



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JAIRO EMANOEL ARAÚJO SANTOS

SUBLETALIDADE DA ABAMECTINA SOB DIFERENTES REGIMES TÉRMICOS
EM FÊMEAS DE *Tetranychus urticae* Koch (Trombidiformes: Tetranychidae)

FORTALEZA

2025

JAIRO EMANOEL ARAÚJO SANTOS

SUBLETALIDADE DA ABAMECTINA SOB DIFERENTES REGIMES TÉRMICOS EM
FÊMEAS DE *Tetranychus urticae* Koch (Trombidiformes: Tetranychidae)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará como parte das exigências requeridas para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Prof.^a Dra. Érica Costa Calvet.
Coorientador: Paulo Marcelo de Souza Queiroz

Fortaleza

2025

JAIRO EMANOEL ARAÚJO SANTOS

SUBLETALIDADE DA ABAMECTINA SOB DIFERENTES REGIMES TÉRMICOS EM
FÊMEAS DE *Tetranychus urticae* Koch (Trombidiformes: Tetranychidae)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências
Agrárias da Universidade Federal do Ceará
como parte das exigências requeridas para
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Prof.^a Dra. Érica Costa Calvet.
Coorientador: Paulo Marcelo de Souza Queiroz

Aprovada em: 15/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Érica Costa Calvet (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jose Wagner da Silva Melo
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Dr.^a Ávylla Régia de Albuquerque Barros
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP)

A Deus.

A santíssima virgem Maria,

Aos meus pais, familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que esteve presente em toda a minha vida, pois nada é possível sem Ele, por meio Dele e para Ele.

À Santíssima Virgem Maria, Mãe de Deus, cuja pureza e amor me inspiraram a viver, amar e suportar qualquer dor e dificuldade.

Aos meus pais, Francisco Jurandir e Maria Silvana, por todo carinho, apoio e amor durante toda a minha vida. Seus sacrifícios tornaram possível minha existência e formação, de maneira especial nos momentos mais difíceis.

À minha irmã, Rarica Emanuele, pelas repreensões necessárias e pelo cuidado constante.

À minha orientadora, Prof^a. Dr Érica Costa Calvet, pela oportunidade, suporte, orientação e acolhimento, os quais foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso e para o meu crescimento profissional.

Aos meus amigos integrantes do "Grupo da Pizza": Auryno, Daniel, Ryan, Jônathas e Caio, pelos quais sou imensamente grato e feliz por chamá-los de amigos.

Ao Paulo Marcelo, por toda a paciência, ajuda e compreensão durante o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Aos membros do Laboratório de Manejo de Ácaros e Insetos (LAMAI), em especial ao Paulo, Yago, Adson, Jady, Julianna, Pamela, Valentine, Gisele e Davi, pelo grande acolhimento.

Aos meus amigos do "Racha Time do Agro": Felipe, Henrique, Rodrigo, Juan, Ray, Flávio, João, Milton, Uyan, Fernando e Vinícius.

A todos os meus familiares que me apoiaram durante toda a vida acadêmica, em especial aos dois queridos avôs que partiram, mas deixaram lições inesquecíveis.

Às minhas duas avós, Eronilde e Graça, pelo carinho e amor que me enchem de força para buscar meus sonhos.

À Universidade Federal do Ceará, pelo privilégio de pertencer a esta instituição.

A todos os professores que transmitiram seus conhecimentos, auxiliando no meu crescimento e na minha formação como engenheiro agrônomo.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a execução deste trabalho, estendo meus sinceros agradecimentos.

“A pessoa humana tem uma necessidade que é ainda mais profunda, uma fome que é maior que aquela que o pão pode saciar: é a fome que possui o coração humano da imensidade de Deus.” (São João Paulo II)

RESUMO

Tetranychus urticae Koch é um ácaro-praga de importância econômica no cenário agrícola. A dinâmica populacional dessa praga é fortemente influenciada por fatores abióticos, como a temperatura, que, além de afetar o desenvolvimento e a reprodução, pode interferir na suscetibilidade a acaricidas. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da combinação de diferentes regimes térmicos na susceptibilidade de fêmeas de *T. urticae* à subdose de abamectina, avaliando parâmetros de sobrevivência e reprodução. O experimento foi conduzido em ambiente controlado, utilizando fêmeas copuladas com até 48 horas de idade, submetidas a regimes térmicos diferentes (25 °C constante e 25 °C com pico de 30 °C por 2 horas) submetidos ou não a subdose de abamectina (10% da dose recomendada na bula), no dia zero (d0) ou no quinto dia (d5). Os parâmetros avaliados, foram: Sobrevivência, fecundidade e viabilidade dos ovos. A sobrevivência das fêmeas não foi influenciada pelos regimes térmicos, independentemente da exposição ao acaricida. No entanto, foram observados efeitos subletais significativos, com redução da fecundidade e da viabilidade dos ovos, principalmente quando a aplicação ocorreu imediatamente (d0) e sob regimes térmicos com picos, no entanto na aplicação tardia (d5) a sobrevivência se assemelhou ao tratamento sem aplicação, indicando um possível aumento na tolerância ao químico. Dessa forma, para maior robustez dos resultados é necessário a ampliação desta pesquisa simulando outras faixas de temperaturas, populações previamente adaptadas as variações de temperatura e avaliar parâmetros de crescimento populacional.

Palavras-chave: ácaro rajado; estresse térmico; controle químico.

ABSTRACT

Tetranychus urticae Koch is a mite pest of economic importance in agriculture. The population dynamics of this pest are strongly influenced by abiotic factors, such as temperature, which, in addition to affecting development and reproduction, can interfere with susceptibility to acaricides. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of combining different thermal regimes on the susceptibility of *T. urticae* females to a subdose of abamectin, assessing survival and reproduction parameters. The experiment was conducted in a controlled environment, using mated females up to 48 hours old, subjected to different thermal regimes (25 °C constant and 25 °C with a peak of 30 °C for 2 hours) with or without a subdose of abamectin (10% of the dose recommended in the label), on day zero (d0) or on day five (d5). The parameters evaluated were: survival, fecundity, and egg viability. Female survival was not influenced by temperature regimes, regardless of acaricide exposure. However, significant sublethal effects were observed, with reduced fecundity and egg viability, mainly when application occurred immediately (d0) and under peak temperature regimes. However, in late application (d5), survival was similar to the treatment without application, indicating a possible increase in tolerance to the chemical. Therefore, for greater robustness of the results, it is necessary to expand this research by simulating other temperature ranges, populations previously adapted to temperature variations, and evaluating population growth parameters.

Keywords: two-spotted mite; heat stress; chemical control.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Características gerais da família Tetranychidae	16
2.2 Características gerais e importância econômica de <i>Tetranychus urticae</i> Koch, 1836.....	16
2.3 Efeito dos fatores abióticos no desenvolvimento de <i>T. urticae</i>	18
2.4 Efeitos da variação térmica no controle de pragas.....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Local do experimento.....	22
3.2 Ambiente experimental controlado.	22
3.2.1 Componentes.....	22
3.2.2 Desenvolvimento do código.	23
3.2.3 Controle do aquecimento e resfriamento.	23
3.2.4 Controle de umidade.	23
3.2.5 Verificação da temperatura, umidade e luz.	24
3.3 Criação de <i>Tetranychus urticae</i> Koch.	24
3.4 Unidades experimentais utilizadas.	25
3.5 Acaricida e regimes de temperatura utilizados.....	26
3.6 Bioensaio efeito da temperatura na suscetibilidade de <i>T. urticae</i>	26
3.7 Análise dos dados.....	27
4 RESULTADOS	28
4.1 Efeito da temperatura e diferentes tempos de exposição ao acaricida na sobrevivência de <i>T. urticae</i>	28
4.2 Comparações do tempo de exposição ao acaricida em diferentes regimes de temperatura.	30
4.3 Efeito da temperatura e exposição ao acaricida na taxa de oviposição de <i>T. urticae</i>	32
4.4 Comparação do tempo de exposição ao acaricida na taxa de oviposição, oviposição acumulada e viabilidade dos ovos.....	34
5 DISCUSSÃO	36
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

O ácaro rajado, *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Trombidiformes: Tetranychidae), é uma espécie estudada mundialmente devido à sua elevada capacidade adaptativa com ampla gama de plantas hospedeiras (Sousa, et al., 2019, Migeon; Dorkeld, 2025; Wybouw, et al., 2015) e alto potencial biótico, o que o torna capaz de causar perdas significativas em culturas comerciais (Sousa, et al., 2019). Sua dinâmica populacional é fortemente influenciada por fatores abióticos, uma vez que se trata de um organismo heterotérmico, *T. urticae* tem sua temperatura corporal e, conseqüentemente, seu metabolismo moldado pelas condições ambientais (Vangansbeke et al., 2015), de modo que variações térmicas afetem diretamente o seu desenvolvimento, longevidade, sobrevivência e capacidade reprodutiva (Laing, 1969; Riahi et al., 2013; Nawar, 2019).

Estudos demonstram que temperaturas elevadas aceleram o ciclo de vida do ácaro até um limiar ótimo de desenvolvimento (12 a 38 C), entretanto, acima desse limite, o estresse térmico pode provocar efeitos deletérios sobre a espécie (Costa et al., 2024; Moghadasi et al., 2016).

Evidências recentes indicam que, quando os ácaros são expostos a temperaturas elevadas antes ou ao mesmo tempo em que entram em contato com pesticidas, sua sensibilidade a esses produtos pode ser alterada, podendo resultar em maior tolerância ou suscetibilidade dos ácaros aos compostos químicos (Feng et al., 2010; Mao et al., 2019; Thia et al., 2022).

Abordagens para o controle de *T. urticae* têm sido predominantemente baseados no uso de acaricidas químicos, com a abamectina correspondendo a um dos produtos mais utilizados em diferentes sistemas produtivos brasileiros (Van leeuwen., et al., 2015). Abamectina pertence ao grupo das avermectinas e atua como modulador alostérico dos canais de cloro mediados por glutamato, induzindo a hiperpolarização das células nervosas, ocasionando paralisia, que pode interromper a alimentação e, posteriormente, causar morte do organismo-alvo (Çağatay., et al, 2018, Longato, 2024). Entretanto, a eficiência de acaricidas a base desse princípio ativo pode ser comprometida por variações nas condições ambientais, principalmente térmicas, que influencia tanto a fisiologia do ácaro quanto a estabilidade da molécula ativa do produto (Matzrafi, 2019; Meng et al., 2022).

Projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas indicam aumentos de temperatura global entre 1,5°C e 4°C até o final do século XXI (IPCC, 2023). Para regiões já caracterizadas por temperaturas elevadas, como o Ceará, esse aquecimento pode intensificar os desafios no manejo de pragas, potencialmente, reduzindo a eficácia de estratégias de controle químico convencionais. Considerando que a temperatura atua como um dos principais fatores

determinantes do crescimento populacional de *T. urticae*, compreender a sua influência é fundamental para o manejo integrado da espécie sob condições de variação térmica, especialmente em cenários de mudanças climáticas globais. Além disso, uma vez que o controle químico está entre as principais estratégias de manejo da espécie, é necessário avaliar como as flutuações térmicas diárias, comuns em regiões tropicais, interagem com a ação de acaricidas, visando o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes e adaptadas às condições climáticas futuras.

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da combinação de diferentes regimes térmicos na susceptibilidade de fêmeas de *T. urticae* à subdose de abamectina, observando parâmetros de sobrevivência e reprodução.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características gerais da família Tetranychidae

Os tetraniquídeos são popularmente conhecidos como “ácaros-de-teia”, denominação utilizada devido ao aspecto biológico de muitas espécies dessa família em produzir teia, cuja função é atuar como uma estratégia de sobrevivência das espécies (Hernandes, 2010; Saito, 2010).

A família Tetranychidae é compreendida por ácaros morfológicamente caracterizados por possuírem dois pares de ocelos na região dorso lateral do propodossoma, palpos com 4 a 5 segmentos, estilóforo retrátil e dígito móvel modificado em longos e recurvados estiletos acoplados ao estilóforo (Moraes; Castilho; Flechtmann, 2024). Na extremidade dos palpos geralmente é observado o "processo unha-dedão" (estrutura sbdistal na tíbia ao lado do último segmento do palpo). Os estigmas, quando presentes, estão entre as bases das quelíceras ou do gnatossoma, podendo ainda ser observado na margem anterior do propodossoma (Moraes; Flechtmann, 2008).

O dimorfismo sexual nessa família é bem característico, as fêmeas são maiores quando comparadas aos machos, os quais também diferem no formato do corpo, sendo mais afilado posteriormente (SANCHES et al., 2021), as fêmeas apresentam região genital externa com ondulações radiais ao redor da vulva, e idiossoma geralmente sacular a ovalada, com comprimento aproximado entre 0,4 e 0,5 mm (Moraes; Castilho; Flechtmann, 2024). Os machos, além de possuírem edeago (estrutura reprodutora) esclerotizado, de morfologia variável, amplamente utilizado na identificação de espécies dessa família (Moraes; Castilho; Flechtmann, 2024). A coloração dos indivíduos é variável e pode ser influenciada pelo conteúdo ingerido na alimentação presente no ventrículo, sendo observadas espécimes de coloração verde, laranja ou vermelha, além de padrões rajados decorrentes do enchimento parcial dos cecos digestivos (Moraes; Flechtmann, 2008, Zhang et al., 2025).

No processo de alimentação dos ácaros tetraniquídeos a extremidade do estilete perfura as células do tecido vegetal (Hernandes, 2010), e por meio de movimentos de protração e retração o conteúdo celular é expelido e posteriormente succionado através da cavidade oral, resultando em machas esbranquiçadas e áreas cloróticas, que se iniciam na nervura das folhas e avançam por toda área foliar (Sanches et al., 2021), podendo ocasionar ainda bronzeamento e queda precoce das folhas (Moraes; Castilho; Flechtmann, 2024).

2.2 Características gerais e importância econômica de *Tetranychus urticae* Koch, 1836

Tetranychus urticae Koch, 1836 (Trombidiformes: Tetranychidae) é um ácaro fitófago

amplamente distribuído no mundo (Moraes; Castilho; Flechtmann, 2024). Classificada como uma espécie polífaga, *T. urticae* possui uma ampla variedade de hospedeiros, com registro em mais de 1.200 espécies (Migeon; Dorkeld, 2025), sendo reconhecida como uma das principais espécies-praga de diversas culturas como pepino, morango, tomate, berinjela, feijão, açaí, algodão, alho, café, mamão, citros, flores em estufa (Ahmed, 2024; Bolland, 1998; Flechtmann; Moraes, 2025; Gutierrez; Flechtmann, 1998; Van leeuwen et al., 2015).

A identificação de *T. urticae* é usualmente dada na observação de características morfológicas dos adultos (Moraes; Flechtmann, 2008; Razuvaeva et al., 2023), espécimes de fêmeas são comumente utilizadas para identificação a nível de família (Tetranychidae) e gênero (*Tetranychus*), sendo a família caracterizada por palpo apresentando uma “unha” no quarto segmento, e o gênero caracterizado por tarso I com duas setas dúplices bem separadas, um par de setas para-anais e empódio fendido em um tufo de pelos (Flechtmann, 1972). Além da presença de estriações formando um losango no dorso da fêmea entre as setas dorsais dos terceiro e quarto pares de pernas (Flechtmann, 1972). Para identificação em nível de espécie, é necessária a obtenção do macho para visualização do edeago, cuja morfologia é variável entre as espécies (Moraes; Castilho; Flechtmann, 2024). Essa estrutura possui botão pequeno, com o eixo disposto de forma paralela ao eixo da haste formando um pequeno ângulo (Toroitich et al., 2009), projeções anteriores e posterior com aspecto agudo, e margem dorsal angulada (Auger et al., 2013).

O ciclo de vida da espécie é composto por estágios de ovo, larva, protoninfa, deutoninfa e adultos. O ovo apresenta formato esférico e coloração esverdeada, já a larva caracteriza-se pela presença de três pares de pernas, sendo já apta a se alimentar, protoninfa diferencia-se da larva pela formação do quarto par de pernas e o aumento de tamanho, a deutoninfa apresenta tamanho maior que a protoninfa e os adultos exibem dimorfismo sexual, além do tamanho corporal superior ao das deutoninfas (Moraes; Flechtmann, 2024). Entre cada estágio de desenvolvimento o indivíduo passa por um estado de quiescência, onde há interrupção total de movimento e da alimentação, com mudanças no perfil metabólico associadas ao desenvolvimento e crescimento (Kumral et al., 2019).

A alimentação consiste em consumir o conteúdo de células do mesófilo, através da penetração do estilete e sucção do conteúdo celular (Bensoussan, 2016), ocasionando a degeneração dos tecidos foliares internos, colapso celular e perda de cloroplastos, comprometendo a funcionalidade das folhas (Lee, 2002). Além de causar machas cloróticas que tornam-se necrosadas reduzindo a área fotossintética (Botton e Nava, 2021).

Dentre a ampla diversidade de hospedeiros afetados por *T. urticae*, as perdas podem

ser severas, podendo ser total em algumas culturas. Em plantas tuberosas, como no cultivo de batata, já foram registradas perdas totais em condições de campo (Gofishu et al., 2016). Em leguminosas, os danos podem resultar uma redução de 75,15% no número e no peso de 1.000 sementes por planta, em nível clorótico de 100%, conforme observado em soja (Suekane et al., 2012). Em frutíferas, como o morangueiro, a redução da produtividade pode atingir aproximadamente 40% sob altas infestações (Nyoike; Liburd, 2013). No caso de hortaliça, como o tomateiro, as infestações podem ocasionar reduções de 50% da produtividade, como reflexo da desfolha e da redução de clorofila nas folhas (Jayasinghe; Mallik, 2011), evidenciando a importância econômica dos danos causados por infestações de *T. urticae*, bem como a relevância dessa espécie para o cenário de produção agrícola.

Tetranychus urticae possui uma alta capacidade de desenvolver resistência a pesticidas, ou seja, populações expostas a pesticidas passam a sobreviver em doses que antes eram letais. A resistência a pesticidas resulta do processo de seleção de indivíduos geneticamente mais tolerantes, favorecido pelo uso contínuo de pesticidas com o mesmo grupo químico ou modo de ação, especialmente na ausência de rotação adequada, Sato et al. (2005), mostrou que são necessários apenas cinco ciclos de seleção com doses progressivas para uma resistência 342 vezes superior à de populações suscetíveis. Até o momento, foram relatados 526 casos de resistência para 96 ingredientes ativos para *T. urticae*, sendo que a abamectina corresponde a aproximadamente 12% desses relatos (Adesanya et al., 2021). Populações resistentes de *T. urticae* a abamectina, na região de Louisiana, apresentaram exigências de doses de até 1.415 vezes maiores do que as populações suscetíveis para atingir a CL_{50} (Brown et al., 2017). No Chipre, em estufa de rosas, a dose de abamectina foi 3.822 vezes maior que a normal utilizada para o controle de populações suscetíveis (Vassiliou; Kitsis, 2013). No Brasil, em Baixo Médio Vale do São Francisco em roseiras, a dose foi de 2.406 a 8.712 vezes maior que a normal utilizada para o controle de populações suscetíveis (Monteiro et al., 2015),

2.3 Efeito dos fatores abióticos no desenvolvimento de *T. urticae*

Os fatores abióticos são variáveis ambientais como temperatura, umidade e a radiação solar. Esses fatores podem influenciar de forma direta ao atuarem sobre o ácaro, ou indiretamente, quando a influência é sobre a planta hospedeira ou inimigos naturais (Morais; Castilho; Flechtmann, 2024).

Tetranychus urticae é um organismo heterotérmico, cuja temperatura corporal é moldada pela temperatura do ambiente (Vangansbeke et al., 2015). A variação de temperatura

exerce influência direta sobre o desenvolvimento, longevidade e fecundidade de *T. urticae*, atuando como um dos principais fatores abióticos reguladores do crescimento populacional da espécie (Laing, 1969, Nawar, 2019, Riahi et al. 2013). As variações térmicas resultam em alterações dos processos fisiológicos refletindo nos parâmetros populacionais, como a taxa intrínseca de crescimento populacional (Riahi et al., 2013; Nawar, 2019; Moghadasi et al., 2016; Vangansbeke et al., 2015).

Faixas de temperaturas extremas podem estimular efeitos de hipertermia ou hipotermia comprometendo o desenvolvimento da espécie (Nie et al., 2023; White et al., 2018). Bounfour e Tanigoshi (2001), mostram que temperaturas extremas (abaixo de 12°C ou acima de 38°C) causam a interrupção total ou parcial do desenvolvimento embrionário, mostrando que os ácaros possuem limiares térmicos críticos de desenvolvimento (temperatura base inferior - T_b e temperatura base superior - T_s), os quais influenciam sua distribuição geográfica e o período de atividade sazonal.

As variações térmicas induzem a ocorrência do estresse oxidativo, caracterizado pela geração de espécies reativas de oxigênio, onde enzimas antioxidantes aumentam sua atividade em resposta ao calor, como parte da resposta fisiológica do ácaro para reduzir danos celular e melhorar sua tolerância térmica (Nie et al., 2023). Além disso, genes de Glutathione S-Transferase também são ativados sob choque térmico de curta duração, indicando que múltiplos mecanismos antioxidantes contribuem para a tolerância de *T. urticae* a altas temperaturas (Zhu et al., 2024).

O aumento da temperatura acelera a taxa de desenvolvimento dos ácaros e reduz o tempo necessário para completar o ciclo de vida, resultando em períodos menores desde o estágio de ovo até o estágio de adulto (Gotoh et al., 2014). Esse fenômeno ocorre devido temperaturas elevadas que aceleram a atividade enzimática e os processos de síntese proteica essenciais para o crescimento e muda dos ácaros (Nie., et al. 2023). Sob diferentes regimes térmicos, *T. urticae* apresenta redução no ciclo de desenvolvimento de ovo a adulto sob temperaturas elevadas e aumento desse período sob temperaturas amenas (Bayu et al., 2017; Costa et al., 2024).

Entretanto, a ocorrência do estresse térmico pode provocar efeitos deletérios no indivíduo (Costa et al., 2024; Moghadasi et al., 2016). Em adultos de *T. urticae*, a fecundidade começa a declinar (Bayu et al., 2017), como reflexo da desvantagem fisiológica enfrentada diante dos custos metabólicos crescentes para manter a tolerância térmica à medida que a temperatura é elevada, eventualmente entrando em estado de hipertermia (Costa et al., 2024, Riahi et al., 2013). Assim como é observado efeito na viabilidade dos ovos, com inviabilidade total atingida a 65°C, além da sobrevivência de imaturos com letalidade atingida a 60°C e adultos (fêmeas) a 55°C (Hernández-Rivera et al., 2022). Além de variações na taxa líquida de reprodução (R_0) onde a 15

e 35 °C com flutuação de temperatura aumentou e nas mesmas temperaturas de forma constante observou-se um menor valor, existe mudanças na taxa intrínseca de crescimento (r_m) (tornando-se maior), taxa finita de aumento (λ) (torna-se menores) e tempo médio de geração (T) (tornam-se menor) (Bayu et al., 2017).

2.4 Efeitos da variação térmica no controle de pragas

De acordo com o relatório *Climate Change 2023: Synthesis Report* do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o aumento da temperatura causado pelo efeito estufa já provocou um aquecimento médio global de 1,1°C, desde a era pré-industrial, com projeções indicando possíveis elevações de 1,5°C a 4°C até o final do século XXI, dependendo dos cenários de emissões de gases de efeito estufa (IPCC, 2023). O ano de 2024 foi registrado como o mais quente desde o início das medições, atribuindo-se a esse aumento de temperatura impactos ecológicos e agrícolas que podem surgir como reflexos das mudanças climáticas, como de alterações nas interações entre espécies nos ecossistemas, incluindo as relações entre pragas agrícolas e seus inimigos naturais (Bellard et al., 2012, Skendzic et al., 2021; Thomson et al., 2010, Tudi et al., 2021).

Resultados do estudo feito por Melo et al., (2009), evidenciaram que *Euseius alatus* De Leon, 1966 (Acari: Phytoseiidae), é um ácaro predador que prefere condições de temperatura mais quentes, como as encontradas no semiárido nordestino, indicando potencial promissor dessa espécie nessa região. Sugawara et al., (2018), por sua vez, ao estudarem o efeito da temperatura na resposta funcional de ácaros predadores do gênero *Neoseiulus*, observaram que o consumo de ovos de *T. urticae* por *Neoseiulus womersleyi* Schicha, 1975 (Acari: Phytoseiidae) foi maior de 30°C a 35°C, reduzindo ao atingir 35 °C, enquanto o de *N. longispinosus*, Evans (Acari: Phytoseiidae) foi maior a 20 °C, reduzindo em temperaturas mais elevadas. No contexto do controle biológico, com o uso de ácaros predadores, deve-se considerar a relação entre temperatura, presa e predador, uma vez que essa interação influencia o desenvolvimento de estratégias adequadas para aplicação desse método de controle (Sugawara et al., 2018).

Quando adotado o controle químico, a influência da temperatura sobre a toxicidade de inseticidas e acaricidas é variável e depende tanto das características físico-químicas da molécula quanto da fisiologia da espécie avaliada (Everson; Tonks, 1981). Estudos demonstram que o aumento da temperatura pode alterar a tolerância a pesticidas de forma variável entre espécies. Em *Halotydeus destructor* (Tucker) (Trombidiformes: Penthaleidae), temperaturas mais elevadas aumentaram a mortalidade para a mesma dose dos acaricidas, bifentrina (razão de tolerância de

1,17 a 2,48 vezes menor), clorpirifós (razão de tolerância 2,70 a 3,57 vezes menor em temperaturas mais altas) e o ometoato (razão de tolerância 1,12 a 2,93 vezes menor) (Thia et al., 2022). Por outro lado, em *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae), a exposição ao calor favoreceu maior tolerância a abamectina e tiametoxam (Zhou et al., 2024).

O aumento da temperatura pode reduzir a eficácia dos produtos fitossanitários, em função da menor estabilidade e tempo de persistência pela aceleração da taxa de degradação fotoquímica e hidrólise das moléculas ativas. (Meng et al., 2022). Além disso, a temperatura pode potencializar o metabolismo de translocação e desintoxicação dos pesticidas no indivíduo (Matzrafi, 2019). Em *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Trombidiformes: Tetranychidae) e *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromizyidae), *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae) previamente expostos a altas temperaturas, desenvolveram tolerância à abamectina, resultando em valores maiores de LC₅₀ (Feng et al., 2010, Mao et al. 2019, Wang et al., 2014, Wang et al., 2007).

A abamectina está entre a molécula mais utilizada no manejo de ácaros-pragas, incluindo *T. urticae* (Adesanya, 2021). Essa molécula pertence a classe das avermectinas com ação acaricida, e, de acordo com o comitê de ação à resistência a inseticidas (IRAC) está classificada no grupo 6, como modulador alostéricos de canais de cloro mediados por glutamato (IRAC, 2025). Derivada da fermentação da bactéria de solo *Streptomyces avermitilis* (Carvalho et al. 2020), a abamectina causa hiperpolarização das membranas de células nervosas, que leva a paralisia e conseqüentemente morte do organismo-alvo (Van leeuwen et al., 2010). Os impactos fisiológicos gerados por esse acaricida ocasionam o aumento drástico na produção de radicais livres de oxigênio (ROS) no corpo do ácaro (Feng et al., 2010), refletindo em estresse oxidativos e elevados custos metabólicos (Costa et al., 2024). A molécula da abamectina é considerada de baixa foto-estabilidade com pressão de vapor de $3,7 \times 10^{-9}$, possui Log Kow 1.8 e pKa 0 possuindo movimentação translaminar e não sistêmica na planta.

Quando uma população suscetível é exposta a abamectina o tempo letal é de apenas quatro horas em imaturos e adultos de *T. urticae*, e efeito residual por até duas semanas (Cua-basulto et al., 2022). A dose necessária para atingir 50% de mortalidade (LC₅₀) é relativamente baixa (0,01 mg/L), quando comparado a outros acaricidas, que exigem doses maiores para atingir o mesmo resultado, como o fenpiroximato (19,86 mg/L) e o clorfenapir (29,66 mg/L) (El-demerdash et al., 2025).

Estudos proteômicos em *T. urticae* mostram que a adaptação ao calor envolve custos fisiológicos significativos, como uma demanda energética maior para manutenção celular e ativação de vias de estresse, que por conseqüência pode comprometer processos biológicos

essenciais (Nie et al., 2023). Linhagens resistentes de *T. cinnabarinus* a abamectina ou tolerantes a altas temperaturas apresentam resistência cruzada, cuja adaptação ao estresse térmico prolongado está ligada a presença ou aumento da expressão de enzimas antioxidantes e proteínas de choque térmico (HSP90) (Feng et al., 2010), evidenciando a interações entre fatores abióticos (temperatura) e biótico (mecanismos de defesa), mostrando que a eficácia do controle químico sofre implicações diretas em cenário de aquecimento global.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento.

O experimento foi conduzido no Laboratório de Manejo de Ácaros e Insetos (LAMAI), localizado no setor de Fitossanidade do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), no campus do Pici, Fortaleza, Ceará. As condições experimentais foram estabelecidas a partir de um sistema de temperatura, umidade e luminosidade controlado simulando condições ambientais.

3.2 Ambiente experimental controlado.

3.2.1 Componentes.

O ambiente experimental controlado foi construído a partir de uma caixa retangular com dimensões de 40 cm × 50 cm × 80 cm, confeccionada com madeirite resinado, tratado com resina fenólica e revestido com uma camada de verniz. No interior, foi instalado uma prateleira composta por grade de metal com dimensões de 40 cm × 25 cm.

O sistema eletrônico associado ao ambiente experimental é baseado em um controlador ESP32 (compatível com Arduino uno R3), acoplado a um módulo de relé de quatro canais com opto acoplador, um display LCD 16x2 com protocolo I²C.

Para monitorar a região interna do ambiente controlado, foram utilizados dois tipos de sensores: o sensor SHT31, com faixa de medição de -40 °C a 125 °C ± 0,3 °C e de 0 a 100% ± 2% UR, usando o protocolo I²C; o sensor DS18B20, com faixa de -55 °C a 125 °C ± 0,5 °C com protocolo WIRE. Os sensórios estão acoplados ao centro do ambiente experimental. O sensor principal para temperatura é o Ds18b20, devido ao maior tamanho de cabo e ao encapsulamento, que permite ser emergido em água. Para observar a umidade, foi utilizado o sensor SHT31. A referência de tempo para o ciclo de luz foi obtida por meio da sincronização do tempo via NTP, obtida e corrigida para fuso horário local.

O sistema de aquecimento é composto lâmpadas de cerâmica, uma de 150W instalada

na parte superior e três de 100W na parte inferior. A circulação do ar e o controle de temperatura e umidade são realizados por dois ventiladores: um exaustor de 90mm × 90mm (Fan 1) e um ventilador interno de 120mm × 120mm (Fan 2), além de um umidificador ultrassônico de 24V e 1A. A iluminação é mantida por uma lâmpada LED de 9W e 6500K posicionada paralelamente a parte central.

A alimentação elétrica é dividida em três fontes: uma fonte de 12V e 2A para o controlador, uma fonte GT ATX 250W para relés, sensores e módulos, e uma fonte de 24V com no mínimo 1A para o umidificador. Além de uma bateria CR2032 utilizada para manter o RTC em funcionamento.

3.2.2 Desenvolvimento do código.

O código foi desenvolvido na linguagem do Arduino baseado em C/C++, usando os dados fornecidos pelos sensores para o controle de saída dos relés.

Para correção de erros, foi configurado um contador interno que reinicia o sistema em caso de travamento, além de uma rotina de verificação dos sensores, com alteração do sensor principal à medida que o sensor com problema é reiniciado. Além da rotina de inicialização da tela, feita para evitar ruídos visual comuns em grandes períodos de funcionamento para o LCD usado.

3.2.3 Controle do aquecimento e resfriamento.

O ciclo de aquecimento e resfriamento opera com uma tolerância de 0,5 graus de temperatura, garantindo maior estabilidade no funcionamento dos aquecedores, umidificador e exaustor. Estes funcionam com base nos valores de temperatura ou umidade pré-configurados, sendo o exaustor o componente que considera ambas as variáveis.

Os aquecedores funcionam com uma temperatura ideal configurada previamente e que varia conforme o estado da lâmpada: quando ligada, utiliza o int "temperatura dia", e quando desligada, utiliza-se a int "temperatura noite" como temperatura ideal. O sistema compara a temperatura atual medida pelo sensor com a temperatura ideal. Os aquecedores são ligados quando a temperatura atual é inferior a temperatura ideal menos o valor da tolerância (0,5°C). Quando a temperatura atinge o valor ideal, os aquecedores são desligados.

O exaustor começa a funcionar quando a temperatura atual ultrapassa a temperatura ideal mais o valor da tolerância (0,5°C), e é desligado ao atingir o valor da temperatura ideal.

3.2.4 Controle de umidade.

Foi estabelecido uma faixa de umidade para condução do experimento entre 70% (máxima) e 60% (mínima) que é monitorada pelo sensor SHT31. O sensor coleta o dado de umidade atual e avalia com base no parâmetro estabelecido (máximo e mínimo) e determina o acionamento ou não do sistema de controle da umidade com exaustor ou umidificador. Quando a umidade ultrapassa a umidade máxima, o exaustor entra em funcionamento e desliga ao chegar dentro da faixa de umidade estabelecida.

3.2.5 Verificação da temperatura, umidade e luz.

As leituras de umidade e temperatura são coletadas pelos sensores SHT31 e DS18B20 a cada 30 minutos, e os registros feitos no arquivo `log.txt` através da função `salvarLog()`. As informações contidas no arquivo, são: hora, temperatura, umidade e estado da lâmpada (ligada ou desligada). O arquivo de armazenamento dos dados é atualizado de forma automática a cada 15 dias. Na memória RAM o sistema mantém um histórico rotativo de até 48 leituras, atualizado pela função `atualizarHistorico()`. Isso permite consultas rápidas e serve como base para a geração de gráficos enviados via MQTT ao broker remoto, facilitando observações em tempo real através de interfaces externas.

O arquivo log pode ser baixado através de um servidor web embarcado no ESP8266, acessado pelo `endpoint/download`. Os comandos MQTT permitem apagar o arquivo ou obter a URL de download, apresentando flexibilidade no gerenciamento dos dados coletados.

Os parâmetros operacionais do sistema como temperaturas ideais, faixas de umidade, horários de iluminação e configurações do modo de pico são salvos no arquivo `config.json` pelas funções `salvarConfiguracoes()` e `carregarConfiguracoes()`. Isso assegura que todas as configurações personalizadas sejam preservadas mesmo após reinicializações ou quedas de energia, mantendo a continuidade do funcionamento do sistema sem necessidade de reconfiguração manual.

3.3 Criação de *Tetranychus urticae* Koch.

Populações de *T. urticae* utilizadas nos experimentos foram obtidas através da criação do Laboratório de Manejo de Ácaros e Insetos da Universidade Federal do Ceará, foram mantidas em unidades de criação, feitas a partir de folhas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* L.), papel filtro, esponja, recipiente de plástico retangular e algodão hidrófilo circundando a folha para preservação e para evitar fuga dos ácaros, assim como a entrada de outros artrópodes indesejáveis. As criações foram mantidas em laboratório sob condições controladas de temperatura de $25 \pm 1,0$ °C e umidade relativa do ar $70 \pm 5,0\%$.

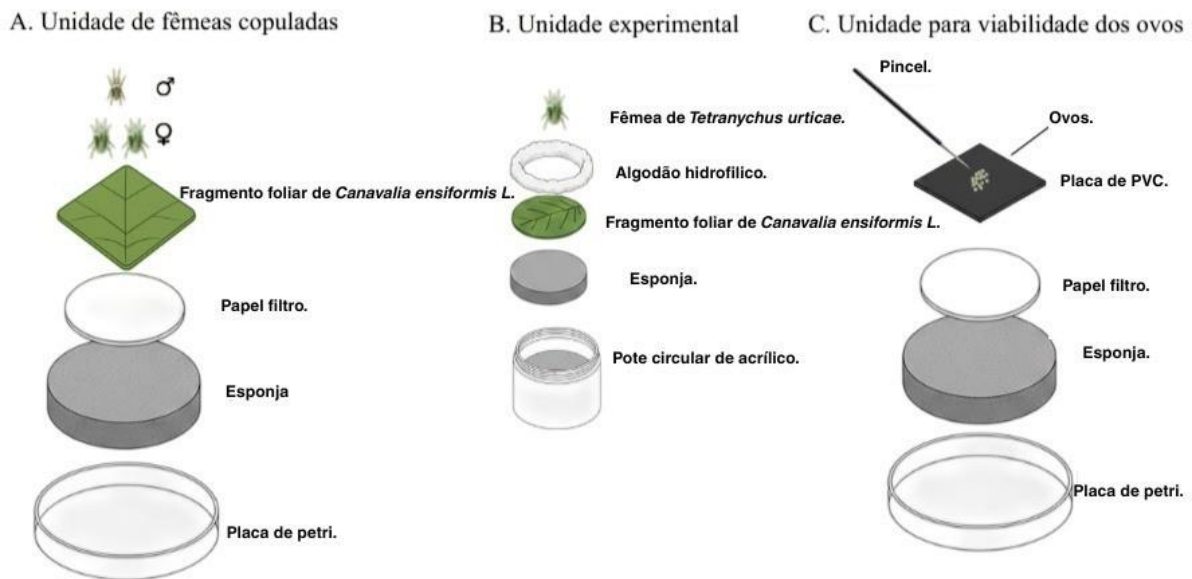
3.4 Unidades experimentais utilizadas.

Unidades de confinamento das fêmeas: as unidades foram compostas por placas de Petri ($\varnothing = 8,5$ cm), esponjas ($\varnothing = 6,0$), papel filtro ($\varnothing = 5,0$ cm) e fragmentos foliar de *C. ensiformis* de (4,0 x 4,0 cm), onde D é o diâmetro dos materiais utilizados na confecção unidade de confinamento (Figura 1A).

As unidades experimentais utilizadas no experimento foram compostas por potes circulares de acrílico ($\varnothing: 2,5$ cm e A: 1,7cm), fragmento foliar de *C. enciformes* ($\varnothing: 2,5$ cm), esponja ($\varnothing: 2,5$ cm) e algodão hidrófilo circundando o fragmento foliar, umedecido com água destilada para evitar fugas (Figura 1B).

A unidade para a viabilidade dos ovos foi composta por uma arena circular compostas por placas de Petri ($\varnothing = 8,5$ cm), esponjas ($\varnothing = 6,0$), papel filtro ($\varnothing = 5,0$ cm) e placa de PVC (4,0 x 4,0 cm) (Figura 1C).

Figura 1. -Diagrama das unidades de fêmeas copuladas, unidade experimental e unidade para avaliação de ovos



3.5 Acaricida e regimes de temperatura utilizados.

O produto utilizado para tratamento das arenas foi o VERTIMEC® 18 EC (abamectina 18 g/L i.a., EC), fabricado pela Syngenta Proteção de Cultivos Ltda. O princípio ativo desse produto, é a abamectina, que pertence ao grupo químico das Avermectinas (6A), os quais são moduladores alostéricos de canais de cloro mediados por glutamato, da classe acaricida/inseticida/nematicida IRAC (2025), com Log KoW = 1.8, pKa = 0 e pressão de vapor = $3,7 \times 10^{-9}$.

Optou-se pela utilização de uma subdose (6ml/ha equivalente a 10% da dose de bula recomendada para *T. urticae* no mamão (*Carica papaya* L.)) para avaliar parâmetros subletais, uma vez que a população utilizada nos experimentos é oriunda de laboratório criada a mais de 10 anos sem exposição a acaricidas sendo suscetível.

A calda de aplicação foi preparada em um béquer 500ml com 6 ml de VERTIMEC e 94 ml de água destilada. As folhas foram imergidas na calda por dez segundos, onde logo após eram postos para secagem de 20 minutos. Após secagem as folhas foram cortadas e utilizadas na montagem das unidades experimentais. Para o experimento de exposição no primeiro dia folhas foram imergidas para utilização também 5 dias após para realizar a troca do fragmento.

Foram determinados dois regimes de temperatura um constante e outro com variação. (1) 25°C constantes por ser um padrão utilizado nos trabalhos que envolvem biologia além de ser considerada temperatura ideal para o desenvolvimento da espécie. (2) 25°C com um pico de 30°C por duas horas simulando a variação de temperatura diária que ocorre em campo (Tabela 1).

Tabela 1 - Tratamentos que compõem o bioensaio do efeito da temperatura na suscetibilidade de *T. urticae*.

Tratamento	Temperatura	Abamectina	Exposição abamectina
T1 n= 20	5 °C constante	Não	-
T2 n= 20	5 °C + pico 30 °C/2h	Não	-
T3 n= 18	5 °C constante	Sim	Dia 0
T4 n= 20	5 °C + pico 30 °C/2h	Sim	Dia 0
T5 n= 23	5 °C constante	Sim	Dia 5
T6 n= 25	5 °C + pico 30 °C/2h	Sim	Dia 5

Fonte: Santos (2025)

3.6 Bioensaio efeito da temperatura na suscetibilidade de *T. urticae*.

Deutoninfas em estágio de teliocrisalida foram transferidas com um pincel e isoladas com

machos em uma proporção de 2:1 (♀:♂) a fim de garantir que as fêmeas estariam copuladas. Após 48 horas do isolamento as fêmeas foram então transferidas deixando uma fêmea por unidade experimental (Figura 1 B).

As fêmeas permaneceram por 10 dias na unidade experimental, sendo o fragmento de *C. ensiformis* trocado no 5 dia para evitar efeito de degradação da folha. Diariamente foi registrado mortalidade de fêmeas e taxa de oviposição, os ovos foram coletados diariamente e isolados (Figura 1C) para determinar a taxa de eclosão (viabilidade) dos ovos por fêmea durante 10 dias. Cada fêmea foi considerada uma repetição, sendo realizado pelo menos 18 repetições de cada tratamento.

3.7 Análise dos dados.

A sobrevivência das fêmeas foi analisada por curvas de Kaplan–Meier (*survfit*, pacote *survival*), considerando o tempo até a morte como variável resposta, sendo os indivíduos vivos ao final do experimento tratados como censurados à direita. As comparações entre curvas foram realizadas pelo teste log-rank (*survdif*) para avaliar os efeitos da temperatura, da exposição ao acaricida e do momento de aplicação, com ajustes para múltiplas comparações pelo método de Benjamini–Hochberg (*pairwise_survdif*) quando aplicável.

A taxa de oviposição foi avaliada por modelos lineares mistos generalizados (GLM), com distribuição binomial negativa, considerando a contagem diária de ovos como resposta, o dia como efeito fixo, os tratamentos como combinações de temperatura, exposição e timing, e a fêmea como efeito aleatório, incluindo apenas observações até o tempo de morte. Os modelos com e sem inflação de zeros foram comparados por AIC, a adequação foi verificada por diagnósticos de resíduos (DHARMA) e as diferenças entre tratamentos foram estimadas por médias marginais (*emmeans*) com contrastes de Tukey ($\alpha = 0,05$).

A taxa de eclosão foi analisada por modelos lineares generalizados binomiais, substituídos por quasi-binomiais quando detectada superdispersão, considerando o número de ovos eclodidos e não eclodidos; as análises foram conduzidas separadamente por condição térmica, com avaliação da significância global por análise de deviance e comparações entre tratamentos baseadas em médias marginais ajustadas pelo método de Sidak ($\alpha = 0,05$).

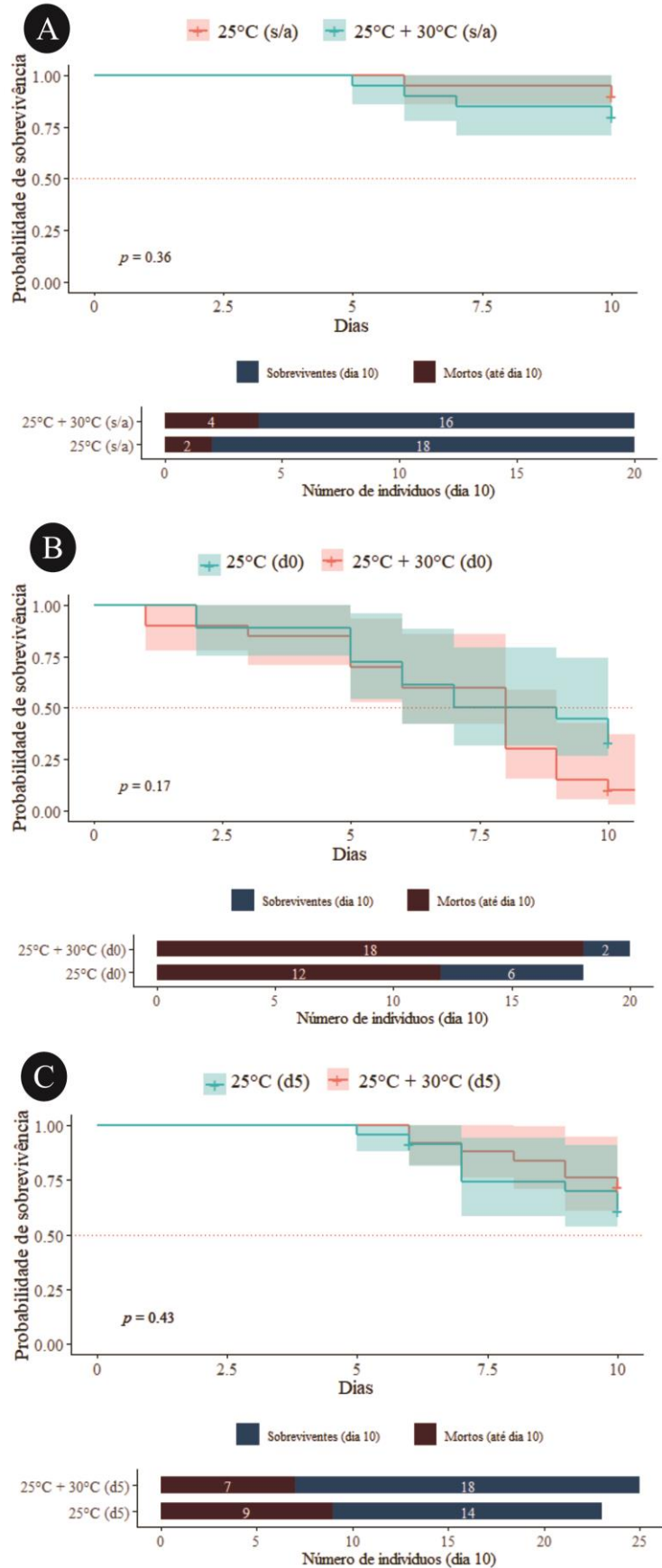
Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R, versão 4.4.0 (R Core Team, 2024).

4 RESULTADOS

4.1 Efeito da temperatura e diferentes tempos de exposição ao acaricida na sobrevivência de *T. urticae*.

A sobrevivência dos ácaros não foi influenciada pela temperatura, tanto na ausência quanto na presença de exposição ao acaricida. Sem exposição ao acaricida, as curvas de sobrevivência para 25 °C constante e 25 °C com pico de 30 °C, apresentaram padrões semelhantes ao longo do experimento ($\chi^2 = 0,8$; $gl = 1$; $P = 0,36$), apresentando sobrevivência de 90% e 80% das fêmeas, respectivamente (Figura 2A). Quando ocorreu exposição ao acaricida a sobrevivência em ambos os tratamentos foi igualmente afetada negativamente ($\chi^2 = 1,8$; $gl = 1$; $P = 0,18$) com elevada taxa de mortalidade. Na exposição no primeiro dia (d0), apesar da elevada mortalidade observada em ambos os tratamentos o tratamento com regime de temperatura de 25 °C com pico de 30 °C apresentou três vezes mais mortalidade, com apenas 10% de sobrevivência, enquanto o tratamento 25 °C constante apresentou 33,3% de sobrevivência (Figura 2B). O mesmo padrão foi registrado quando a exposição ocorreu no quinto dia (d5), com curvas de sobrevivência sobrepostas ($\chi^2 = 0,6$; $gl = 1$; $P = 0,43$) e sobrevivência de 60,8% a 25°C constante e 72% e 25 °C com pico de 30 °C (Figura 2C).

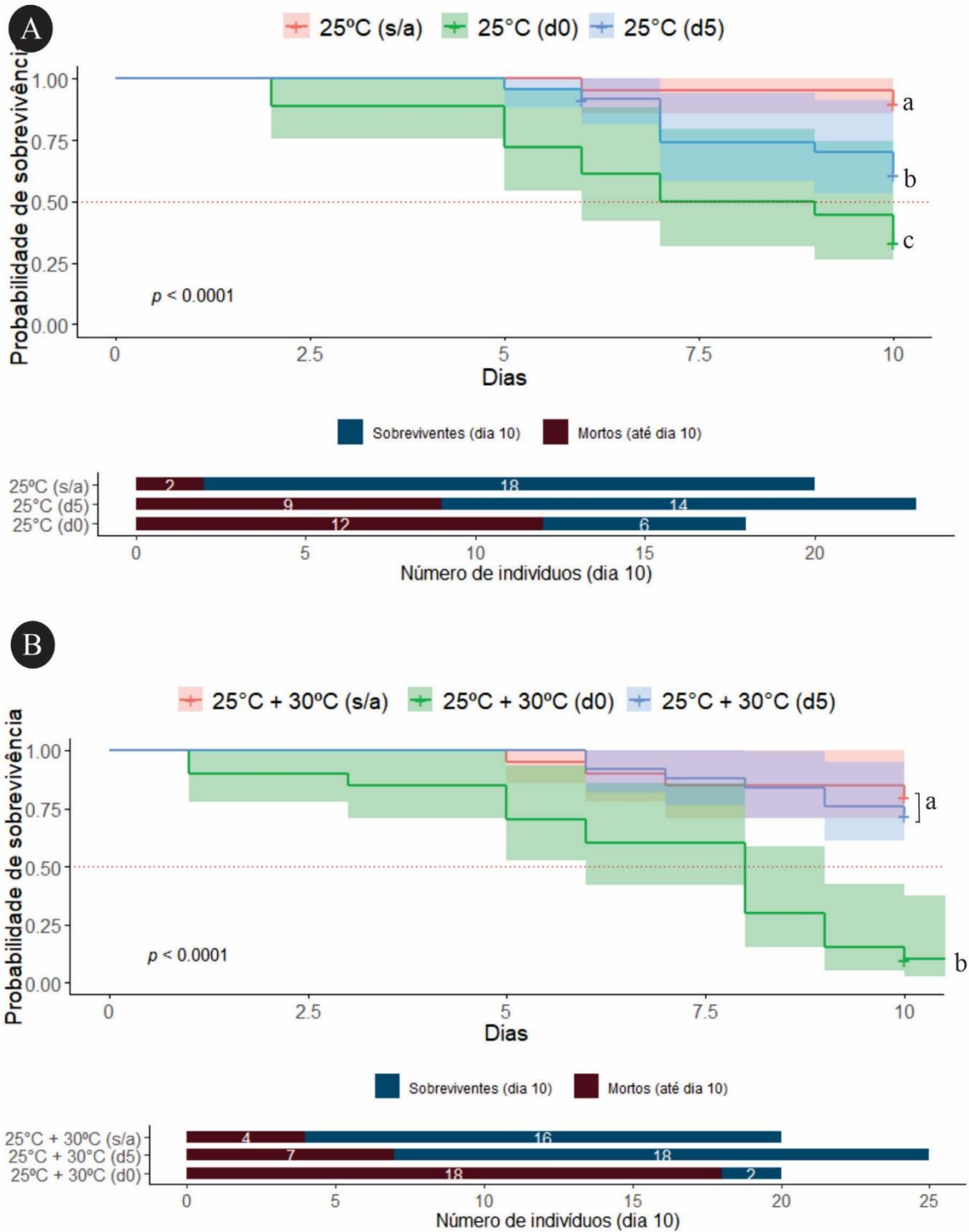
Figura 2 - Efeito da temperatura na sobrevivência de *Tetranychus urticae* sem exposição ao acaricida (A), e com exposição no primeiro dia (d0) (B) e no quinto dia (d5) (C).



4.2 Comparações do tempo de exposição ao acaricida em diferentes regimes de temperatura.

As curvas de Kaplan–Meier diferiram entre o controle (sem exposição), aplicação no dia zero (d0) e a aplicação no quinto dia (d5) ($\chi^2 = 15,2$; $gl = 2$; $P = 0,0005$) a 25 °C constante (Figura 3A). As comparações pareadas indicaram maior mortalidade nos tratamentos com exposição ao acaricida em relação ao controle (controle vs. d0: $P = 0,0005$; controle vs. d5: $P = 0,036$), tão quanto a diferença entre os tempos de aplicação d0 e d5 (d0 vs d5: $P = 0,036$) (Figura 3A). Em condição de variação térmica (25 °C + 30 °C), o tempo de exposição ao acaricida também afetou significativamente a sobrevivência ($\chi^2 = 31,6$; $gl = 2$; $P < 0,0001$), com mortalidade acentuadamente maior quando o produto foi aplicado no primeiro dia (d0) ($P < 0,0001$) em comparação ao tratamento sem exposição (s/a), no entanto não foi observada diferença entre a sobrevivência quando a exposição ocorreu no quinto dia (d5) e sem a aplicação de acaricida (s/a) ($P = 0,58$) (Figura 3B).

Figura 3- Comparações pareadas de diferentes exposições de *T. urticae* ao acaricida, (A) sob regime de temperatura constante de 25 °C (B) regime de temperatura de 25 °C com pico de 30°C.



4.3 Efeito da temperatura e exposição ao acaricida na taxa de oviposição de *T. urticae*

A taxa de oviposição foi significativamente influenciada pela temperatura em todas as condições de exposição avaliadas, embora a magnitude e a direção do efeito tenham variado conforme o momento de aplicação do acaricida (Figura 4, 5 e 6). Na ausência de exposição a acaricidas (s/a), a condição com variação térmica (25 °C + 30 °C) apresentou taxa média de oviposição maior, com 84 (10 dias) ovos por fêmea, do que a temperatura constante de 25 °C com 75 ovos (10 dias) por fêmea ($Z = 4,467$; $P < 0,0001$), indicando efeito positivo do aumento térmico sobre a fecundidade (Figura 4A e B) e sem efeito na viabilidade dos ovos (Figura 4C) (razão = 0,90; $P = 0,3631$). Quando o acaricida foi aplicado no primeiro dia (d0), observou-se o padrão oposto: a taxa de oviposição foi significativamente menor sob a condição 25 °C + 30 °C, 5 ovos (10 dias), em comparação a 25 °C constante 11 ovos (10 dias) ($Z = -2,99$; $P = 0,0028$), evidenciando que o aumento da temperatura intensificou o efeito negativo inicial do produto sobre a fecundidade (Figura 5A e B), entretanto com maior viabilidade de ovos (~63%) (Figura 5C) (razão = 9,91; $P < 0,0001$). Já na exposição tardia no quinto dia (d5), a taxa de oviposição voltou a ser maior sob a condição 25 °C + 30 °C, superando em 33% da oviposição a observada a 25 °C constante ($Z = 3,500$; $P = 0,0005$) (Figura 6A e B) e sem diferença entre a viabilidade dos ovos ($Z = 0,95$; $P = 0,3436$) (Figura 6C).

Figura 4 - Efeito da temperatura na fecundidade e fertilidade de fêmeas de *T. urticae* sem exposição a acaricida. (A) oviposição diária; (B) Oviposição total; (C) taxa de eclosão total.

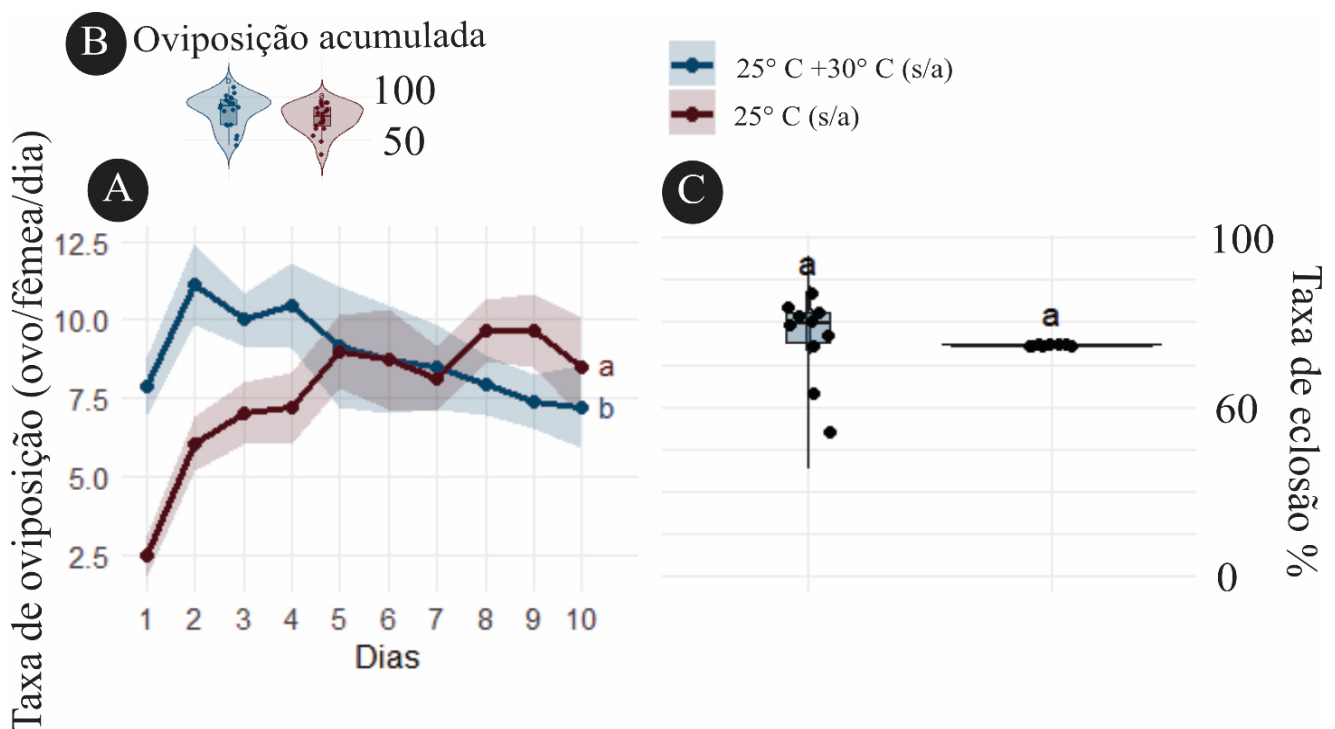


Figura 5 - Efeito da temperatura na fecundidade e fertilidade de fêmeas de *T. urticae* com exposição a acaricida no primeiro dia (d0). (A) oviposição diária; (B) Oviposição total; (C) taxa de eclosão total.

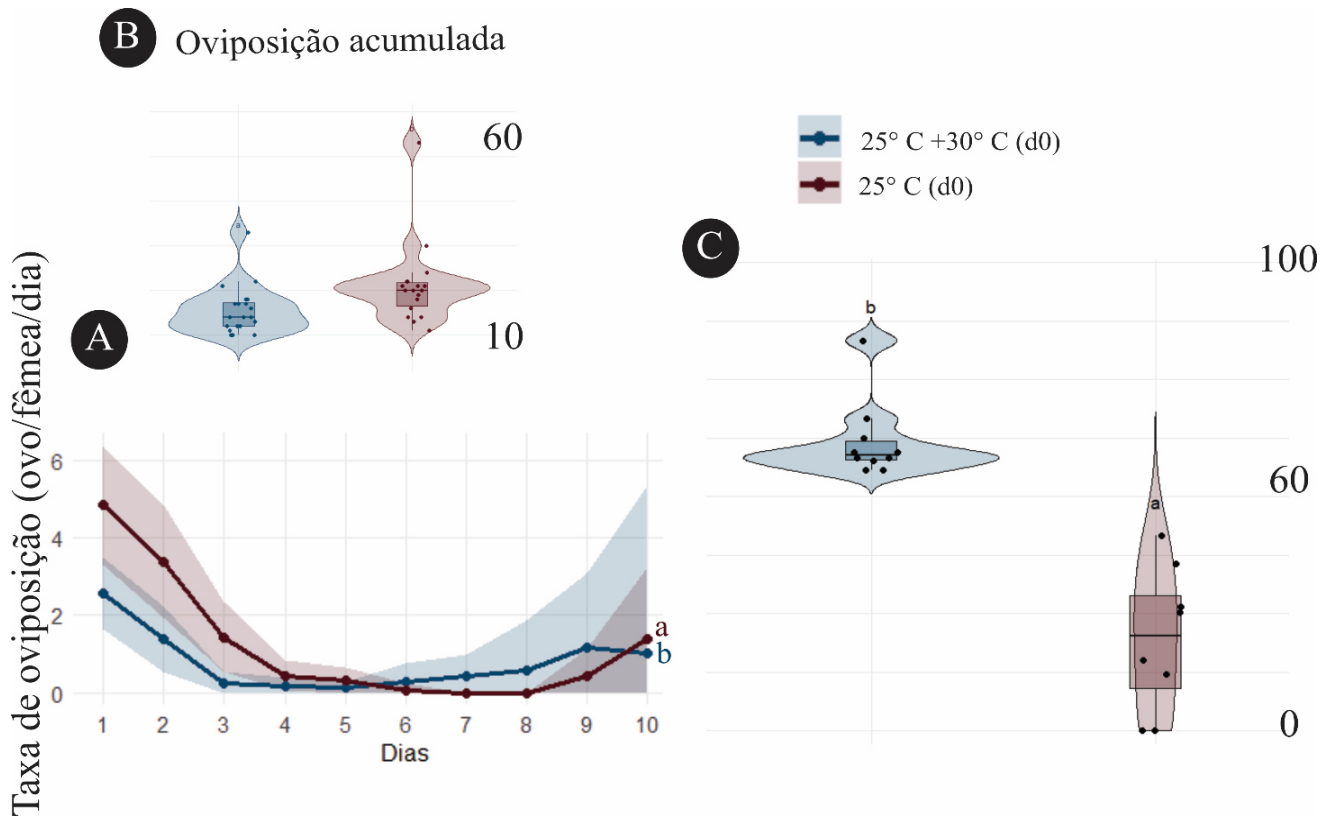
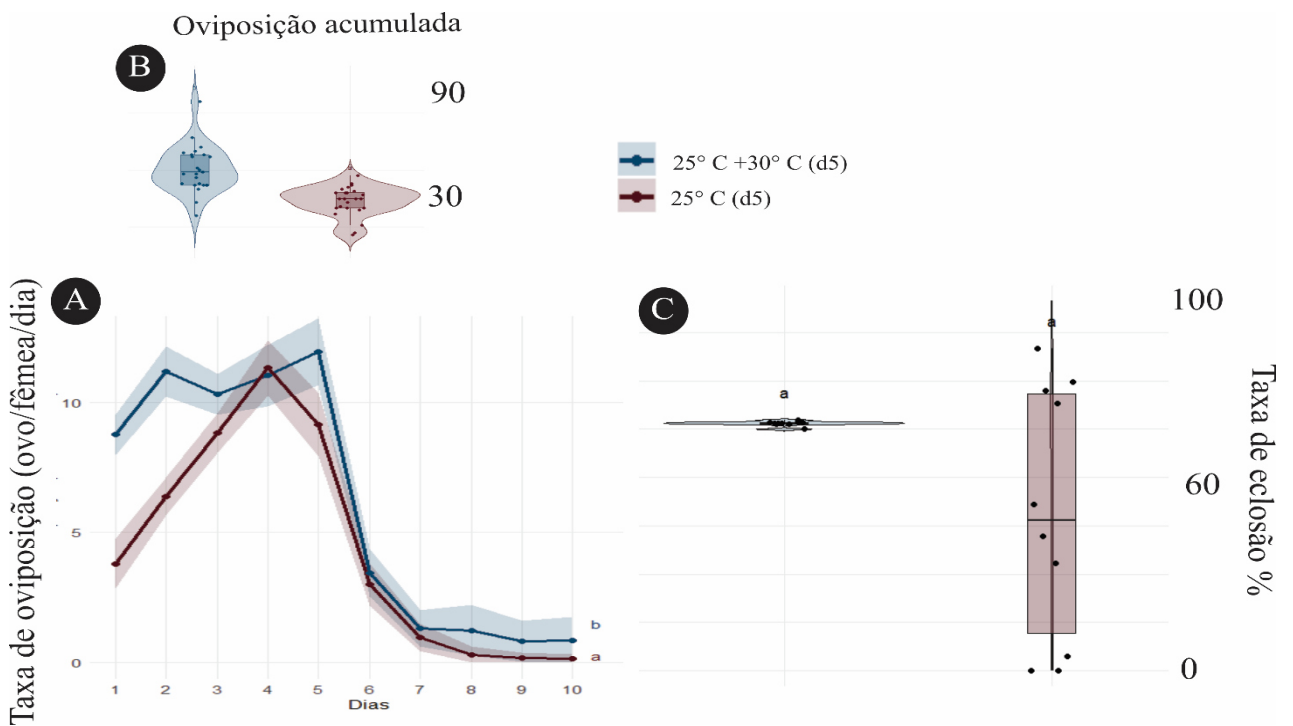


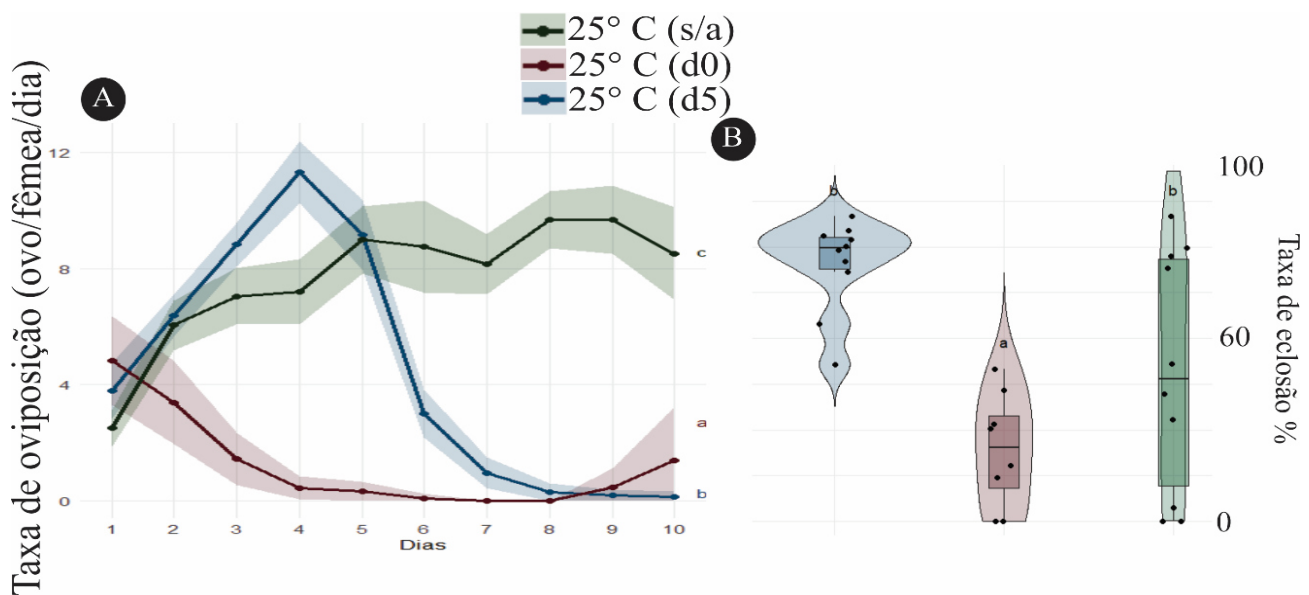
Figura 6 - Efeito da temperatura na fecundidade e fertilidade de fêmeas de *T. urticae* com exposição a tardia ao acaricida (d5). (A) oviposição diária; (B) Oviposição total; (C) taxa de eclosão total.



4.4 Comparação do tempo de exposição ao acaricida na taxa de oviposição, oviposição acumulada e viabilidade dos ovos

Sob o regime de 25°C constante o tratamento sem acaricida (s/a) apresentou a oviposição mais elevada e estável, quando comparada exposição no primeiro dia (d0) e tardia no quinto dia (d5) que apresentaram redução significativa (Figura 7A). A maior taxa de oviposição foi na ausência do acaricida (s/a), seguida por d5 e d0, com declínio significativo após a exposição ao acaricida seja no primeiro dia (d0) ou quinto dia (d5) ($P < 0,05$) (Figura 7A). A taxa de eclosão diferiu significativamente entre os tratamentos ($F = 8,32$; $P = 0,0017$), sendo o efeito negativo sobre a viabilidade dos ovos mais pronunciado quando a exposição ocorre no primeiro dia (d0) imediatamente após o início da oviposição com apenas 23% de eclosão (Figura 7B). A maior taxa de eclosão foi no tratamento sem exposição a acaricidas (s/a) com 86% seguido por pela exposição no quinto dia (d5) com 70% (Figura 7B).

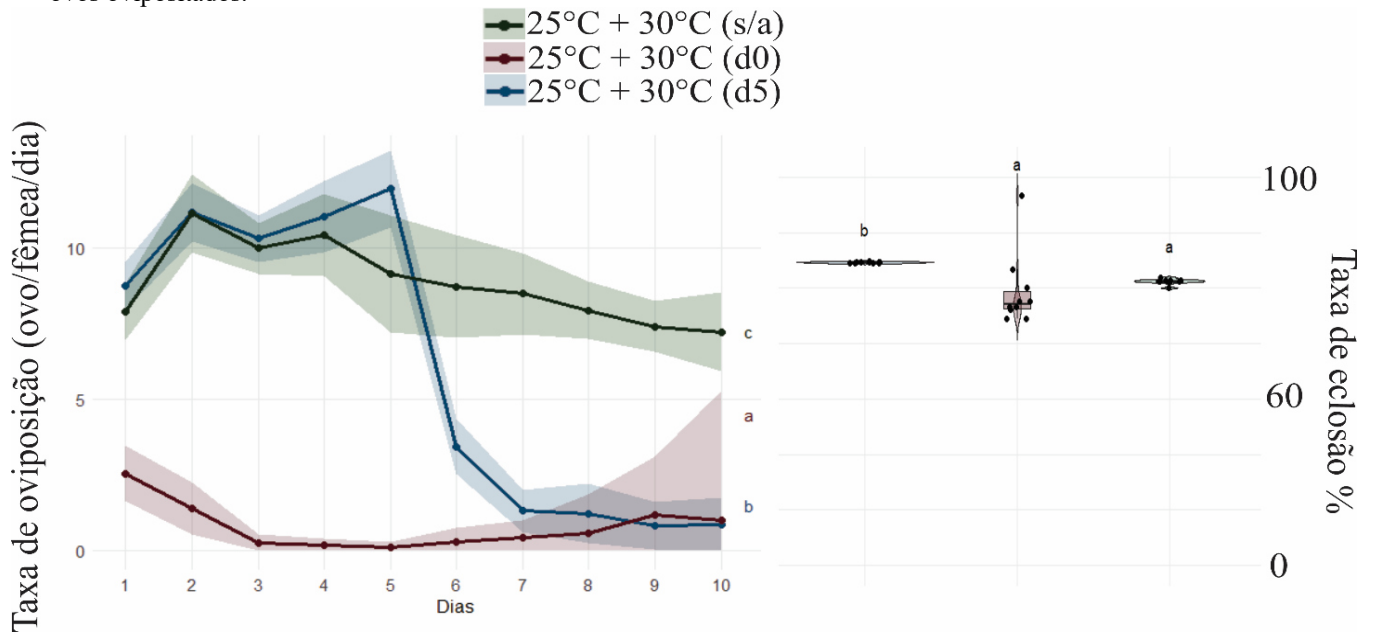
Figura 7 - Comparação de diferente tempo de exposição a acaricida na taxa de oviposição e viabilidade de ovos de *T. urticae* sob temperatura constante de 25°C constante. (A) Taxa de oviposição diária das fêmeas; (B) Taxa de eclosão dos ovos ovipositados.



Em condições de variação térmica (25 °C + 30°C), a taxa de oviposição variou significativamente em função do regime de exposição ao acaricida, com exposição no primeiro dia (d0) e sem exposição (s/a) diferindo significativamente ($\chi^2 = 19,17$; $P < 0,001$) (Figura 8A). A oviposição foi maior na ausência do acaricida (s/a) (9,09 ovos/fêmea/dia), seguida do tratamento com exposição no quinto dia (d5) (7,60 ovos/fêmea/dia), reduzindo de forma mais expressiva na exposição desde o primeiro dia (d0) (0,96 ovos/fêmea/dia) (Figura 8A). A exposição ao acaricida

no dia zero e no quinto dia reduziu significativamente a taxa de eclosão em relação ao tratamento sem exposição (s/a) ($P < 0,01$), mas não diferiram estatisticamente entre si ($P = 0,15$) (Figura 8B), indicando que, sob temperatura mais elevada, o momento da exposição ao acaricida teve efeito menos contrastante sobre a viabilidade dos ovos do que aquele observado a 25 °C.

Figura 8 - Comparação de diferente tempo de exposição a acaricida na taxa de oviposição e viabilidade de ovos de *T. urticae* sob temperatura de 25°C + pico de 30° C. (A) Taxa de oviposição diária das fêmeas; (B) Taxa de eclosão dos ovos ovipositados.



5 DISCUSSÃO

Os regimes térmicos avaliados não influenciaram a sobrevivência das fêmeas de *T. urticae* quando avaliados de forma isolada, tanto na ausência quanto na exposição ao acaricida (Figura 2). A sobrevivência foi afetada pela exposição ao acaricida em ambos os regimes de temperatura, com menor sobrevivência das fêmeas sob exposição no primeiro dia ao acaricida (d0), ambos tratamentos ficando abaixo de 50% de fêmeas vivas até o 10º dia de avaliação (Figura 3A e B). Os parâmetros reprodutivos de taxa de oviposição e viabilidade dos ovos foram afetados tanto pelas diferentes temperaturas quanto pelos tempos de exposição ao acaricida. Na ausência de acaricidas (s/a) o regime de 25°C pico de 30°C favoreceu o aumento da taxa de oviposição (Figura 4A e B) mantendo a viabilidade dos ovos acima de 80% (Figura 4C). Quando as fêmeas foram expostas ao acaricida no primeiro dia (d0) foi observado menor taxa de oviposição no tratamento com variação de temperatura (25°C + 30°C) porém com maior viabilidade de ovos quando comparado a 25°C constantes. Já quando expostas ao acaricida apenas no quinto dia (d5) as fêmeas tiveram maior oviposição no tratamento com variação de temperatura (25°C e pico 30°C) e mesma viabilidade de ovos sobre 25°C constantes.

Fatores abióticos, como a temperatura, podem induzir condições de hipertermia ou hipotermia capazes de comprometer o desenvolvimento de *T. urticae* (Nie et al., 2023; White et al., 2018), no entanto os regimes de 25 °C constante e 25 °C com pico de 30 °C avaliados neste estudo permanecem fora dos limiares térmicos críticos não sendo, portanto, observado efeitos deletérios sobre a sobrevivência da espécie. Neste trabalho, a resposta observada na sobrevivência de *T. urticae* sob variação térmica de curta duração (2 horas a 30°C) pode estar associada ao aumento da atividade de enzimas antioxidantes (Nie et al., 2023) produzidas pelos genes da Glutathione S-transferase, os quais são ativados sob choques térmicos de curta duração e contribuem para a tolerância a variações térmicas (Zhu et al., 2024). A variação de temperatura (25 °C com pico de 30 °C), sem aplicação do acaricida promoveu elevação da taxa de oviposição das fêmeas de *T. urticae*, condizente com os dados de biologia da espécie (El-wahed et al., 2012, Nasr et al., 2024). O aumento da taxa de oviposição pode ser explicado pela maior atividade metabólica do ácaro, que é provocada por uma pressão de adaptação a temperatura, onde à medida que a temperatura aumenta, existe uma maior tendência das reações bioquímicas se tornarem mais rápidas o que acelerar os processos metabólicos, provocando uma maior taxa de alimentação e oviposição (Abram, et al., 2016). A alta taxa de eclosão mostra que a variação de temperatura não teve efeitos transgeracionais, não afetando o desenvolvimento embrionário.

Em ambos os regimes térmicos e exposição ao acaricida no primeiro dia foi observado

uma drástica redução da sobrevivência das fêmeas ficando no máximo com 33% de fêmeas vivas (25°C). Embora as curvas de sobrevivência desses tratamentos (25°C (d0) e 25°C +30°C (d0)) não tenham atingido significância estatística ao nível de 5%, a tendência observada sugere que a combinação de temperatura elevada e exposição precoce ao acaricida pode desfavorecer a sobrevivência em populações não adaptadas a altas temperaturas (Figura 2B). Este argumento é reforçado pela comparação da sobrevivência no mesmo regime de temperatura e diferentes exposições ao acaricida (Figura 3A e B), a 25°C constantes as duas curvas de sobrevivência com exposição a acaricida apresentam menor sobrevivência das fêmeas. Já quando submetidas a variação de temperatura a curva de sobrevivência de exposição no quinto dia (d5) apresenta a mesma tendência da taxa de mortalidade da curva sem exposição ao acaricida o que pode representar maior tolerância ao acaricida quando previamente exposta a alta temperatura nos cinco dias que antecederam a exposição ao acaricida (Figura 3B).

Nos parâmetros reprodutivos as fêmeas de *T. urticae* expostas ao acaricida apresentaram menor fecundidade quando comparadas ao tratamento sem exposição (Figuras 7 e 8). A abamectina tem efeito paralisante, que pode ocasionar redução da alimentação e da movimentação geral do ácaro, podendo assim afetar a produção e deposição de ovos. O declínio na fecundidade também pode ser reflexo dos elevados custos metabólicos de desintoxicação ao acaricida, que mesmo em subdosagem causou expressivos efeitos deletérios na fecundidade dos ácaros, segundo (Alberto et al., 2022) a abamectina foi responsável pela redução de até 92% da oviposição o que se torna bastante aparente nos resultados mostrados onde a redução média caiu em mais de 90% em d0 e d5 a parte do momento posterior a exposição.

Embora em ambos os regimes de temperatura a exposição no primeiro dia ao acaricida tenha causado redução da produção dos ovos, curiosamente foi observado maior viabilidade dos ovos quando as fêmeas estavam sob condições de variação de temperatura (25°C pico de 30°C). É possível que a condição de estresse térmico tenha favorecido a ativação de enzimas como a glutatona que em alta temperatura tenha atuado na desintoxicação do acaricida preservando a perpetuação da espécie.

Esperava-se que a combinação do acaricida e a exposição ao estresse térmico de curta duração, 25 °C com pico de 30 °C por duas horas, promovesse maior tolerância de *T. urticae* ao acaricida abamectina. Feng et al. (2010), mostrou que sobre condições de adaptação prolongada a temperaturas extremas (46°C), *T. urticae* apresentou o que os autores determinam como resistência cruzada a abamectina por aumento da expressão de enzimas antioxidantes ligadas a estresse térmico. Neste trabalho realizamos a simulação da variação de temperatura diária com população não previamente adaptadas a altas temperaturas. A população usada no experimento foi

mantida em condições de laboratório com temperatura de 25 há 10 anos . Os resultados mostram que em ambos os regimes de temperatura e tempo de exposição, as fêmeas foram afetadas pela exposição a subdoses de abamectina, apresentando apenas uma tendência de sobrevivência das fêmeas previamente expostas a altas temperaturas e acaricida. Para maior robustez é necessário realizar outras simulações como utilizando populações previamente adaptadas a alta temperatura e outros regimes de variações de temperatura para melhor compreender a dinâmica de interação entre aumento da temperatura global e o impacto no manejo de pragas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo de pragas é resultado da interação de diversos fatores, desde estudos laboratoriais até condições dinâmicas de campo. Neste estudo buscamos simular o efeito de variações térmicas encontradas em campo e como poderia interferir na suscetibilidade de *Tetranychus urticae*. A temperatura do ambiente pode interferir tanto na biologia das espécies pragas favorecendo surtos populacionais, quanto pode interferir na dinâmica das moléculas desde a exposição, toxicocinética e toxicodinâmica. Neste trabalho encontramos que a suscetibilidade de *T. urticae* foi afetada pela variação da temperatura do ambiente, o que pode alterar a eficiência do acaricida em campo, pelo menos nas condições aqui testadas.

Para maior robustez dos resultados é necessário a ampliação desta pesquisa simulando outras faixas de temperaturas, populações previamente adaptadas as variações de temperatura e avaliar parâmetros de crescimento populacional.

REFERÊNCIAS

- ABRAM, P. K.; BOIVIN, G.; MOIROUX, J.; BRODEUR, J. Behavioural effects of temperature on ectothermic animals: unifying thermal physiology and behavioural plasticity. *bioRxiv*, p. 056051, 2016. DOI: 10.1101/056051. Disponível em: <https://doi.org/10.1101/056051>. Acesso em: 8 jan. 2026.
- ADESANYA, A. W. et al. Mechanisms and management of acaricide resistance in *Tetranychus urticae* in agroecosystems. *Journal of Pest Science*, v. 94, n. 3, p. 639-663, jun. 2021. DOI: 10.1007/s10340-021-01342-x.
- AGNIHOTRI, Nikhil. Understanding the physicochemical behavior of pesticides in soil and water. *Agriculture Archives*, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 22-25, maio 2023. DOI: 10.51470/agri.2023.2.2.22. Acesso em: 11 nov. 2025.
- AHMED, Mahmoud Monir; ALI, Fatma Samir; AFIFI, Abd-Allah Mohammed; GAZOLY, Aya Hodory. Host plant suitability for the biological performance of *Tetranychus urticae* Koch and its predator, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot. *Phytoparasitica*, v. 52, e87, 2024. DOI: 10.1007/s12600-024-01202-1.
- ALBERTO B. ESTEVES FILHO; JOSÉ V. DE OLIVEIRA; CLÁUDIA H. C. MATOS. Eficiência residual de acaricidas sintéticos e produtos naturais para *Tetranychus urticae* Koch, em algodoeiro. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 583-588, 2022. DOI: 10.5039/agraria.v8i4a3073. Disponível em: <https://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v8i4a3073>. Acesso em: 8 jan. 2026.
- AUGER, P.; MIGEON, A.; UECKERMANN, E. A.; TIEDT, L.; NAVAJAS, M. Evidence for synonymy between *Tetranychus urticae* and *Tetranychus cinnabarinus* (Acari, Prostigmata, Tetranychidae): review and new data. *Acarologia*, v. 53, n. 4, p. 383-415, 2013. DOI: 10.1051/acarologia/20132102.
- BAGNI, T.; SIAUSSAT, D.; MARIA, A.; COUZI, P.; MAÏBÈCHE, M.; MASSOT, M. The impact of temperature on insecticide sensitivity depends on transgenerational effects. *Science of the Total Environment*, v. 851, p. 158140, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158140.
- BAYU, M. S. Y. I.; ULLAH, S.; TAKANO, E.; GOTOH, T. Impact of constant versus fluctuating temperatures on the development and life history parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, v. 72, n. 3, p. 293-306, 2017. DOI: 10.1007/s10493-017-0151-9.
- BELLARD, C.; BERTELSMEIER, C.; LEADLEY, P.; THUILLER, W.; COURCHAMP, F. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, v. 15, n. 4, p. 365-377, 2012. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x.
- BENSOUSSAN, Nicolas; SANTAMARIA, M. Estrella; ZHUROV, Vladimir; DIAZ, Isabel; GRBIĆ, Miodrag; GRBIĆ, Vojislava. Plant-herbivore interaction: dissection of the cellular pattern of *Tetranychus urticae* feeding on the host plant. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v. 7, p. 1105, jul. 2016. DOI: 10.3389/fpls.2016.01105.
- BOLLAND, H. R.; GUTIERREZ, J.; FLECHTMANN, C. H. W. World catalogue of the spider mite family (Acari: Tetranychidae). Leiden; Boston; Köln: Brill Academic Publishers, 1998. 392 p. ISBN 90-04-11087-9.

- BOTTON, Marcos; NAVA, Dori Edson. Ácaro-rajado: *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) (Tetranychidae). Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Brasília, DF: Embrapa, 20 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/morango/producao/insetos-e-acaros-praga/acaro-rajado>. Acesso em: 21 dez. 2025.
- BOUNFOUR, M.; TANIGOSHI, L. K. Effect of temperature on development and demographic parameters of *Tetranychus urticae* and *Eotetranychus carpini borealis* (Acari: Tetranychidae). *Annals of the Entomological Society of America*, [S.l.], v. 94, n. 3, p. 400-404, maio 2001. DOI: 10.1603/0013-8746(2001)094[0400:eotoda]2.0.co;2.
- BROWN, S. et al. Susceptibility of twospotted spider mites (*Tetranychus urticae*) to abamectin in Midsouth cotton. *Crop Protection*, v. 98, p. 179-183, 2017.
- ÇAĞATAY, Naciye Sena; MENAULT, Pauline; RIGA, Maria; VONTAS, John; AY, Recep. Identification and characterization of abamectin resistance in *Tetranychus urticae* Koch populations from greenhouses in Turkey. *Crop Protection*, [S.L.], v. 112, p. 112-117, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.016>.
- COSTA, S. G.; MAGALHÃES, S.; SANTOS, I.; ZÉLÉ, F.; RODRIGUES, L. R. A sex-specific trade-off between pesticide resistance and tolerance to heat-induced sterility in *Tetranychus urticae*. *Evolutionary Applications*, v. 17, e70014, 2024. DOI: 10.1111/eva.70014.
- CUA-BASULTO, Marcos Enrique et al. Efecto de acaricidas químicos en la mortalidad de la araña roja *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, v. 25, n. 40, p. 1-16, 2022. DOI: 10.56369/tsaes.3964.
- DÍAZ-ARIAS, K. V. et al. Resistance to abamectin in field population of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) associated with cut rose from state of Mexico, Mexico. *Florida Entomologist*, v. 102, n. 2, p. 428-430, 2019.
- EL-DEMERDASH, R.; KERATUM, A.; AL-OMRAN, M. M.; AL-HARBI, N. A.; ALMOSTAFA, M.; ABDELMOHHSSEN, M.; EL-NENAEY, H.; EL-SAYEDA, E. E. Efficacy of some acaricides against *Tetranychus urticae* Koch on *Phaseolus vulgaris* plants. *Polish Journal of Environmental Studies*, [S. l.], v. XX, n. X, p. 1-10, jul. 2025. DOI: 10.15244/pjoes/205260. Online em: 21 jul. 2025.
- EL-WAHED, Nazeh Abd; EL-HALAWANY, Ashraf. Effect of Temperature Degrees on the Biology and Life Table Parameters of *Tetranychus urticae* Koch on Two Pear varieties. *Egyptian Academic Journal Of Biological Sciences, B. Zoology*, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 103-109, 1 dez. 2012. Egypt's Presidential Specialized Council for Education and Scientific Research. <http://dx.doi.org/10.21608/eajbsz.2012.13876>.
- FENG, H.-Z.; LIU, Y.-H.; HE, L.; LI, M.; LU, R.-E. Cross tolerance of carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus*, to abamectin and high temperature. *Journal of South China Agricultural University*, v. 36, p. 159-167, 2010. Disponível em: <https://www.academax.com/doi/10.3785/j.issn.1008-9209.2010.02.007>. Acesso em: 21 dez. 2025.
- FLECHTMANN, C. H. W.; ABREU, J. M. Ácaros fitófagos do Estado da Bahia, Brasil (Notas preliminares). *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 244-251, mar. 1973. Disponível em: https://www1.montpellier.inrae.fr/CBGP/spmweb/pdf/Authors_F/Flechtmann_Abreu_1973.pdf. Acesso em: 27 dez. 2025.
- FLECHTMANN, C. H. W.; MORAES, R. C. B. Banco de dados de Tetranychidae. 2017. Disponível em: [URL não fornecida]. Acesso em: 22 dez. 2025.

EVERSON, P. R.; TONKS, N. V. *The effect of temperature on the toxicity of several pesticides to Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Phytoseiidae) and *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae). *The Canadian Entomologist*, Cambridge, v. 113, n. 4, p. 333–336, 1981. DOI:10.4039/Ent113333-4.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME. Tempo firme predomina no Ceará, com altas temperaturas e baixa probabilidade de chuva. Fortaleza, 2025. Disponível em: <http://www.funceme.br/?p=14646>. Acesso em: 24 dez. 2025.

GOFTISHU, M.; DEJENE, M.; KASSAYE, A.; BELAY, T. Red spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Arachnida: Acari-Tetranychidae): a threatening pest to potato (*Solanum tuberosum* L.) production in Eastern Ethiopia. *Pest Management Journal of Ethiopia*, v. 19, p. 53-59, 2016.

Disponível em:

https://www.academia.edu/41389952/Red_Spider_Mite_Tetranychus_Urticae_Koch_Arachnida_Acari_Tetranychidae_A_Threatening_Pest_to_Potato_Solanum_Tuberosum_L_Production_in_Eastern_Ethiopia. Acesso em: 27 dez. 2025.

GOTOH, T.; SAITO, M.; SUZUKI, A. et al. Effects of constant and fluctuating temperatures on the development and reproduction of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, v. 64, p. 465-478, 2014. DOI: 10.1007/s10493-014-9841-8.

HERNANDES, Fábio Akashi. Revisão taxonômica e análise filogenética de espécies de *Aponychus* Rimando, *Paraponychus* González & Flechtmann e *Stylophoronychus* Prasad (Acari, Eurytetranychini). 2010. 204 f. Tese (Doutorado em Biologia Animal) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2010.

HERNÁNDEZ-RIVERA, S. E.; RODRÍGUEZ-MACIEL, J. C.; LAGUNES-TEJEDA, Á.; GUZMÁN-FRANCO, A. W.; TEJEDA-REYES, M. A.; SILVA-AGUAYO, G. Temperature-mortality response of eggs, larvae, protonymphs, deutonymphs, and adult females of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Journal of Entomological Science*, v. 57, n. 2, p. 248-257, 2022. DOI: 10.18474/JES21-53.

HOOPER, Michael J.; ANKLEY, Gerald T.; CRISTOL, Daniel A.; MARYOUNG, Lindley A.; NOYES, Pamela D.; PINKERTON, Kent E. Interactions between chemical and climate stressors: a role for mechanistic toxicology in assessing climate change risks. *Environmental Toxicology and Chemistry*, [S.l.], v. 32, n. 1, p. 32-48, jan. 2013. DOI: 10.1002/etc.2043.

INSECTICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE – IRAC. Clasificación del modo de acción de insecticidas y acaricidas. Versión 6.2. [S.l.]: IRAC, 2024. Disponível em: <https://irac-online.org/documents/clasificacion-del-modo-de-accion-de-insecticidas-y-acaricidas/?ext=pdf>. Acesso em: 27 dez. 2025.

INSECTICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE – IRAC. IRAC mode of action classification scheme: version 11.4. [S.l.]: IRAC, 2025. Disponível em: <https://irac-online.org/modes-of-action/>. Acesso em: 21 dez. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Climate change 2023: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team: H. Lee and J. Romero (eds.). Genebra: IPCC, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf. Acesso em: 12 out. 2025.

- JAYASINGHE, G. G.; MALLIK, B. Growth stage based economic injury levels for two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari, Tetranychidae) on tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill. *Tropical Agricultural Research*, v. 22, n. 1, p. 54-65, jan. 2011. DOI: 10.4038/tar.v22i1.2670.
- KASAP, İsmail. Effect of apple cultivar and of temperature on the biology and life table parameters of the twospotted spider mite *Tetranychus urticae*. *Phytoparasitica*, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 73-82, fev. 2004. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02980863>.
- KUMRAL, N. A.; GÖKSEL, P. H.; AYSAN, E.; KOLCU, A. Life table of *Tetranychus urticae* (Koch) (Acari: Tetranychidae) on different Turkish eggplant cultivars under controlled conditions. *Acarologia*, v. 59, n. 1, p. 12-20, 2019. DOI: 10.24349/acarologia/20194307.
- LAING, J. E. Life history and life table of *Tetranychus urticae* Koch. *Acarologia*, v. 11, n. 1, p. 32-42, 1969. Disponível em: <https://www1.montpellier.inrae.fr/CBGP/acarologia/article.php?id=3519>. Acesso em: 10 dez. 2025.
- LEE, Joon-Ho. Leaf cell and tissue damage of cucumber caused by two-spotted spider mite. *Journal of Economic Entomology*, v. 95, n. 5, p. 952-957, out. 2002. DOI: 10.1093/jee/95.5.952.
- LONGATO, Giovanna B. *Abamectin: Unveiling the Potent Insecticide's Impact on Agriculture and Beyond*. *Annals of Clinical Trials and Vaccines Research*, v. 14, n. 1, p. 202-203, 2024. DOI: 10.37532/ACTVR.2024.14(1).202-203
- MAO, Kaikai; JIN, Ruoheng; LI, Wenhao; REN, Zhijie; QIN, Xueying; HE, Shun; LI, Jianhong; WAN, Hu. The influence of temperature on the toxicity of insecticides to *Nilaparvata lugens* (Stål). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, v. 156, p. 80-86, 2019. DOI: 10.1016/j.pestbp.2019.02.009.
- MATZRAFI, M. Climate change exacerbates pest damage through reduced pesticide efficacy. *Pest Management Science*, v. 75, n. 1, p. 9-13, 2019. DOI: 10.1002/ps.5121.
- MCGREGOR, E. A.; MCDONOUGH, F. L. The red spider on cotton. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, 1917. (Bulletin, n. 416). Disponível em: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/191046>. Acesso em: 10 ago. 2025.
- MELO, José Wagner da Silva et al. Biologia do ácaro predador *Euseius alatus* DeLeon (Acari: Phytoseiidae) em diferentes temperaturas. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 31, n. 3, p. 391-396, jun. 2009. DOI: 10.4025/actasciagron.v31i3.466.
- MENG, Xingang; GUO, Yuanjun; WANG, Yihui; FAN, Shijun; WANG, Kaiqi; HAN, Wenhua. A systematic review of photolysis and hydrolysis degradation modes, degradation mechanisms, and identification methods of pesticides. *Journal of Chemistry*, v. 2022, p. 9552466, 2022. DOI: 10.1155/2022/9552466.
- MIGEON, Alain; DORKELD, Franck. Spider Mites Web: a comprehensive database for the Tetranychidae. 2025. Disponível em: <https://www1.montpellier.inrae.fr/CBGP/spmweb>. Acesso em: 06 dez. 2025.
- MOGHADASI, M.; AHMADI, K.; SABER, M.; RAFIEE-DAVAR, H.; AMIN, A. Temperature-dependent development and life table parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on eggplant. *Journal of Economic Entomology*, v. 109, n. 4, p. 1747-1754, 2016. DOI: 10.1093/jee/tow120.

MORAES, Gilberto José de; CASTILHO, Raphael de Campos; FLECHTMANN, Carlos Holger Wenzel. Manual de acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no brasil. 2. ed. Piracicaba: Fealq, 2024. 485 p.

MORAES, Gilberto José de; FLECHTMANN, Carlos Holger Wenzel. Manual de Acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no brasil. Ribeirão Preto: Holos, 2008. 288 p.

MONTEIRO, Vaneska B.; GONDIM, Manoel G.C.; OLIVEIRA, José E. de M.; SIQUEIRA, Herbert A.A.; SOUSA, Josilene M.. Monitoring *Tetranychus urticae* Koch (Acari: tetranychidae) resistance to abamectin in vineyards in the lower middle são francisco valley. **Crop Protection**, [S.L.], v. 69, p. 90-96, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2014.12.012>.

NASR, H. M.; ELMASRY, N. S.; ABOU-ELENIEN, N. F. Impact of temperature on the life history, reproduction and life table parameters of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) under laboratory conditions. **International Journal of Agriculture and Plant Science**, v. 6, n. 4, p. 5-8, 2024. Disponível em: www.agriculturejournal.in. Acesso em: 6 jan. 2026.

NAWAR, M. Temperature effect study on fecundity and development of *Tetranychus urticae*, Koch (Acari-Tetranychidae) on different host plants. *Journal of Plant Protection and Pathology*, v. 10, n. 11, p. 553-556, 2019. DOI: 10.21608/jppp.2019.67794.

NIE, Peng-Cheng; YANG, Ruo-Lan; ZHOU, Jing-Jiang; DEWER, Youssef; SHANG, Su-Qin. Elucidating the effect of temperature stress on the protein content, total antioxidant capacity, and antioxidant enzyme activities in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Insects*, v. 14, n. 5, p. 429, 2023. DOI: 10.3390/insects14050429.

NYOIKE, Teresia W.; LIBURD, Oscar E. Effect of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on marketable yields of field-grown strawberries in north-central Florida. *Journal of Economic Entomology*, [S.l.], v. 106, n. 4, p. 1757-1766, ago. 2013. DOI: 10.1603/ec12033.

RAZUVAEVA, A. V.; ULYANOVA, E. G.; SKOLOTNEVA, E. S.; ANDREEVA, I. V. Species identification of spider mites (Tetranychidae: Tetranychinae): a review of methods. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektcii*, v. 27, n. 3, p. 240-249, 2023. DOI: 10.18699/VJGB-23-30.

RIAHI, Elham; SHISHEHBOR, Parviz; NEMATI, Alireza R.; SAEIDI, Zarir. Temperature effects on development and life table parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Journal of Agricultural Science and Technology*, v. 15, n. 4, p. 661-672, jul. 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/263855152>. Acesso em: 12 out. 2025.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

SAITO, Yutaka. Plant mites and sociality: diversity and evolution. Tokyo: Springer, 2010. 187 p. ISBN 978-4-431-99455-8. E-ISBN 978-4-431-99456-5. DOI: 10.1007/978-4-431-99456-5.

SANCHES, Nilton Fritzon; NORONHA, Aloysia Cristina da Silva; FANCELLI, Marilene; NASCIMENTO, Antonio Souza do. Manejo de insetos e ácaros. In: EMBRAPA. A cultura do mamoeiro. Brasília, DF: Embrapa, 2021. cap. 11, p. 307-339.

SATO, M. E. et al. Abamectin resistance in *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae): selection, cross-resistance and stability of resistance. *Neotropical Entomology*, v. 34, n. 6, p. 991-998, 2005.

SATO, Mário Eidi. Uso de ácaros predadores para o controle biológico de ácaro-rajado. São Paulo: *Instituto Biológico*, [s.d.]. 24 p. Disponível em:

https://biologico.agricultura.sp.gov.br/uploads/files/pdf/tecnologia_sustentavel/acaros_predadores.pdf. Acesso em: 27 dez. 2025.

SOUSA, Vitor C; ZÉLÉ, Flore; RODRIGUES, Leonor R; GODINHO, Diogo P; LAMASSELIÈRE, Maud Charlery de; MAGALHÃES, Sara. Rapid host-plant adaptation in the herbivorous spider mite *Tetranychus urticae* occurs at low cost. **Current Opinion In Insect Science**, [S.L.], v. 36, p. 82-89, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cois.2019.08.006>.

SKENDŽIĆ, S.; ZOVKO, M.; ŽIVKOVIĆ, I. P.; LEŠIĆ, V.; LEMIĆ, D. The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, v. 12, n. 5, p. 440, 2021. DOI: 10.3390/insects12050440.

SUEKANE, Renato; DEGRANDE, Paulo Eduardo; MELO, Elmo Pontes de; BERTONCELLO, Thiago Ferreira; LIMA JUNIOR, Izidro dos Santos de; KODAMA, Cássio. Damage level of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in soybeans. *Revista Ceres*, [S.l.], v. 59, n. 1, p. 77-81, fev. 2012. DOI: 10.1590/s0034-737x2012000100011.

SUGAWARA, Reo; ULLAH, Mohammad Shaef; HO, Chyi-Chen; GOTOH, Tetsuo. Impact of temperature-mediated functional responses of *Neoseiulus womersleyi* and *N. longispinosus* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Biological Control*, [S.l.], v. 126, p. 26-35, nov. 2018. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2018.07.010.

THIA, J. A.; CHENG, X.; MAINO, J.; UMINA, P. A.; HOFFMANN, A. A. Warmer temperatures reduce chemical tolerance in the redlegged earth mite (*Halotydeus destructor*). *Pest Management Science*, v. 78, n. 7, p. 3071-3079, 2022. DOI: 10.1002/ps.6933.

THOMSON, L. J.; MACFADYEN, S.; HOFFMANN, A. A. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biological Control*, v. 52, n. 3, p. 296-306, 2010. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2009.01.022.

TOROITICH, F. J.; UECKERMANN, E. A.; THERON, P. D.; KNAPP, M. The tetranychid mites (Acari: Tetranychidae) of Kenya and a redescription of the species *Peltanobia erasmusi* Meyer (Acari: Tetranychidae) based on males. *Zootaxa*, [S.l.], v. 2176, p. 33-87, 2009. DOI: 10.5281/zenodo.189364.

TUDI, M.; RUAN, D.; WANG, L.; LYU, J.; SADLER, R.; CONNELL, D.; CHU, C.; PHUNG, D. Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 3, p. 1112, 2021. DOI: 10.3390/ijerph18031112.

VAN LEEUWEN, T.; VONTAS, J.; TSAGKARAKOU, A.; DERMAUW, W.; TIRRY, L. Molecular mechanisms of acaricide resistance in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, v. 40, n. 8, p. 563-572, 2010. DOI: 10.1016/j.ibmb.2010.05.008.

VANGANSBEKE, D.; AUDENAERT, J.; NGUYEN, D. T.; VERHOEVEN, R.; GOBIN, B.; TIRRY, L.; DE CLERCQ, P. Diurnal temperature variations affect development of a herbivorous arthropod pest and its predators. *PLoS ONE, San Francisco*, v. 10, n. 4, e0124898, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0124898.

VASSILIOU, V. A.; KITSIS, P. Acaricide resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) populations from Cyprus. *Journal of Economic Entomology*, v. 106, n. 4, p. 1848-1854, 2013.

VILLACÍS-PÉREZ, Ernesto; XUE, Wenxin; VANDENHOLE, Marilou; DE BEER, Berdien; DERMAUW, Wannes; VAN LEEUWEN, Thomas. Intraspecific diversity in the mechanisms underlying abamectin resistance in a cosmopolitan pest. *Evolutionary Applications*, v. 16, n. 4, p. 863-879, abr. 2023. DOI: 10.1111/eva.13542.

WANG, D.; QIU, X.; REN, X.; NIU, F.; WANG, K. Resistance selection and biochemical characterization of chlorantraniliprole resistance in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, v. 107, n. 5, p. 1978-1985, 2014.

WANG, X.; JIANG, C.; ZHANG, H.; LI, S.; LI, F.; GUO, J.; LI, J.; WAN, H. Decline in symbiont-dependent host detoxification metabolism contributes to increased insecticide susceptibility of insects under high temperature. *The ISME Journal*, v. 15, n. 12, p. 3693-3703, 2021. DOI: 10.1038/s41396-021-01046-1.

WANG, Y.; SHEN, J. Effects of temperature on the toxicity of insecticides to *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae). *Crop Protection*, v. 26, n. 1, p. 1-5, 2007.

WANG, Y.-C. et al. Temperature affects the tolerance of *Liriomyza trifolii* to insecticide abamectin. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 218, p. 112307, 2021. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112307.

WHITE, N.; BALE, J. S.; HAYWARD, S. A. L. Life-history changes in the cold tolerance of the two-spot spider mite *Tetranychus urticae*: applications in pest control and establishment risk assessment. *Physiological Entomology*, v. 43, n. 4, p. 334-345, 2018. DOI: 10.1111/phen.12262.

WYBOUW, Nicky; ZHUROV, Vladimir; MARTEL, Catherine; BRUINSMA, Kristie A.; HENDRICKX, Frederik; GRBIĆ, Vojislava; VAN LEEUWEN, Thomas. Adaptation of a polyphagous herbivore to a novel host plant extensively shapes the transcriptome of herbivore and host. *Molecular Ecology*, [S.L.], v. 24, n. 18, p. 4647-4663, set. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/mec.13330>.

ZHANG, Yan; XU, Dandan; WANG, Shaoli. Status of abamectin resistance and mechanisms in *Tetranychus urticae* in China. *Zoosymposia*, v. 22, p. 149-160, nov. 2022. DOI: 10.11646/zoosymposia.22.1.149.

ZHOU, M.; LIU, Y.; WANG, Y.; CHANG, Y.; WU, Q.; GONG, W.; DU, Y. Effect of high temperature on abamectin and thiamethoxam tolerance in *Bemisia tabaci* MEAM1 (Hemiptera: Aleyrodidae). *Insects*, v. 15, n. 6, p. 399, maio 2024. DOI: 10.3390/insects15060399.

ZHU, T.; WEI, B.; WANG, Y.; SHANG, S.-Q. Glutathione S-transferase genes involved in response to short-term heat stress in *Tetranychus urticae* (Koch). *Antioxidants*, v. 13, n. 4, p. 442, 2024. DOI: 10.3390/antiox13040442.