acaricidas sintéticos/biopesticida sobre *T. urticae***

A persistência biológica dos acaricidas sintéticos/biopesticida sobre a Pop.SMO foi avaliada em condições de semicampo (casa de vegetação) utilizando plantas de morangueiro com aproximadamente 10 folíolos completamente desenvolvidos cultivadas em vasos (3 L) com substrato. As plantas de morangueiro foram pulverizadas até o ponto de escorrimento com a  $CL_{90}$  dos acaricidas sintéticos/biopesticida estimada para a Pop.SMO no bioensaio de toxicidade aguda diferencial, 96 horas após a exposição dos ácaros utilizando um pulverizador costal modelo Jacto<sup>®</sup> PJH (Jacto do Brasil S.A., Pompéia, São Paulo, Brasil) equipado com bico cônico FL-5VS (Tebet Technologies Co., São Paulo, Brasil). Água destilada foi utilizada como tratamento controle. Para cada população e nível de tratamento, foram utilizadas cinco plantas de morangueiro (repetições). Após 10, 7, 3, 1 e 0 dias da pulverização dos tratamentos, um folíolo foi removido de cada planta tratada e transportado ao laboratório para preparação das unidades experimentais seguindo o mesmo procedimento descrito no item 4.4. Feito isso, cada unidade experimental foi infestada com 10 fêmeas da Pop.SMO de *T. urticae*. As unidades experimentais foram mantidas em sala climatizada e a mortalidade da Pop.SMO do ácaro avaliada 96 horas após a infestação.

#### 4.7. Bioefetividade dos acaricidas sintéticos/bioacaricida no manejo de *T. urticae*

A bioefetividade dos acaricidas sintéticos/biopesticida no manejo populacional de *T. urticae* foi avaliada em uma unidade de produção de morangos localizada no município de São Miguel do Oeste (Pop.SMO) com infestação natural do ácaro. A unidade de produção de morangos possui amplo histórico de aplicação de acaricidas à base de abamectina para o controle de ácaros praga. Entretanto, para a realização do experimento, as plantas de morangueiro foram mantidas sem aplicação de acaricidas por 42 dias. Antes da pulverização dos tratamentos, uma pré-amostragem foi realizada, coletando-se aleatoriamente 10 folíolos de morangueiro totalmente desenvolvidos na área central de cada parcela para caracterizar os níveis de infestação inicial do ácaro nas unidades experimentais. Os folíolos foram individualmente colocados em sacos de papel, armazenados em uma caixa de poliestireno expandido com gelo e transportados ao laboratório para contagem dos ácaros vivos em estereomicroscópio com aumento de 40x. Feito isso, as unidades experimentais foram pulverizadas até o ponto de escorrimento com a CL<sub>90</sub> dos acaricidas sintéticos/biopesticida estimada no bioensaio de toxicidade aguda usando o mesmo equipamento de pulverização descrito no item 4.6. Água destilada foi utilizada como tratamento controle. Para cada tratamento foram utilizadas cinco parcelas de 10 plantas de morangueiro (repetições). A bioefetividade dos acaricidas foi determinada 96 horas após a pulverização dos tratamentos. Para isso, amostras de 10 folíolos de morangueiro totalmente desenvolvidos foram aleatoriamente coletadas, transportadas ao laboratório e os ácaros vivos contabilizados conforme descrito para a pré-amostragem. A bioefetividade ( $B$ ) dos acaricidas sintéticos/biopesticida para o manejo populacional do ácaro foi calculada com base no número médio de ácaros vivos registrados na pré-amostragem e na amostragem realizada quatro dias após a pulverização dos tratamentos utilizando a fórmula  $B(\%) = 1 - [(C_i \times T_f) / (C_f \times T_i)] \times 100$  proposta por Henderson e Tilton (1955), onde:  $C_i$  e  $C_f$  representam o número médio de ácaros vivos no tratamento controle antes e após a pulverização e  $T_i$  e  $T_f$  representam o número médio de ácaros vivos no tratamento acaricida sintético/biopesticida antes e após a pulverização, respectivamente. Além disso, a taxa instantânea de crescimento populacional ( $ri$ ) foi estimada utilizando a fórmula  $ri = \ln(N_f/N_i)/\Delta_t$  proposta por Stark e Banks (2003), onde:  $N_f$  é o número de ácaros vivos na avaliação realizada quatro dias após a aplicação dos tratamentos,  $N_i$  é o número de ácaros vivos na pré-amostragem, e  $\Delta_t$  é o tempo (dias) entre a avaliação realizada quatro dias após a aplicação dos tratamentos e a pré-amostragem. Valores positivos e negativos de  $ri$  indicam um aumento e diminuição na população do ácaro, respectivamente, enquanto

valores de  $ri = 0$  indicam que a população do ácaro se manteve estável durante o período de avaliação.

#### 4.8. Delineamento experimental e análise dos dados

Todos os bioensaios foram realizados no delineamento inteiramente aleatorizado. Para estimativa das concentrações letais ( $CL_{90}$ ) das populações Pop.SUS e Pop.SMO do ácaro-rajado foi utilizado um modelo binomial com função de ligação complemento log-log (modelo de gompit), utilizando-se o *Probit Procedure* do software SAS versão 9.2 (SAS INSTITUTE, 2011). Para estimar a concentração efetivas médias ( $CE_{50}$  – concentração necessária para reduzir a fecundidade e/ou fertilidade em 50%), um modelo logístico não linear foi adaptado de Sims et al. (1996) usando o procedimento *Nlim* do software SAS versão 9.2 (SAS INSTITUTE, 2011). Além disso, os dados de fecundidade e fertilidade das fêmeas da Pop.SMO do ácaro-rajado nas diferentes concentrações dos acaricidas sintéticos/biopesticida foram demonstrados por meio de regressões lineares e não lineares, comparando os valores de  $R^2$  e  $P$  dos modelos usando o software Origin 2025 Student (ORIGINLAB, 2025).

Os dados de persistência biológica dos acaricidas sintéticos/biopesticida sobre a Pop.SMO do ácaro-rajado foram submetidos a análise de medidas repetidas no tempo usando modelos lineares generalizados mistos (GLMM) do pacote “*lme4*” (BATES et al., 2015) com distribuição binomial. Para isso, os efeitos das variáveis explanatórias tratamento e tempo (dias após a aplicação) foram considerados fatores fixos, enquanto as medidas repetidas em cada unidade experimental no tempo foram consideradas aleatórias. Os efeitos do tratamento e do tempo foram avaliados por testes de razão de verossimilhança ( $P < 0,05$ ) entre um modelo completo e um reduzido. O mesmo teste foi utilizado para verificar a significância da interação do tratamento com o tempo, comparando dois modelos: um com interação e outro sem interação. Além disso, modelos lineares generalizados (GLM) (NELDER; WEDDERBURN, 1972), com distribuições quase-binomial e quase-Poisson e Gaussiana, foram utilizados para análise dos dados de proporção (mortalidade do ácaro em cada tempo residual – persistência biológica), de eficiência dos acaricidas sintéticos/biopesticida (bioefetividade) e na taxa instantânea de crescimento populacional do ácaro, respectivamente. A qualidade do ajuste foi avaliada por meio do gráfico meio-normal de probabilidade com envelope de simulação usando o pacote “*hnp*” (DEMÉTRIO et al., 2014). Em caso de diferenças significativas entre os tratamentos, múltiplas comparações foram realizadas com o teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) utilizando a função “*glht*” do pacote “*multcomp*”, com ajustes nos valores de  $P$  (HOTHORN et al., 2008).

Todas essas análises foram realizadas no software estatístico “R”, versão 4.2.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2022).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo, os níveis de toxicidade aguda diferencial, os efeitos subletais na reprodução (fecundidade e fertilidade), a persistência biológica e a bioefetividade dos acaricidas à base de espirodiclofeno, ciflumetofeno, propargito, oximatrine e abamectina foram avaliados sobre *T. urticae* em condições laboratoriais e semicampo. Em laboratório, os testes de toxicidade aguda revelaram que os acaricidas causaram altas taxas de mortalidade de fêmeas de *T. urticae*, de maneira dependentes da população [uma população suscetível mantida por 12 meses em condições laboratoriais e sem exposição à pesticidas (Pop.SUS) e uma população obtida em plantas de morangueiro cultivadas em casa de vegetação no IFSC-SMO com frequente aplicação de abamectina (Pop.SMO)], concentração e tempo de exposição dos ácaros aos resíduos dos produtos (Tabela 1). De modo geral, as populações (Pop.SUS e Pop.SMO) foram altamente suscetíveis aos acaricidas espirodiclofeno, ciflumetofeno, propargito e oximatrine, com altas taxas de mortalidade quando os produtos foram aplicados nas concentrações recomendadas pelos fabricantes para o controle de *T. urticae* ou de outras espécies de ácaros praga. Esses resultados estão em congruência com os obtidos por Liang et al. (2018) e Montoya et al. (2019), que também verificaram alta mortalidade de fêmeas de *T. urticae* expostas a esses xenobióticos. A alta toxicidade aguda desses acaricidas está relacionada não somente a ação desses xenobióticos na inibição da biossíntese de lipídeos (espirodiclofeno), na inibição da cadeia de transporte de elétrons na mitocôndria (ciflumetofeno), na inibição da ATP sintetase mitocondrial (propargito) e na atividade multissítio do biopesticida à base de oximatrine, mas também na menor ou na ausência de aplicação sobre a população Pop.SMO.

No entanto, para abamectina, os resultados demonstraram que a Pop.SMO foi 3,69 vezes mais tolerante do que a Pop.SUS, evidenciando uma provável evolução da resistência do ácaro ao acaricida (Tabela 1). Da mesma forma, Wael e Mohamed (2019) constataram que imaturos e fêmeas adultas de uma população de *T. urticae* frequentemente tratada com acaricidas à base de abamectina foram 4,1 e 6,0 vezes mais tolerantes ao xenobiótico do que a população suscetível, respectivamente. Esses resultados demonstram que aplicações

sequenciais de acaricidas com o mesmo mecanismo de ação (como é o caso das sucessivas aplicações de abamectina realizadas pelos produtores de morangos da região Extremo-Oeste de Santa Catarina) aumentam a pressão de seleção e a frequência de alelos que conferem resistência dos ácaros ao acaricida. A evolução da resistência de artrópodes a pesticidas tem sido frequente nas últimas décadas, exigindo dos produtores intervenções químicas mais frequentes e com aumento substancial nas concentrações dos produtos para reduzir os níveis populacionais e os danos causados pelas pragas nas culturas agrícolas. Com a evolução da resistência, também se observa um incremento significativo nos custos de produção e nas perdas de produtividade das culturas, além de reduzir a sustentabilidade socioambiental dos sistemas de produção.

Apesar dos diferentes níveis de toxicidade aguda, todos os acaricidas testados causaram, de maneira dependente da concentração (Figura 01), exponenciais efeitos deletérios na fecundidade [espirodiclofeno:  $CE_{50} = 16,22 \text{ mg L}^{-1}$  ( $IC_{95\%}: 15,33\text{--}18,54$ ), ciflumetofeno:  $CE_{50} = 27,43 \text{ mg L}^{-1}$  ( $IC_{95\%}: 24,88\text{--}29,12$ ), propargito:  $CE_{50} = 43,65 \text{ mg L}^{-1}$  ( $IC_{95\%}: 40,19\text{--}46,11$ ), oximatrine:  $CE_{50} = 1,55 \text{ mg L}^{-1}$  ( $IC_{95\%}: 1,32\text{--}1,81$ )] e abamectina:  $CE_{50} = 33,84 \text{ mg L}^{-1}$  ( $IC_{95\%}: 31,66\text{--}35,83$ ) e exponenciais (espirodiclofeno e ciflumetofeno) e lineares (propargito, oximatrine e abamectina) na fertilidade das fêmeas da Pop.SMO do ácaro (Figura 1). Esses efeitos também foram relatados em outras espécies de ácaros praga tratados com esses acaricidas (ZANARDI et al., 2015; ANDRADE et al., 2019; SAVI et al., 2021; ZANARDI et al., 2025). De acordo com esses autores, a redução na fecundidade e/ou na fertilidade está relacionada à ação desses xenobióticos na fisiologia das estruturas reprodutivas e na supressão/inibição dos processos alimentares e metabólicos dos ácaros.

Espirodiclofeno é um xenobiótico que interfere na biossíntese de lipídios por meio da inibição da enzima acetil-coenzima A carboxilase, responsável pela formação de importantes ácidos graxos durante a vitelogênese (formação de vitelo nos ovos) dos ácaros (BRETSCHEIDER et al., 2003). Por sua vez, ciflumetofeno inibe o complexo mitocondrial II (succinato desidrogenase), responsável pela respiração celular e produção de energia dos ácaros. Embora ciflumetofeno atue em todas as fases de desenvolvimento dos ácaros, concentrações subletais deste acaricida proporcionam significativas reduções na fecundidade e na eclodibilidade das larvas dos ácaros (PERREIRA et al., 2012). Da mesma forma, o acaricida propargito atua indiretamente na fecundidade/fertilidade dos ácaros. Este ingrediente ativo inibe a ação da ATP sintase mitocondrial, enzima responsável pela produção de energia celular e metabolismo dos ácaros. Esse mecanismo provoca uma significativa redução na alimentação

e na reprodução pouco tempo após a exposição dos ácaros ao produto (HAYASHI et al., 2013). Por outro lado, abamectina é um inseticida/acaricida que causa uma significativa redução na reprodução dos organismos-alvo pela sua ação neurotóxica e, conseqüentemente, interferência na neurotransmissão dos impulsos nervosos mediados pelo gama-aminobutírico (GABA), levando a uma pronunciada disfunção, paralisia e morte das células nervosas e musculares dos indivíduos tratados. Este acaricida também bloqueia os processos metabólicos que afetam a produção de ovos e o desenvolvimento normal dos embriões (BADAWY et al., 2022). Por fim, o biopesticida à base de oximatrine possui alta capacidade de penetração nos ovos através dos estigmas embrionários, um mecanismo respiratório conectado ao córion e localizado em uma região especializada da membrana intermediária (GONÇALVES et al., 2001). No ovo, este alcaloide atua na ruptura da membrana citoplasmática, na inibição respiratória, na inibição da divisão celular (MARUTESCU et al., 2017) e na ligação aos receptores muscarínicos da acetilcolina, resultando na modulação da respiração e na disfunção do sistema nervoso central dos ácaros (CHOWAŃSKI et al., 2016). Oximatrine também atua no bloqueio da atividade das enzimas quitinases que degradam a quitina embrionária, resultando na malformação ou atraso na deposição da cutícula durante o crescimento embrionário, malformação do exoesqueleto e da estrutura muscular e falhas na eclodibilidade das larvas dos ácaros (ALI et al., 2017).

Diante da alta toxicidade aguda e dos significativos efeitos subletais na reprodução de *T. urticae* observados no presente estudo, a persistência biológica (tempo após a aplicação no qual o acaricida proporciona eficácia para o controle populacional do ácaro) dos acaricidas sobre a Pop.SMO foi investigada. Os resultados revelaram que os acaricidas à base de espiroclorfenol, ciflumetofeno, propargito, oximatrine e abamectina proporcionaram altas taxas de mortalidade (~80%) até 1 dia após a aplicação (1 DAA) e 96 horas de exposição (96 HE) dos ácaros ao contato residual dos produtos (Figura 2). No entanto, na avaliação realizada aos 3 DAA e 96 HE, o acaricida sintético à base de abamectina e o biopesticida à base de oximatrine causaram menores níveis de mortalidade em relação aos demais acaricidas testados. A partir dos 7 DAA e 96 HE, todos os acaricidas proporcionaram níveis de mortalidade inferiores a 58%. Mesmo assim, os acaricidas sintéticos à base de espiroclorfenol e propargito foram considerados os mais persistentes, entre os acaricidas avaliados, para o controle do ácaro-rajado na cultura do morangueiro. Na avaliação final (10 DAA e 96 HE), todos os acaricidas (exceto espiroclorfenol) foram considerados ineficazes para o manejo da Pop.SMO do ácaro.

**Tabela 1.** Estimativa da CL<sub>90</sub> (em mg L<sup>-1</sup>) e do intervalo de confiança dos acaricidas à base de espirodiclofeno, ciflumetofeno, propargito, oximatrine e abamectina sobre uma população de fêmeas de *Tetranychus urticae* suscetível (Pop.SUS) e uma população constantemente manejada com acaricidas à base de abamectina (Pop.SMO) em cultivos de morangueiro, 96 horas após exposição.

Acaricida	População	N <sup>a</sup>	Coefficiente angular ± EP (valor de P)	CL <sub>90</sub> (IC) <sup>b</sup>	χ <sup>2c</sup> (g.l. <sup>d</sup> )	h <sup>e</sup>	TD <sup>f</sup>
Espirodiclofeno (Envidor <sup>®</sup> 240 SC)	Pop.SUS	746	1,55 ± 0,12 (P < 0,0001)	37,02 (28,64 – 51,12)	4,90 (5)	0,98	-
	Pop.SMO	752	1,36 ± 0,11 (P < 0,0001)	53,91 (40,01 – 79,12)	4,26 (5)	0,85	1,46
Ciflumetofeno (Okay <sup>®</sup> 200 SC)	Pop.SUS	741	1,68 ± 0,13 (P < 0,0001)	122,21 (95,46 – 166,44)	8,13 (5)	1,63	-
	Pop.SMO	749	1,58 ± 0,12 (P < 0,0001)	114,42 (111,07 – 191,12)	6,81 (5)	1,36	0,94
Propargito (Omite <sup>®</sup> 720 EC)	Pop.SUS	747	1,54 ± 0,11 (P < 0,0001)	127,63 (98,38 – 177,18)	6,28 (5)	1,26	-
	Pop.SMO	757	1,39 ± 0,10 (P < 0,0001)	167,86 (125,62 – 243,02)	7,86 (5)	1,57	1,32
Oximatrine (Matrine <sup>®</sup> 0,2 SL)	Pop.SUS	769	1,50 ± 0,11 (P < 0,0001)	6,90 (5,29 – 9,63)	9,23 (5)	1,85	-
	Pop.SMO	767	1,43 ± 0,11 (P < 0,0001)	7,87 (5,93 – 11,29)	7,45 (5)	1,49	1,14
Abamectina (Abamectina <sup>®</sup> 18 EC)	Pop.SUS	768	1,51 ± 0,11 (P < 0,0001)	22,72 (17,41 – 31,78)	7,21 (5)	1,44	-
	Pop.SMO	758	1,54 ± 0,11 (P < 0,0001)	83,81 (64,58 – 116,33)	6,86 (5)	1,37	3,69

<sup>a</sup>N: número de ácaros testado;

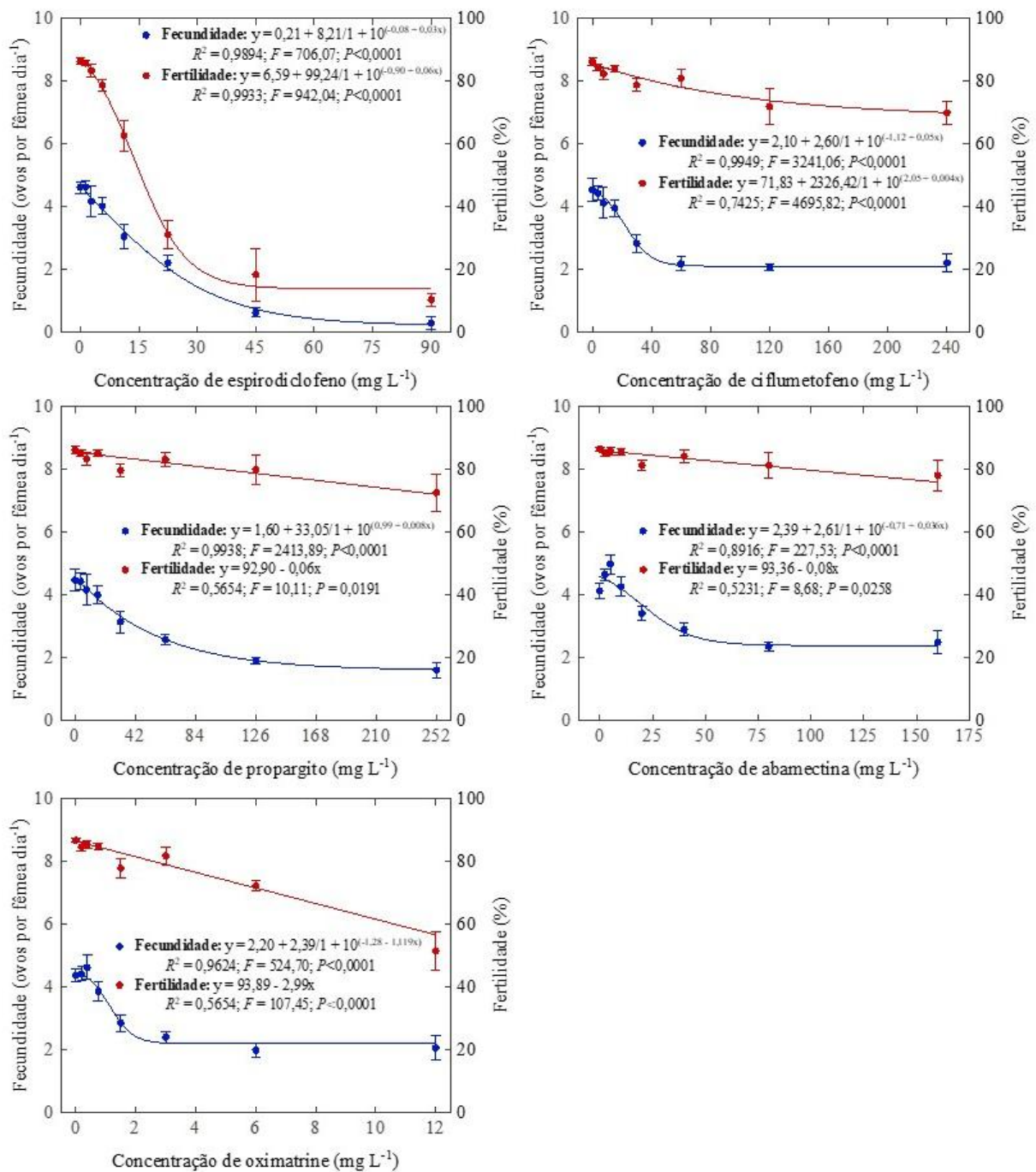
<sup>b</sup>IC: intervalo de confiança de 95% de probabilidade de erro;

<sup>c</sup>χ<sup>2</sup>: valor do qui-quadrado de Pearson;

<sup>d</sup>g.l.: graus de liberdade;

<sup>e</sup>h: fator de heterogeneidade

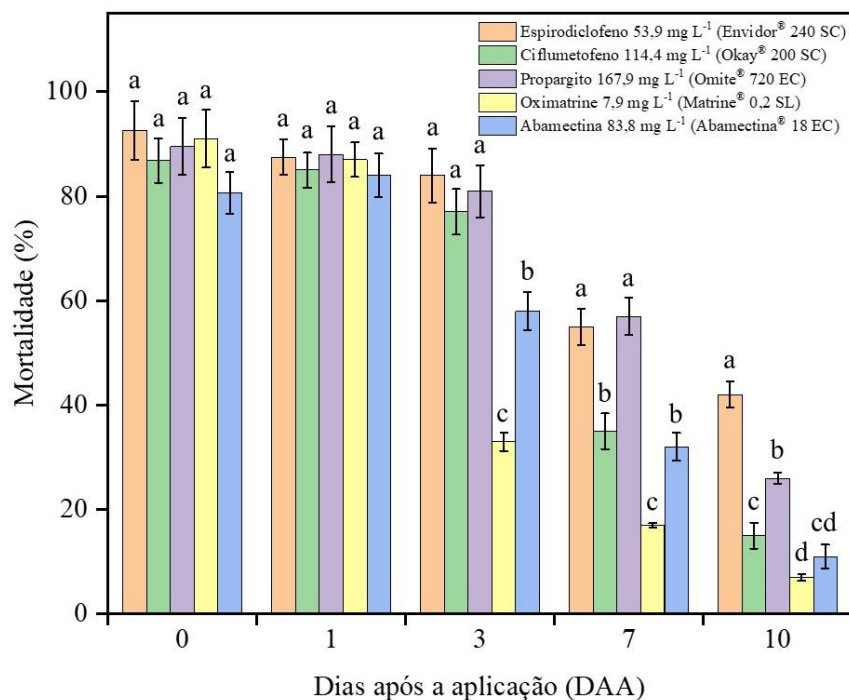
<sup>f</sup>TD: toxicidade aguda diferencial [CL<sub>90</sub> da Pop.SMO (+ tolerante)/CL<sub>90</sub> da Pop.SUS (+ suscetível)].



**Figura 1** – Ação de diferentes concentrações dos acaricidas à base de espirodiclofeno, ciflumetofeno, propargito, oximatrine e abamectina na fecundidade e fertilidade de uma população de *Tetranychus urticae* constantemente manejada com acaricidas à base de abamectina (Pop.SMO) após 96 horas de exposição das fêmeas ao contato residual dos produtos. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

A menor persistência biológica do acaricida sintético à base de abamectina para a Pop.SMO suporta a hipótese de evolução da resistência dessa população do ácaro-rajado aos acaricidas à base de abamectina observada nos testes de toxicidade aguda e de efeitos subletais na reprodução. A menor persistência biológica do acaricida à base de abamectina registrada neste estudo sugere a necessidade de reaplicações mais frequentes e com doses mais elevadas do acaricida para supressão da Pop.SMO nos cultivos de morangueiro. Essa constatação tem gerado dificuldades para o manejo do ácaro, aumento nos custos de produção e diminuição do potencial produtivo, da qualidade e da rentabilidade da atividade nas unidades de produção de morangos do Extremo-Oeste Catarinense.

Além da abamectina, baixa persistência biológica também foi observada para o biopesticida à base de oximatrine. Este resultado está em consonância com os obtidos por Zanardi et al. (2015) e Zanardi et al. (2025), que observaram altas taxas de mortalidade ( $\geq 80\%$ ) de fêmeas de *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) e de *Tetranychus ogmophallos* Ferreira & Flechtmann (Acari: Tetranychidae) tratadas com biopesticidas à base de matrine (outro alcaloide obtido a partir de raízes secas de *S. flavescens*) e oximatrine (Matrine<sup>®</sup> 0,02 SL) até 1 DAA e 72 e 96 horas de exposição das fêmeas aos resíduos, respectivamente. Entretanto, Andrade et al. (2019) constataram níveis de mortalidade superiores a 80% de fêmeas de *Brevipalpus yothersi* Baker (Acari: Tenuipalpidae) tratadas com uma formulação comercial à base de oximatrine (Kingbo<sup>®</sup>) até 5 DAA. Além disso, Andrade et al. (2020) e Savi et al. (2021) relataram atividade residual de pelo menos 10 dias para fêmeas de *Oligonychus ilicis* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) e ninfas de *Tetranychus evansi* Baker e Pritchard (Acari: Tetranychidae) tratadas com uma formulação comercial à base de oximatrine (Kingbo<sup>®</sup> 0,02 SL), respectivamente. Essas diferenças são atribuídas à forma como o biopesticida é utilizado (extrato bruto, fração ou formulação) no controle da praga-alvo, à quantidade de calda depositada nas superfícies tratadas, ao tempo de exposição dos ácaros aos resíduos, à degradação dos ingredientes ativos pelos fatores ambientais e à toxicidade diferencial dos biopesticidas sobre as espécies-alvo.



**Figura 2** – Mortalidade de fêmeas de uma população Pop.SMO de *Tetranychus urticae* expostas aos acaricidas à base de espirodiclofeno, ciflumetofeno, propargito, oximatrine e abamectina em diferentes tempos residuais [0, 1, 3, 7 e 10 dias após aplicação (DAA)] e 96 horas de exposição (HE) ao contato residual dos produtos. Barras verticais sobre cada coluna indicam o erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra, em cada tempo residual, não diferem estatisticamente (GLM com distribuição quase-binomial seguido por *post hoc* do teste de Tukey,  $P < 0,05$ ).

Em geral, pesticidas botânicos tendem a ser mais suscetíveis à degradação pela temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, radiações ultravioleta (UV) e visível (Vis) que incidem sobre os produtos aplicados (TUREK; STINTZING, 2013; RIZVI et al., 2019). Dessa forma, a adição de adjuvantes protetores no tanque de pulverização e o desenvolvimento de nanoformulações podem reduzir a biodegradação ambiental (AYILARA et al., 2023) e aumentar o período de proteção das plantas contra reinfestações das praga-alvos nos agroecossistemas (YADAV et al., 2020). Embora a baixa persistência biológica do biopesticida à base de oximatrine possa ser considerada uma desvantagem para os sistemas de produção de morangos devido à necessidade de reaplicação mais frequente do biopesticida, essa característica reduz a pressão de seleção e os riscos de seleção de espécimes de ácaros que são resistentes aos componentes das formulações (SIEGWART et al., 2015). Além disso, a baixa persistência biológica do biopesticida à base de oximatrine também reduz o impacto sobre os

agentes de controle biológico do ácaro e de outras pragas que ocorrem nas áreas de produção de morangos. Este fenômeno está associado ao menor período de ação deste fitoquímico sobre organismos não-alvo, permitindo uma rápida recolonização e o restabelecimento do equilíbrio ecológico nos agroecossistemas. Essa possibilidade é suportada pelo estudo de Andrade et al. (2019), que demonstrou nenhum impacto significativo nos níveis populacionais dos ácaros predadores [*Amblyseius chiapensis* De Leon, *Amblyseius* sp. Berlese e *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae)] em pomares cítricos tratados com uma formulação comercial à base de oximatrine (Kingbo<sup>®</sup> 0,02 SL). Portanto, estudos que avaliam os níveis de compatibilidade deste fitoquímico com agentes de controle biológico são importantes para auxiliar na recomendação e na aplicabilidade desses compostos nos programas de manejo integrado de pragas.

No teste de eficácia, os resultados indicaram que os acaricidas à base de espirodiclofeno, ciflumetofeno, propargito e oximatrine proporcionaram alta eficácia no controle do ácaro-rajado (Tabela 2). Esses resultados estão em congruência aos obtidos por Zanardi et al. (2015) e Andrade et al. (2019) que demonstraram alta eficácia do acaricida sintético à base de espirodiclofeno (Envidor<sup>®</sup> 240 SC) e dos biopesticidas à base de matrine (formulação pré-comercial) e oximatrine (Kingbo<sup>®</sup> 0,02 SL) para o manejo populacional dos ácaros *P. citri* e *Brevipalpus yothersi* Baker em condições de campo, respectivamente. Além disso, El-Gammal et al. (2022) demonstraram que aplicações de acaricidas à base de espirodiclofeno e ciflumetofeno proporcionaram altos níveis de controle de *P. citri* em plantas de limoeiro. Da mesma forma, Meetkumar e Shukla (2023) reportaram que o acaricida à base de propargito causou expressiva redução nos níveis populacionais de *T. urticae* em plantas de quiabo. Savi et al. (2021) e Zanardi et al. (2025) também relataram alta efetividade do biopesticida à base de oximatrine contra *T. evansi* e *T. ogmophallos* em plantas de tomateiro e de amendoim forrageiro tratadas com o fitoquímico.

**Tabela 2** – Eficiência dos acaricidas à base de espirodiclofeno, ciflumetofeno, propargito, oximatrine e abamectina para o controle de uma população de *Tetranychus urticae* frequentemente manejada com acaricidas à base de abamectina (Pop.SMO) em cultivos de morangueiro, 96 horas após a aplicação.

Tratamento	Concentração (mg L <sup>-1</sup> )	Número médio de ácaros vivos por folíolo <sup>1</sup>		Eficiência de controle <sup>2</sup> (%)	Taxa instantânea de crescimento <sup>3</sup> (ri)
		Pré-amostragem	Pós-aplicação (96 h)		
Espirodiclofeno (Envidor <sup>®</sup> 240 SC)	53,9	21,6 ± 2,34 a	2,4 ± 0,18 c	88,9	-0,549 ± 0,0249 c
Ciflumetofeno (Okay <sup>®</sup> 200 SC)	114,4	19,5 ± 1,23 a	1,7 ± 0,23 c	91,3	-0,610 ± 0,0261 c
Propargito (Omite <sup>®</sup> 720 EC)	167,9	20,3 ± 2,11 a	1,2 ± 0,25 c	94,1	-0,707 ± 0,0211 c
Oximatrine (Matrine <sup>®</sup> 0,2 SL)	7,9	18,9 ± 2,44 a	2,5 ± 0,16 c	86,8	-0,506 ± 0,0200 c
Abamectina (Abamectina <sup>®</sup> 18 EC)	83,8	21,1 ± 1,98 a	5,1 ± 0,19 b	75,8	-0,355 ± 0,0107 b
Controle	-	22,2 ± 2,29 a	21,8 ± 0,17 a	-	0,005 ± 0,0009 a
<i>F</i> <sub>5, 295</sub>		4,097	368,310		29,443
Valor de <i>P</i>		0,0900	<0,0001		<0,0001

<sup>1</sup>Dados (média ± EP) seguidos pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente [GLM com distribuição quase-Poisson seguido de *post hoc* do teste de Tukey ( $P<0,05$ )].

<sup>2</sup>Eficiência de controle calculada pela fórmula de Henderson e Tilton (1955).

<sup>3</sup>Dados (média ± EP) seguidos pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente [GLM com distribuição Gaussiana seguido de *post hoc* do teste de Tukey ( $P<0,05$ )].

Por outro lado, eficácia de aproximadamente 75% foi observada em plantas de morangueiro tratadas com o acaricida à base de abamectina (Tabela 2), sugerindo que a Pop.SMO apresenta maiores níveis de tolerância ao acaricida do que a Pop.SUS. Esses resultados indicam que as falhas no controle do ácaro-rajado relatadas pelos produtores de morangueiro da região Extremo-Oeste Catarinense estão, em parte, associadas à evolução da resistência do ácaro aos acaricidas à base de abamectina. O uso constante desse xenobiótico aumenta a pressão de seleção e reduz a ação da abamectina como acaricida para supressão populacional da praga nas unidades de produção de morango da região. Além do constante uso de abamectina, o ácaro-rajado possui características bioecológicas (alta capacidade reprodutiva, ciclo curto, reprodução sexuada/assexuada e preferência por climas secos e quentes) que aceleram o processo de evolução da resistência e diminuem a eficácia das táticas químicas de controle. Por isso, os resultados deste estudo indicam que os acaricidas sintéticos à base de espiroclorfenol, ciflumetofeno e propargito e o biopesticida à base de oximatrina constituem ferramentas importantes para o manejo do ácaro-rajado nos cultivos de morangueiro. Esses xenobióticos podem ser utilizados (em consonância com a legislação brasileira de agrotóxicos) em substituição aos acaricidas à base de abamectina e/ou em programas de rotação de ingredientes ativos com distintos mecanismos de ação para o manejo populacional do ácaro-rajado na cultura do morangueiro. Além disso, o biopesticida à base de oximatrina também pode ser utilizado em sistemas orgânicos de cultivo de morangueiro, onde táticas efetivas de controle de pragas são limitadas ou ausentes. O biopesticida à base de oximatrina também possui baixa persistência biológica, o que permite a colheita de morangos logo após a sua aplicação. Além de eficazes, nenhum efeito fitotóxico significativo foi observado nas plantas quando esses acaricidas foram aplicados na CL<sub>90</sub> e de forma isolada. Entretanto, o uso desses acaricidas em mistura no tanque de pulverização requer estudos de compatibilidade, bioefetividade e fitotoxicidade antes de qualquer recomendação desses xenobióticos para o manejo do ácaro-rajado na cultura do morangueiro.

## 6. CONCLUSÕES

- Os acaricidas espiroclorfenol, ciflumetofeno, propargito e abamectina e o biopesticida à base de oximatrina proporcionam alta toxicidade aguda para o ácaro-rajado *T. urticae*, de

maneira dependente da população (Pop.SUS × Pop.SMO), concentração e tempo de exposição dos ácaros ao contato residual dos produtos;

- A Pop.SMO apresenta tolerância de 3,69 vezes maior do que a Pop.SUS para o acaricida sintético à base de abamectina;
- Os acaricidas espiroclorfenol, ciflumetofeno, propargito e abamectina e o biopesticida à base de oximatrina reduzem exponencialmente a fecundidade e linearmente a fertilidade da Pop.SMO do ácaro-rajado;
- O acaricida abamectina e o biopesticida à base de oximatrina apresentam menor persistência biológica (período de proteção) do que os acaricidas sintéticos à base de espiroclorfenol, ciflumetofeno e propargito para o manejo da Pop.SMO do ácaro-rajado;
- O acaricida abamectina possui menor eficácia para o manejo da Pop.SMO do ácaro-rajado do que os acaricidas sintéticos espiroclorfenol, ciflumetofeno e propargito e o biopesticida à base de oximatrina;
- Os acaricidas sintéticos espiroclorfenol, ciflumetofeno e propargito e o biopesticida à base de oximatrina constituem ferramentas importantes para serem utilizados em substituição aos acaricidas à base de abamectina ou em programas de rotação de ingredientes ativos com mecanismos de ação distintos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-ALLA, H.I.; SOUGUIR, D.; RADWAN, M.O. Genus *Sophora*: a comprehensive review on secondary chemical metabolites and their biological aspects from past achievements to future perspectives. **Archives of Pharmacal Research**, v. 44, p. 903–986, 2021.

ADESANYA, A.W.; LAVINE, M.D.; MOURAL, T.W.; LAVINE, L.C.; ZHU, F.; WALSH, D.B. Mechanisms and management of acaricide resistance for *Tetranychus urticae* in agroecosystems. **Journal of Pest Science**, v. 94, p. 639-663, 2021.

AGROFIT - **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasil, 2025. Disponível em: <[https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 04 ago. 2025.

ALBENDIN, G.; GARCIA, M.D.C.; MOLINA, J.M. Multiple natural enemies do not improve two spotted spider mite and flower western thrips control in strawberry tunnels. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 75, p. 63–70, 2015.

ALI, S.; ZHANG, C.; WANG, Z.; WANG, X.; WU, J.; CUTHBERTSON, A.G.S.; SHAO, Z.; QIU, B. Toxicological and biochemical basis of synergism between the entomopathogenic

fungus *Lecanicillium muscarium* and the insecticide matrine against *Bemisia tabaci* (Gennadius). **Scientific Reports**, v. 7, p. 1–13, 2017.

ALY, M.F. Biological control of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* with predatory phytoseiid mites *Neoseiulus californicus* and *Amblyseius swirskii* (Acari: Tetranychidae: Phytoseiidae) in strawberry. **Journal of Plant Protection and Pathology**, v. 14, p. 83-88, 2023.

ANDRADE, D.J.; RIBEIRO, E.B.; MORAIS, M.R.; ZANARDI, O.Z. Bioactivity of an oxymatrine-based commercial formulation against *Brevipalpus yothersi* Baker and its effects on predatory mites in citrus groves. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 176, p. 339-345, 2019.

ANDRADE, D.J.; ROCHA, C.M.; MATOS, S.T.S.; ZANARDI, O.Z. Oxymatrine-based bioacaricide as a management tool against *Oligonychus ilicis* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) in coffee. **Crop Protection**, v. 134, p. 105-182, 2020.

ANTUNES, L.E.C.; REISSER-JUNIOR, C.; BONOW, S.; SCHWENGBER, J.E. Morangos: os desafios da produção brasileira. **Campo & Negócios - Anuário HF**, v. 1, p. 92-94, 2023.

AYILARA, M.S.; ADELEKE, B.S.; AKINOLA, S.A.; FAYOSE, C.A.; ADEYEMI, U.T.; GBADEGESIN, L.A.; OMOLE, R.K.; JOHNSON, R.M.; UTHMAN, Q.O.; BABALOLA, O.O. Biopesticides as a promising alternative to synthetic pesticides: a case for microbial pesticides, phytopesticides, and nanobiopesticides. **Frontiers of Microbiology**, v. 14, p. 1040901, 2023.

BADAWY, M.E.I.; MAHMOUD, M.S.; KHATTAB, M.M. Toxicity, joint action effect, and enzymatic assays of abamectin, chlorfenapyr, and pyridaben against the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. **The Journal of Basic and Applied Zoology**, v. 83, p. 22, 2022.

BALDIN, K.B.; NEGRELLI, W.S.; LIMA, C.S.M.; LEANDRINI, J.A.; JESUS-OLIVEIRA, R.; RUFATO, L. Caracterização agrônômica de plantas de morangueiro de terceiro ciclo de produção cultivadas em substrato. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 22, p. 594-602, 2023.

BARRAZUETA-ROJAS, S.G.; FALCONÍ, J.F.; NAVARRO-OJEDA, M.N.; OLEAS-LÓPEZ, J.M.; MENDOZA-ZURITA, G.X. Physicochemical properties and application of edible coatings in strawberry (*Fragaria x ananassa*) preservation. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 71, p. 8631-8641, 2018.

BARROS, S.L.; SANTOS, N.C.; MELO, M.O.P.; NASCIMENTO, A.P.S.; DE SOUSA, F.M.; SANTOS, R.M.S.; FIGUEIRÊDO, D.V.P. Qualidade físico-química e textural de geleias elaborados com morango, pimenta e maltodextrina. **Research, Society and Development**, v. 9, p. e153911868-e153911868, 2020.

BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; AWALKER, S. Fitting linear mixed-effects models using *lme4*. **Journal of Statistical Software**, v. 67, p. 1–48, 2015.

BERNARDI, D.; BOTTON, M.; CUNHA, U.S.; BERNARDI, O.; MALAUSA, T.; GARCIA, M.S.; NAVA, D.E. Effects of azadirachtin on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and its compatibility with predatory mites (Acari: Phytoseiidae) on strawberry. **Pest Management Science**, v. 69, p. 75-80, 2013.

BERNARDI, D.; BOTTON, M.; NAVA, D.E.; ZAWADNEAK, M.A.C. **Guia para a identificação e monitoramento de pragas e seus inimigos naturais em morangueiro**. Brasília: Embrapa, 2015. 46p.

- BOTTON, M.; NAVA, D.E. **Ácaro rajado**, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/morango/producao/ins-etos-e-acaros-praga/acaro-rajado>>. Acesso em: 04 ago. 2025.
- BRETSCHNEIDER, T.; BENET-BUCHHOLZ, J.; FISCHER, R.; NAUEN, R. Spirodiclofen and spiromesifen - novel acaricidal and insecticidal tetrionic acid derivatives with a new mode of action. **Chimia**, v. 57, p. 697-701, 2003.
- CAMPOS, F.S.; OCTAVEUS, M.; LIMA, C.S.M.; FEY, R. Viabilidade, custo de implantação e condução de morangueiro fora de solo em substrato em sistema orgânico de produção. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 22, p. 603-611, 2023.
- CANASSA, F.; ESTECA, F.C.; MORAL, R.A.; MEYLING, N.V.; KLINGEN, I.; DELALIBERA, I. Root inoculation of strawberry with the entomopathogenic fungi *Metarhizium robertsii* and *Beauveria bassiana* reduces incidence of the two-spotted spider mite and selected insect pests and plant diseases in the field. **Journal of Pest Science**, v. 93, p. 261-274, 2020.
- CHENG, X.; YE, J.; HE, H.; LIU, Z.; XU, C.; WU, B.; XIONG, X.; SHU, X.; JIANG, X.; QIN, X. Synthesis, characterization and in vitro biological evaluation of two matrine derivatives. **Scientific Reports**, v. 8, p. 15686, 2018.
- CHOWAŃSKI, S.; ADAMSKI, Z.; MARCINIAK, P.; ROSIŃSKI, G.; BÜYÜKGÜZEL, E.; BÜYÜKGÜZEL, K.; FALABELLA, P.; SCRANO, L.; VENTRELLA, E.; LELARIO, F.; BUFO, S.A. A review of bioinsecticidal activity of Solanaceae alkaloids. **Toxins**, v. 8, p. 60, 2016.
- CUA-BASULTO, M.E.; RUIZ-SÁNCHEZ, E.; CHAN-CUPUL, W.; REYES-RAMÍREZ, A.; BALLINA-GÓMEZ, H.; HERNÁNDEZ NÚÑEZ, E. Efecto de acaricidas químicos en la mortalidad de la araña roja *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 25, p. 1-9, 2022.
- DELEO, J.P.; GERALDINI, F.; DIOGO, J.V.; BOTEON, M. Morango: produção da fruta é um modelo de negócio lucrativo para o agricultor familiar. **Hortifruti Brasil/Cepea**, n. 237, p. 6-12, 2023.
- DEMÉTRIO, C.G.B.; HINDE, J.; MORAL, R.A. Models for overdispersed data in entomology. In: FERREIRA, C.P.; GODOY, W.A.C. (Eds.). **Ecological modelling applied to entomology**. Springer: Switzerland, 2014. p. 219-259.
- DINAGRO AGROPECUÁRIA LTDA. **Matrine, biophora, oxymatrine - registrado no Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA sob no 08613**, 2017. Disponível em: <[https://assets.revistacultivar.com.br/46049cef-8611-4311-b98b-486e179751fe\\_matrine\\_bula.pdf](https://assets.revistacultivar.com.br/46049cef-8611-4311-b98b-486e179751fe_matrine_bula.pdf)>. Acessado em: 17 ago. 2025.
- DUARTE, A.D.F.; PAZINI, J.B.; DUARTE, J.L.P.; SILVA, L.R.; CUNHA, U.S. Compatibility of pesticides used in strawberry crops with predatory mites *Stratiolaelaps scimitus* (Womersley) and *Cosmolaelaps brevistilis* (Karg). **Ecotoxicology**, v. 29, p. 148-155, 2020.
- EL-GAMMAL, H.A.; IBRAHIM, E.D.S.; AHMED, M.M. Field efficacy of acaricides on citrus red mite and dissipation study for cyflumetofen and pyridabin in lemon using quechers method and LC-ESI-MS. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 65, p. 139-146, 2022.
- EL-SAIEDY, E.S.M.; FAHIM, S.F. Evaluation of two predatory mites and acaricide to suppress *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on strawberry. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 45, p. 97, 2021.

- ESCOBAR-GARCIA, H.A.; ANDRADE, D.J. Resistance levels to propargite in field populations of *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae) from Brazil's citrus belt. **Crop Protection**, v. 196, p. 107267, 2025.
- FAGUNDES, J.P.R.; GOBBI, P.C.; DUARTE, A.D.F.; BONOW, S.; CUNHA, U.S. Antibiosis of strawberry genotypes to the spotted spider mite. **Ciência Rural**, v. 54, p. e20210677, 2024.
- FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Production quantities of strawberries by country**. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- FERREIRA, C.B.; ANDRADE, F.H.; RODRIGUES, A.R.; SIQUEIRA, H.A.; GONDIM JR, M.G. Resistance in field populations of *Tetranychus urticae* to acaricides and characterization of the inheritance of abamectin resistance. **Crop Protection**, v. 67, p. 77-83, 2015.
- GHATTI, S.S.; GARAGA, M.; CHATTERJEE, A.; THIMMANNAGARI, S.; CHERUPALLI, S.R.; HEBBANI, N.S.; KRISHNAMANI, M.; SONI, G. A comprehensive review on *Sophora japonica*: ethnomedicinal, phytochemistry & pharmacological aspects. **Natural Products Journal**, v. 14, p. 1–18, 2024.
- GONÇALVES, M.E.; OLIVEIRA, J.V.; BARROS, R.; TORRES, J.B. Effect of plant extracts on immature stages and adults females of *Mononychellus tanajoa* (Bondar) (Acari: Tetranychidae). **Neotropical Entomology**, v. 30, p. 305-309, 2001.
- GONG, Y.J.; CHEN, J.C.; ZHU, L.; CAO, L.J.; JIN, G.H.; HOFFMANN, A.A.; ZHONG, C-F.; WANG, P.; LIN, G.; WEI, S. J. Preference and performance of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on strawberry cultivars. **Experimental and Applied Acarology**, v. 76, p. 185-196, 2018.
- HAYASHI, N.; SASAMA, Y.; TAKAHASHI, N.; IKEMI, N. Cyflumetofen, a novel acaricide – its mode of action and selectivity. **Pest Management Science**, v. 69, p. 1080-1084, 2013.
- HENDERSON, C.F.; TILTON, E.W. Tests with acaricides against the brown wheat mite. **Journal of Economic Entomology**, v. 48, p. 157-161, 1955.
- HOTHORN, T.; BRETZ, F.; WESTFALL, P. Simultaneous inference in general parametric models. **Biometrical Journal**, v. 50, p. 346–363, 2008.
- HUAN, D.Q.; HOP, N.Q.; SON, N.T. Oxymatrine: a current overview of its health benefits. **Fitoterapia**, v. 168, p. 105565, 2023.
- IBD – Instituto Biodinâmico: Certificações, 2021. **Declaração de conformidade**. Disponível em: <<https://www.dinagro.com.br/wp-content/uploads/arquivos/matrine/certificacao-ibd.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2025.
- ISMAN, M.B. Commercialization and regulation of botanical biopesticides: a global perspective. In: KOUL, O. **Development and commercialization of biopesticides**. Elsevier: Academic Press, 2023. p. 25-36.
- KARLEC, F.; DUARTE, A.F.; OLIVEIRA, A.C.B.; CUNHA, U.S. Development of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in different strawberry cultivars. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, p. e-171, 2017.
- LI, X.; SUN, J.; XU, Q.; DUAN, W.; YANG, L.; WU, X.; LU, G.; ZHANG, L.; ZHENG, Y. (2020). Oxymatrine inhibits colorectal cancer metastasis via attenuating PKM2-mediated aerobic glycolysis. **Cancer Management and Research**, v. 12, p. 9503-9513, 2020.

- LIANG, X.; CHEN, Q.; WU, C.; ZHAO, H. The joint toxicity of bifenthrin and propargite mixture against *Tetranychus urticae* Koch. **International Journal of Acarology**, v. 44, p. 35-40, 2018.
- MACHADO, J. Strawberry farming with lichens: an alternative to the environment. **Revista Geama**, v. 2, p. 67-81, 2016.
- MARČIĆ, D.; MEDO, I. Acaricidal activity and sublethal effects of an oxymatrine-based biopesticide on two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 64, p. 375-391, 2014.
- MARTINS, I.A.; SILVEIRA, E.C.; SOUZA, D.C.; BERNARDI, L.; SOUZA, B.H.; RESENDE, L.V. Resistance of strawberry genotypes to the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Persian Journal of Acarology**, v. 11, p. 255-262, 2022.
- MARUTESCU, L.; POPA, M.; SAVIUC, C.; LAZAR, V.; CHIFIRIUC, M.C. Botanical pesticides with virucidal, bactericidal, and fungicidal activity. In **New pesticides and soil sensors**. Academic Press, 2017. p. 311-335.
- MEETKUMAR, P.; SHUKLA, A. Efficacy of acaricides against two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch infesting okra. **Journal of Experimental Zoology India**, v. 26, p. 2499, 2023.
- MICHEREFF-FILHO, M.; SCHMIDT, F.; ZAWADNEAK, M.; SOUSA, N.D.M.; GUIMARAES, J.; MOURA, A.P., OLIVEIRA, C.M.; TORRES, J.B.; SANTOS, R.S.S.; RIBEIRO, M.G.P.M.; LOPES, L.H.R. **Guia para identificação de pragas do morangueiro**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2020. 120p. (DOCUMENTOS, 178).
- MONTOYA, A.; GALANO-FLORES, G.; RODRÍGUEZ, H.; FRANCO, A.A.; ZANARDI, O.Z.; YAMAMOTO, P.T. Toxicidad de acaricidas sobre *Tetranychus urticae* (Koch) en laboratorio. **Revista Protección Vegetal**, v. 32, p. 60-67, 2017.
- MOURA, A.P. **Manejo do ácaro-rajado e de tripes em morangueiro no Distrito Federal**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2015. 8p. (COMUNICADO TÉCNICO, 108).
- NELDER, J.A.; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 135, n. 3, p. 370-384, 1972.
- NUNES, G.; NOVELLO, D. Morango (*Fragaria x ananassa* Duch): produtividade, composição química, nutricional e sensorial. **Revista Valore**, v. 6, p. 6002, 2021.
- ORIGINLAB. **OriginPro free trial for students**. Disponível em: <[https://www.originlab.com/demodownload\\_st.aspx?d=2&s=S](https://www.originlab.com/demodownload_st.aspx?d=2&s=S)>. Acesso em: 10 maio 2025.
- PAPAROZZI, E.T.; MEYER, G.E.; SCHLEGEL, V.; BLANKENSHIP, E.E.; ADAMS, S.A.; CONLEY, M.E.; LOSEKE, B.; READ, P.E. Strawberry cultivars vary in productivity, sugars and phytonutrient content when grown in a greenhouse during the winter. **Scientia Horticulturae**, v. 227, p.1-9, 2018.
- PEREIRA, E.H.; FLORESTI, A.P.; DA SILVA GOMES, H.A. Elaboração do processo de beneficiamento do cultivo morango Pircinque. **Revista Engenho**, v. 13, p. 4-17, 2021.
- PEREIRA, L.C.; SOUZA, A.D.; PAZIN, M.; DORTA, D.J. Mitocôndria como alvo para avaliação de toxicidade de xenobiótico. **Revista Brasileira de Toxicologia**, v. 25, p. 1-14, 2012.

- PEREIRA, N. A. S.; NETO, A. C. F.; BONFÁ, C. S.; SANTOS, L. C. Análise de viabilidade financeira e de risco da moranguicultura: um estudo de caso para datas, Minas Gerais. **Revista IRRIGA, Brazilian Journal of Irrigation & drainage**, v.28, p.37, 2023.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. 2023. 1710 p.
- RADMANN, E.B.; BIANCHI, V.J.; OLIVEIRA, R.P.; FACHINELLO, J.C. Caracterização e diversidade genética de cultivares de morangueiro. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 84-87, 2006.
- RESENDE, J.T.V.; LIMA-FILHO, R.B.; RIBEIRO, L.K.; CORRÊA, J.V.W.; MACIEL, C.D.G. Strawberry genotypes with resistance to *Tetranychus urticae* mediated by leaf trichomes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, p. e006920, 2020.
- RIZVI, S.A.H.; XIE, F.; LING, S.; ZENG, X. Development and evaluation of emulsifiable concentrate formulation containing *Sophora alopecuroides* L. extract for the novel management of Asian citrus psyllid. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 21871–21881, 2019.
- SANHUEZA, R.M.V.; HOFFMANN, A.; ANTUNES, L.E.C.; FREIRE, J.M. **Sistema de produção de morango para mesa na Região da Serra Gaúcha e Encosta Superior do Nordeste, 2005**. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Morango/MesaSerraGaucha/>>. Acesso em: 04 ago. 2025.
- SAS INSTITUTE. **Statistical analysis system: getting started with the SAS learning**. Version 9.2. Cary, 2011.
- SATO, M.E.; DA SILVA, M.Z.; DA SILVA, R.B.; DE SOUZA FILHO, M.F.; RAGA, A. Monitoring of resistance to abamectin and fenpyroximate in *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in several crops in the state of São Paulo, Brazil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, p. 217-223, 2021.
- SATO, M.E.; SILVA, M.Z.; SILVA, R.B.; SOUZA-FILHO, M.F.; RAGA, A. Monitoramento da resistência de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) a abamectin e fenpyroximate em diversas culturas no estado de São Paulo. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, p. 217-223, 2009.
- SAVI, P.J.; MARTINS, M.B.; MORAES, G.J.; HOUNTONDJI, F.C.C.; ANDRADE, D.J. Bioactivity of oxymatrine and azadirachtin against *Tetranychus evansi* (Acari: Tetranychidae) and their compatibility with the predator *Phytoseiulus longipes* (Acari: Phytoseiidae) on tomato. **Systematic and Applied Acarology**, v. 26, p. 1264-1279, 2021.
- SIEGWART, M.; GRAILLOT, B.; BLACHERE-LOPEZ, C.; BESSE, S.; BARDIN, M.; NICOT, P.C.; LOPEZ-FERBER, M. Resistance to bio-insecticides or how to enhance their sustainability: a review. **Frontiers of Plant Science**, v. 6, p. 138200, 2015.
- SIMS, S.R.; GREENPLATE, J.T.; STONE, B.; CAPRIO, M.A.; GOULD, F. Monitoring strategies for early detection of Lepidoptera resistance to *Bacillus thuringiensis* insecticidal proteins. In: Brown, T.M. (Ed.), **Molecular genetics and evolution of pesticide resistance**. American Chemical Society, Washington, DC, 1996. p. 229–242
- SKROVANKOVA, S.; SUMCZYNSKI, D.; MLCEK, J.; JURIKOVA, T.; SOCHOR, J. Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, p. 24673-24706, 2015.

- SOUSA, V.; VENTURA, M.U.; HOSHINO, A.T.; HATA, F.T.; CONSTANTINO, L.V. Development and population growth of the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch) on strawberry fertilized with different doses and sources of organic fertilizers. **International Journal of Acarology**, v. 47, p. 528-535, 2021.
- SOUZA, A.G.; FASSINA, A.C.; SARAIVA, F.R.S. Compostos bioativos e atividade antioxidante em frutas nativas do Brasil. **Agrotrópica**, v. 30, p. 73-78, 2018.
- STARK, J.D.; BANKS, J.E. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 48, p. 505-519, 2003.
- SUN, D.Q.; WANG, J.; YANG, N.; MA, H. Matrine suppresses airway inflammation by downregulating SOCS3 expression via inhibition of NF- $\kappa$ B signaling in airway epithelial cells and asthmatic mice. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 477, p. 83-90, 2016.
- TAKAHASHI, N.; NAKAGAWA, H.; SASAMA, Y.; IKEMI, N. Development of a new acaricide, cyflumetofen. **Journal of Pesticide Science**, v. 37, p. 263-264, 2012.
- TUREK, C.; STINTZING, F.C. Stability of essential oils: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 12, p. 40-53, 2013.
- VAN LEEUWEN, T.; TIRRY, L.; YAMAMOTO, A.; NAUEN, R.; DERMAUW, W. The economic importance of acaricides in the control of phytophagous mites and an update on recent acaricide mode of action research. **Pesticide Biochemistry & Physiology**, v. 121, p. 12-21, 2015.
- VERONA, L.A.F.; BRUGNARA, E.C.; NESI, C.N.; GROSSI, R.; ANTUNES, L.E.C. Desempenho produtivo de cultivares de morango no Oeste de Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, v. 24, p. 82-85, 2011.
- VERONEZ, B.; SATO, M.E.; NICASTRO, R.L. Toxicidade de compostos sintéticos e naturais sobre *Tetranychus urticae* e o predador *Phytoseiulus macropilis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 511-518, 2012.
- Wael, M.K.; MOHAMED, S.K. Comparative toxicity study of different acaricides in laboratory prelude for field efficacy assessment against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Egyptian Journal of Plant Protection Research Institute**, v. 2, p. 576 – 585, 2019.
- WANG, H.; DING, H. Screening of alkaloids in *Sophora flavescens* with liquid chromatography tandem data-dependent acquisition mass spectrometry. **Journal of Pharmaceutical Research International**, v. 35, p. 37-47, 2023.
- WANG, Z.; CANG, T.; WU, S.; WANG, X.; QI, P.; WANG, X.; ZHAO, X. Screening for suitable chemical acaricides against two-spotted spider mites, *Tetranychus urticae*, on greenhouse strawberries in China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 163, p. 63-68, 2018.
- WU, L.C.; LIUA, S.; WEI, J.; LI, D.; LIU, X.; WANG, J.; WANG, L. Synthesis and biological evaluation of matrine derivatives as anti-hepatocellular cancer agents. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, v. 26, p. 4267-4271, 2016.
- YADAV, R. Biopesticides: current status and future prospects. **Proceedings of the International Academy of Ecology and Science**, v. 12, p. 211, 2022.

- YUAN, J. Biological activity of alkaloids from *Sophora favesces* Ait to pests. **Pesticides**, v. 16, p. 284–287, 2004.
- ZANARDI, O.Z.; BELEGANTE, F.; MORESCO, C.; MIQUELOTO, T.; TRAMONTIN, M.; ZANARDI, A.M. Acaricidal activity and efficacy of oxymatrine-based biopesticide against peanut red spider mite. **Crop Protection**, v. 190, p. 107121, 2025.
- ZANARDI, O.Z.; RIBEIRO, L.P.; ANSANTE, T.F.; SANTOS, M.S.; BORDINI, G.P.; YAMAMOTO, P.T.; VENDRAMIM, J.D. Bioactivity of a matrine-based biopesticide against four pest species of agricultural importance. **Crop Protection**, v. 67, p. 160-167, 2015.
- ZHANG, X.N.; GUO, J.J.; ZOU, X.; JIN, D.C. Pathogenic differences of the entomopathogenic fungus *Isaria cateniannulata* to the spider mite *Tetranychus urticae* (Trombidiformes: Tetranychidae) and its predator *Euseius nicholsi* (Mesostigmata: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 75, p. 69-84, 2018.